

تأثیر هشت هفته تمرین استقامتی بر برخی پارامترهای بیومکانیکی استخوان ران موش‌های صحرایی نر مسن

سیما محمد آملی^۱، حیدر صادقی^۲، منیژه مختاری‌دیزجی^۳

۱. کارشناس ارشد بیومکانیک ورزشی، دانشگاه خوارزمی *

۲. استاد بیومکانیک ورزشی، دانشگاه خوارزمی

۳. استاد فیزیک پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۰۵

چکیده

هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر هشت هفته تمرین استقامتی بر برخی پارامترهای بیومکانیکی استخوان ران موش‌های صحرایی نر مسن بود. بیست سر موش صحرایی نر نژاد ویستار ۲۰ ماهه (میانگین وزن $360/5 \pm 15/4$ گرم) به صورت تصادفی به دو گروه تجربی ($n=10$) و کنترل ($n=10$) تقسیم شدند. گروه‌های تمرینی به مدت هشت هفته، هر هفته پنج روز و روزی ۶۰ دقیقه با سرعت ۲۸ متر بر دقیقه روی نوارگردان می‌دویدند. پس از خارج کردن استخوان ران آزمودنی‌ها، از آزمون فشار مکانیکی خمش سه‌نقطه‌ای برای تعیین تغییرات سختی، انرژی شکست، قدرت و درصد تغییر شکل استخوان استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که هشت هفته تمرین استقامتی بر سختی، قدرت، انرژی شکست و درصد تغییر شکل استخوان ران موش‌های نر سالمند تأثیر معناداری ندارد که دلیل این امر ممکن است ناشی از سن و جنس آزمودنی و همچنین پروتکل تمرین باشد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود مطالعات بیشتری در این زمینه انجام شود.

واژگان کلیدی: سالمندی، سختی استخوان، انرژی شکست، حداکثر مقاومت استخوان، درصد تغییرات استخوان

مقدمه

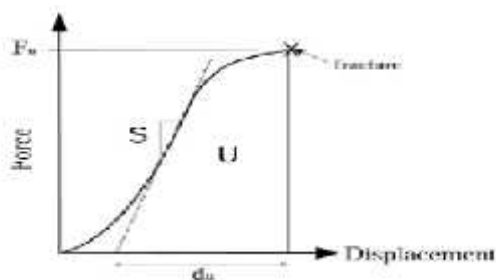
سالمندی فرایند کاهش پیش‌رونده در توانایی‌های فیزیولوژیکی است و سرانجام به مرگ منتهی می‌شود. طی سالمندی تغییرات ساختاری و فیزیولوژیکی زیادی رخ می‌دهد (۳-۱). پیری یا سالمندی فرآیندی طبیعی و غیرقابل اجتناب است که در پاره‌ای از موارد با تجربیات ناخوشایندی همراه می‌باشد. طی فرآیند پیری، تفاوت‌هایی در افراد مختلف دیده شده است که به عوامل متعددی همچون وراثت، سبک زندگی فرد، محیط، خدمات بهداشتی درمانی و غیره بستگی دارند. در دوران سالمندی، فرد با کاهش عملکرد تمام دستگاه‌های بدن از جمله عضله، قلب و عروق، تنفس، گوارش و استخوان مواجه می‌شود. البته لازم به ذکر است که تمام دستگاه‌های بدن با سرعت یکسان افت پیدا نمی‌کنند و الگوی نزول آنها هم در تمام افراد یکسان نیست (۴).

کیفیت استخوان‌ها به تدریج با افزایش سن روبه‌زوال می‌گذارد. عنصر عمده دخیل در سختی و شکل استخوان ماده معدنی کلسیم است. این ماده حتی قبل از تولد نیز در استخوان‌ها ذخیره می‌شود و استخوان‌های یک فرد سالم تا ۳۰ سالگی به نهایت فشردگی خود می‌رسد. در بدن توازی از کلسیم وجود دارد، مثلاً کلسیم بدن از طریق گردش خون خارج و با کلسیم تازه از طریق خوراک روزانه جایگزین می‌شود. با افزایش سن، به‌ویژه در افرادی که فعال و متحرک نیستند، گردش خون کند و رژیم غذایی محدود دارند، کاهش کلسیم استخوان از ذخیره کلسیم تازه بیشتر است و به تدریج کلسیم کاهش می‌یابد و استخوان‌ها شکننده می‌شوند و وضعیتی به نام پوکی استخوان را به وجود می‌آورند. در مطالعات انسانی، چگالی مواد معدنی استخوان^۱، نشانگر متداول غیرمستقیم رشد استخوان و ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان است. با توجه به ملاحظات اخلاقی اندازه‌گیری ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان در مطالعات انسانی به روش مستقیم امکان‌پذیر نیست، اما در مدل‌های حیوانی این امکان وجود دارد و از اندازه‌گیری‌های غیرتهاجمی بهتر است (۵). در روش اندازه‌گیری مستقیم با شروع اعمال بار، استخوان یک پاسخ خطی از خود نشان می‌دهد. این تغییر شکل یا در طول استخوان و یا به شکل زاویه‌ای در ناحیه الاستیک منحنی تنش - کرنش اتفاق می‌افتد، زیرا هنگامی که بار خارجی برداشته شود استخوان به طول و شکل اولیه برمی‌گردد. سختی یا ضریب الاستیک به وسیله شیب منحنی تنش - کرنش در ناحیه الاستیک تعریف می‌شود. با ادامه اعمال بار بافت استخوان دچار ترک‌های ریزی می‌شود که به این بخش از منحنی تنش - کرنش ناحیه پلاستیک می‌گویند زیرا با برداشتن بار خارج، استخوان به طول و شکل اولیه بر نمی‌گردد. قسمت بعد از نقطه تسلیم، ناحیه پلاستیک است. برای مواد سخت مانند استخوان ناحیه پلاستیک تقریباً

1. Bone Mineral Density

کوچک است، اما برای مواد دیگر این ناحیه می‌تواند بزرگ‌تر باشد. اگر اعمال نیرو در این ناحیه ادامه پیدا کند، سرانجام ساختار استخوان در نقطه شکست می‌شکند. سطح زیر منحنی تنش - کرنش نشانگر میزان انرژی است که یک استخوان جذب می‌کند تا بشکند (۵). به‌طور کلی، ناحیه خطی منحنی سختی یا استحکام ساختار را نشان می‌دهد (S)، حداکثر تنش قابل تحمل به قدرت استخوان معروف است و سطح زیر منحنی به‌عنوان انرژی شکست (U) شناخته می‌شود (شکل شماره یک)؛ بنابراین پارامترهای بیومکانیکی استخوان مانند سختی، قدرت و انرژی شکست می‌توانند جزء عوامل مهم تعیین‌کننده کیفیت استخوان در نظر گرفته شوند. از سوی دیگر پژوهشگران نشان داده‌اند که افزایش نیروهای مکانیکی کارایی کمتری بر اثر استخوان‌سازی دارند و پیشنهاد می‌کنند که افزایش سن با کاهش تدریجی حساسیت استخوان به سیگنال‌های شیمیایی و فیزیکی همراه است (۶). در پژوهش‌های آزمایشگاهی بر روی حیوانات زنده نشان داده شد که تحریک مکانیکی می‌تواند مانع از تشکیل سلولهای استخوان‌خوار شود. در پژوهش‌های زیادی که در زمینه پاسخ استئوژنیک به فعالیت‌های مختلف نظیر دویدن، شنا، پرش و تمرین مقاومتی انجام شده است (۹-۶)، نتایج حاکی از ایجاد اثر استئوژنیک به‌واسطه فعالیت ورزشی است و این به نوع فعالیت و بار اعمالی به استخوان وابسته می‌باشد. کولن و همکاران^۱ (۱۰) در سال (۲۰۰۱) نشان دادند که هرچه میزان کشش وارد به استخوان بیشتر باشد، اثر بیشتری در تحریک تشکیل استخوان خواهد داشت. پژوهش‌های قبلی نشان داده‌اند که اعمال بار مکانیکی، به‌ویژه اعمال بار مکانیکی ایجاد شده به‌وسیله فعالیت بدنی، نقش مهمی در بهبود رشد استخوان دارد (۱۳-۱۱). در همین راستا لین^۲ و همکاران (۱۴) در سال (۲۰۱۳) طی پژوهشی نشان دادند که یک برنامه کوتاه‌مدت (پنج روزه) فرود آزاد روی زمین سبب کاهش انرژی شکست و انرژی خمشی می‌گردد. هوانگ^۳ و همکاران (۱۵) در سال (۲۰۰۸) نشان دادند که دو نوع تمرین استقامتی تداومی و تناوبی تأثیری روی اعمال بار خمشی و سختی استخوان ندارد، اما سبب بالارفتن انرژی پس از نقطه تسلیم و انرژی شکست استخوان ران موش‌های صحرایی در حال رشد شد.

-
1. Cullen
 2. Lin
 3. Huang



شکل ۱- منحنی تنش- کرنش بافت استخوان

شیب ناحیه خطی منحنی سختی یا استحکام ساختار را نشان می‌دهد (S)؛ ارتفاع منحنی نیروی نهایی را مشخص می‌کند (F_U)؛ سطح زیر منحنی انرژی شکست (U) است.

با وجودی که فعالیت ورزشی اثرات سودمندی روی اسکلت دارد، اما برنامه تمرینی مطلوبی برای سلامت استخوان سالمندان مشخص نشده است. از این رو، با توجه به اهمیت پارامترهای بیومکانیکی (سختی، قدرت، انرژی شکست و درصد تغییر شکل) در بررسی وضعیت استخوان و همچنین اهمیتی که فعالیت ورزشی در پیشگیری و درمان غیر دارویی برای پوکی استخوان در سنین پیری دارد و همچنین در نظر گرفتن اینکه سالمندان اغلب به انجام ورزش‌هایی مانند پیاده‌روی و دویدن با ریتم یکنواخت می‌پردازند و اطلاعات کافی در مورد نقش فعالیت استقامتی بر پارامترهای بیومکانیکی استخوان افراد سالمند به روش مستقیم در دسترس نیست، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر یک دوره تمرین استقامتی بر سختی، قدرت، انرژی شکست و درصد تغییر شکل استخوان ران موش‌های نر سالمند بود.

روش پژوهش

آزمودنی‌های این پژوهش شامل ۲۰ سر موش نر نژاد ویستار ۲۰ ماهه بود که به صورت تصادفی در دو گروه کنترل (n=۱۰) و تجربی (n=۱۰) تقسیم شدند. موش‌های گروه کنترل و تجربی در محیطی با میانگین دمای ۱/۴ ± ۲۲ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۴ ± ۵۵ درصد و چرخه روشنایی-تاریکی ۱۲:۱۲ ساعت در قفس‌های مخصوص از جنس پلی‌کربنات نگهداری شدند. گروه تمرینی به مدت هشت هفته، هر هفته پنج روز تمرین کردند. کل دوره تمرین به سه مرحله آشنایی، اضافه‌بار و حفظ یا تثبیت شدت کار تقسیم شد. در مرحله آشنایی (هفته اول)، موش‌ها هر روز به مدت ۱۵-۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰ متر بر دقیقه روی نوارگردان ویژه جوندگان فعالیت کردند. در مرحله اضافه‌بار

(هفته دوم تا چهارم)، موش‌ها ابتدا به مدت ۱۵ دقیقه و با سرعت ۱۲ متر بر دقیقه می‌دویدند و به تدریج در مدت سه هفته، شدت و مدت فعالیت افزایش یافت تا به میزان نهایی تعیین شده برای هر گروه رسیدند. در مرحله حفظ یا تثبیت (هفته پنجم تا هشتم)، موش‌ها به مدت چهار هفته با شدت ۲۸ متر بر دقیقه، معادل ۷۵-۸۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی و به مدت ۶۰ دقیقه روی نوارگردان دویدند. در تمام مراحل شیب نوارگردان صفر درجه بود. از مجموع زمان فعالیت، پنج دقیقه برای گرم کردن و پنج دقیقه برای سرد کردن با سرعت هفت متر بر دقیقه در نظر گرفته شد (جدول شماره یک) (۱۶).

جدول ۱- برنامه تمرین استقامتی موش‌های گروه تمرین استقامتی

مراحل تمرین	هفته	زمان فعالیت (دقیقه)	سرعت تردمیل (متر در دقیقه)
آشنایی	اول	۱۰-۱۵	۱۰
	دوم	۱۵-۳۰	۱۲-۱۷
اضافه بار	سوم	۳۰-۴۵	۱۷-۲۳
	چهارم	۴۵-۶۰	۲۳-۲۸
تثبیت	پنجم تا پایان	۶۰	۲۸

چهل و هشت ساعت پس از آخرین جلسه تمرین، موش‌ها با تزریق درون صفاقی ترکیبی از کتامین^۱ (۳۰-۵۰ mg/kg) و زایلوزین^۲ (۳-۵ g/kg) بی‌هوش شدند و استخوان‌های ران پای راست آنها پس از برداشتن بافت نرم جدا و در درون فالكون و در دمای ۸۰- درجه نگهداری شد و سپس به آزمایشگاه خواص مکانیکی دانشکده فیزیک پزشکی دانشگاه تربیت مدرس انتقال داده شد و مورد آزمون نیروی خمشی سه نقطه‌ای (دستگاه آزمون دینامیکی^۳ ساخت شرکت زویخ آلمان^۴) قرار گرفتند (شکل شماره دو). برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون تی مستقل و برای برابری واریانس‌ها از آزمون لوین^۵ استفاده شد (P = ۰/۰۵).

1. Ketamine
2. Xylazine
3. Dynamic Testing Machine
4. Zwick/Roell
5. Levene



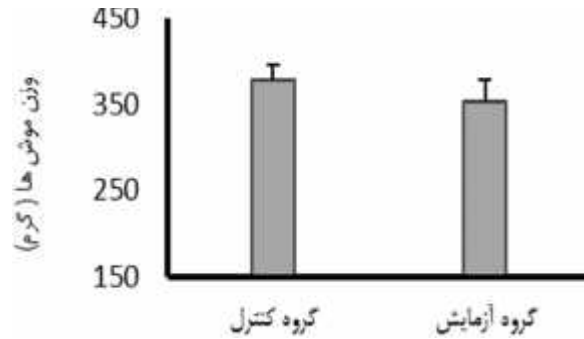
شکل ۲- الف. اندازه‌گیری پارامترهای بیومکانیکی به وسیله دستگاه نیروی خمشی سه‌نقطه‌ای.
شکل ۲- ب. نمونه‌ای از منحنی تنش - کرنش.

نتایج

وزن گروه آزمایش در آغاز دوره ($375/48 \pm 33/13$) بالاتر از گروه کنترل ($356/47 \pm 71/19$) بود اما در هفته آخر وزن گروه کنترل ($378/17 \pm 5/59$) بیشتر از گروه آزمایش ($353/25 \pm 67/49$) بود که این تفاوت با فرض برابری واریانس‌های دو گروه ($F=1/84$, $P=0/19$) از نظر آماری معنادار بود ($P < 0/05$) (جدول شماره دو) (شکل شماره سه). تحلیل آزمون تی مستقل نشان داد که هشت هفته تمرین استقامتی تأثیری بر سختی، حداکثر مقاومت، انرژی شکست و تغییر شکل استخوان ران موش‌های صحرایی نر مسن نداشت ($P < 0/05$) (جدول شماره سه).

جدول ۲- میانگین \pm انحراف معیار وزن موش‌ها در هفته اول و هشتم در دو گروه کنترل و آزمایش

هفته	گروه کنترل	گروه آزمایش
هفته اول	$356/47 \pm 71/19$	$375/48 \pm 33/13$
هفته هشتم	$378/17 \pm 5/59$	$353/25 \pm 67/49$



شکل ۳- مقایسه میانگین وزن موش های مسن در دو گروه کنترل و آزمایش

علامت * نشانه معناداری است ($t=2/418, P=0/026$).

جدول ۳- میانگین و انحراف معیار ویژگی های بیومکانیکی استخوان ران موش های صحرائی مسن با روش خمش سه نقطه ای

مقادیر P	گروه کنترل	گروه تمرین	متغیرهای بیومکانیکی استخوان
۰/۲۷	۱۹۶/۴۹±۳/۴۵	۱۷۴/۳۳±۷/۲۹	سختی (N/mm)
۰/۶۳	۱۳۸/۲۶±۵۶/۷۹	۱۳۳/۲۳±۴۴	قدرت (N/mm ²)
۰/۵	۹۶/۳۹±۵۲/۰۹	۱۰۷/۳۱±۴۴/۶۱	انرژی شکست (N.mm)
۰/۳۹	۴/۱±۵۹/۲۱	۴/۰±۲/۶۸	تغییر شکل استخوان (/)

سطح معناداری ۰/۰۵ P

بحث و نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که هشت هفته تمرین استقامتی با این شدت بر سختی، حداکثر مقاومت، انرژی شکست و درصد تغییر شکل استخوان ران موش های نر سالمند تأثیر معناداری ندارد. نتایج این پژوهش با دیگر پژوهش ها مغایرت دارد (۷، ۱۴، ۱۷). هوانگ و همکاران (۱۵) در سال (۲۰۰۸) در پژوهشی به بررسی تأثیر دو نوع تمرین استقامتی تداومی و تناوبی بر ویژگی های بیومکانیکی استخوان موش های صحرائی در حال رشد (هفت هفته ای) پرداختند، نتایج پژوهش نشان

داد که هر دو نوع تمرین استقامتی سبب بهبود ویژگی‌های زیست ماده استخوان ران شد. همچنین در پژوهش هوانگ و همکاران نشان داده شد که هر دو نوع تمرین استقامتی تداومی و تناوبی تأثیری بر سختی و نیروی خمشی استخوان ران ندارد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. در پژوهش هوانگ و همکاران نشان داده شد که انرژی شکست در اثر تمرین استقامتی افزایش می‌یابد که با نتایج این پژوهش مغایرت دارد. هوانگ و همکاران (۷) در سال (۲۰۰۳) در پژوهش دیگری نشان دادند که هشت هفته تمرین دویدن روی تردمیل با سرعت ۲۲-۱۲ متر بر دقیقه به مدت ۶۰-۲۰ دقیقه برای پنج روز در هفته سبب افزایش معنادار انرژی شکست و حداکثر انرژی بار اعمالی به استخوان ران موش‌های صحرائی جوان می‌شود. نتایج این پژوهش با پژوهش هوانگ و همکاران مغایرت دارد. علت تفاوت نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش هوانگ و همکاران می‌تواند شدت تمرین و سن موش‌های صحرائی باشد. شدت تمرین دویدن روی نوار گردان در پژوهش هوانگ و همکاران از ۱۲ متر در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه در روز شروع و به تدریج به ۲۲ متر در دقیقه برای ۶۰ دقیقه رسید، در حالی که در این پژوهش از هفته چهارم به بعد سرعت تردمیل ۲۸ متر در دقیقه، معادل ۷۵-۸۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی بود که موش‌های صحرائی باید هر روز به مدت ۶۰ دقیقه روی تردمیل می‌دویدند. از سوی دیگر سن موش‌های صحرائی پژوهش هوانگ و همکاران هفت هفته بود که این سن به‌عنوان سن رشد موش‌های صحرائی محسوب می‌شود در حالی که سن موش‌های صحرائی این پژوهش ۲۰ ماه بود که در پایان پژوهش سن این موش‌ها به ۲۲ ماه رسید. احتمالاً میزان پاسخ بافت استخوانی به فعالیت استقامتی تداومی در سنین مختلف متفاوت باشد. از سوی دیگر، لین و همکاران (۱۴) در سال (۲۰۱۳) نیز گزارش دادند که تمرین فرود آزاد از ارتفاع ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متری سبب کاهش انرژی خمشی و انرژی بیشینه و انرژی بعد از نقطه تسلیم سطح بیرونی استخوان می‌شود اما بر دیگر ویژگی‌های بیومکانیکی نظیر سختی، انرژی شکست، نیروی تسلیم، چقرمگی تسلیم تأثیر معناداری نداشت. نتایج لین و همکاران با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. همان‌طور که در جدول چهار نشان داده شد، میزان سختی، قدرت و درصد تغییر شکل استخوان پس از هشت هفته تمرین استقامتی کاهش یافت اما این کاهش به لحاظ آماری معنادار نبود. نتایج این پژوهش نشان داد که میانگین وزن گروه کنترل بعد از هشت هفته تمرین بالاتر از گروه تجربی بود. نتایج پژوهش تالبوت^۲ و همکاران (۱۸) در سال (۲۰۰۱) نشان داد که کاهش وزن ناشی از محدودیت انرژی دریافتی سبب کاهش چگالی استخوان و ویژگی‌های بیومکانیکی موش‌های

1. Biomaterial

1. Talbott

سالمند می‌شود. از سوی دیگر باربوسا^۱ و همکاران (۱۹) در سال (۲۰۱۲) نشان دادند که همبستگی بالایی بین وزن بدن و ساختار و ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان وجود دارد. کاهش وزن ناشی از تمرین استقامتی تداومی در این پژوهش نیز می‌تواند یکی از دلایل مهار تأثیر تمرین استقامتی بر ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان ران موش‌های سالمند باشد.

روبلینگ^۲ و همکاران (۲۰) در سال (۲۰۰۲) نشان دادند که اعمال بار مکانیکی یک محرک استخوان‌ساز قوی برای سلول‌های استخوانی است، اما سلول‌های استخوانی به سرعت حساسیت خود را نسبت به محرک‌های مکانیکی از دست می‌دهند و به آن سازگار می‌شوند. از آنجایی که از هفته چهارم به بعد شدت تمرین تثبیت شد و آزمودنی‌ها 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 استقامتی تداومی (۶۰ دقیقه‌ای) نیاز به انرژی زیادی دارد، تعادل انرژی را بر هم زده باشد و سبب بروز چنین پاسخی در بافت استخوانی موش‌های صحرایی سالمند شود. از سوی دیگر، نازاکی^۳ و همکاران (۲۰۱۰) و ایکس یو (۲۰۱۲) نیز نشان دادند که مقادیر بالای کشش یا اعمال بار زیاد سبب تولید سلول‌های استخوان‌خوار^۴ شود (۲۱،۲۲). همچنین روبلینگ و همکاران (۲۳) در سال (۲۰۰۶) گزارش دادند که مرگ سلول‌های استخوانی^۵ ناشی از اعمال اضافه‌بار زیاد، فراخوانی استئوکلاست‌ها را برای جابجایی از بافت به خطر افتاده افزایش می‌دهند با توجه به نتایج پژوهش‌های قبلی مبنی بر وجود رابطه بین میزان کشش حاصل از اعمال بار خارجی یا میزان کشش در بافت استخوانی با میزان شکل‌گیری استخوان (۱۰)، در این پژوهش از پروتکل تمرین استقامتی تداومی با ۷۵-۸۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی استفاده شد که این شدت از تمرین شاید در این سنین سبب بروز مرگ سلولی استئوسایت‌ها و استئوکلاستوز^۶ می‌گردد که می‌تواند تأثیر منفی بر کیفیت استخوان و ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان ران داشته باشد. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که تمرین استقامتی تداومی با این شدت بر بهبود ویژگی‌های بیومکانیکی یا کیفیت استخوان طی دوران سالمندی تأثیری ندارد که می‌تواند ناشی از سن و جنس آزمودنی و همچنین پروتکل تمرینی باشد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی به بررسی تأثیر تمرینات

-
2. Barbosa
 1. Robling
 2. Nozaki
 3. Osteoclastogenesis
 4. Osteositis

استقامتی، مقاومتی و ترکیبی با شدت‌های متفاوت بر ویژگی‌های بیومکانیکی و بافتی استخوان ران در افراد سالمند زن و مرد بپردازند.

پژوهش‌های گذشته در مورد تاثیر تمرین‌های ورزشی بر روی ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان جوانان بوده و پژوهش‌ها نشان از تاثیر این تمرینات بر روی استخوان بوده است.

از آنجاییکه تعداد سالمندان رو به افزایش است و در این دوره احتمال شکستگی‌های استخوان زیاد می‌باشد ما به دنبال یک برنامه تمرینی مطلوب برای بهبود متغیرهای بیومکانیکی استخوان بودیم که با این نوع تمرین و طی این مدت بهبودی مشاهده نشد.

منابع

- Gallegly JC, Turesky NA, Strotman BA, Gurley CM, Peterson CA, Dupont-Versteegden EE. Satellite cell regulation of muscle mass is altered at old age. *Journal of Applied Physiology*. 2004; 97(3):1082-90.
- Marcell TJ. Review article: Sarcopenia: causes, consequences, and preventions. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 2003; 58(10): 911-6.
- Narici MV, Maffulli N. Sarcopenia: characteristics, mechanisms and functional significance. *British medical bulletin*. 2010; 95(1):139-59.
- Germain-Lee EL, Smith MMCEL. Effects of aging on bone. *Geriatric Rehabilitation Manual*. 2007:13.
- Cole JH, van der Meulen MC. Whole bone mechanics and bone quality. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2011; 469(8):2139-49.
- Marques EA, Wanderley F, Machado L, Sousa F, Viana JL, Moreira-Gonçalves D, et al. Effects of resistance and aerobic exercise on physical function, bone mineral density, OPG and RANKL in older women. *Experimental gerontology*. 2011; 46(7):524-32.
- Huang T, Lin S, Chang F, Hsieh S, Liu S, Yang R. Effects of different exercise modes on mineralization, structure, and biomechanical properties of growing bone. *Journal of Applied Physiology*. 2003; 95(1):300-7.
- Umemura Y, Sogo N, Honda A. Effects of intervals between jumps or bouts on osteogenic response to loading. *Journal of Applied Physiology*. 2002; 93(4):1345-8.
- Johannsen N, Binkley T, Englert V, Neiderauer G, Specker B. Bone response to jumping is site-specific in children: a randomized trial. *Bone*. 2003; 33(4):533-9.
- Cullen D, Smith R, Akhter M. Bone-loading response varies with strain magnitude and cycle number. *Journal of Applied Physiology*. 2001; 91(5):1971-6.
- Downey PA, Siegel MI. Bone biology and the clinical implications for osteoporosis. *Physical therapy*. 2006; 86(1):77-91.
- Skerry T. Mechanical loading and bone: What sort of exercise is beneficial to the skeleton? *Bone*. 1997; 20(3):179-81.

13. 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. *International SportMed Journal*. 2013; 14(3):155-67.
14. Lin H-S, Huang T-H, Wang H-S, Mao S-W, Tai Y-S, Chiu H-T, et al. Short-Term Free-Fall Landing Causes Reduced Bone Size and Bending Energy in Femora of Growing Rats. *Journal of sports science & medicine*. 2013; 12(1):1.
15. Huang T-H, Chang F-L, Lin S-C, Liu S-H, Hsieh SS, Yang R-S. Endurance treadmill running training benefits the biomaterial quality of bone in growing male Wistar rats. *Journal of bone and mineral metabolism*. 2008; 26(4):350-7.
16. Naito H, Powers SK, Demirel HA, Aoki J. Exercise training increases heat shock protein in skeletal muscles of old rats. *Medicine and science in sports and exercise*. 2001; 33(5):729.
17. Miller LE, Wootten DF, Nickols-Richardson SM, Ramp WK, Steele CR, Cotton JR, et al. Isokinetic training increases ulnar bending stiffness and bone mineral in young women. *Bone*. 2007; 41(4):685-9.
18. Talbott SM, Cifuentes M, Dunn MG, Shapses SA. Energy restriction reduces bone density and biomechanical properties in aged female rats. *The Journal of nutrition*. 2001; 131(9):2382-7.
19. Barbosa Adelson Andrade RJDC, Simone Rezende GALVÃO, Mário Jefferson Quirino LOUZADA. Free Activity in The Cage Associated with Body Weight and Restoration of Bone Structural and Mechanical Properties in Growing Rates After Hindlimb Unloading. *Biosci J*. 2012; v. 28, n. 4, p. 660-6.
20. 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. *Journal of Bone and Mineral Research*. 2002; 17(8):1545-54.
21. Nozaki K, Kaku M, Yamashita Y, Yamauchi M, Miura H. Effect of cyclic mechanical loading on osteoclast recruitment in periodontal tissue. *Journal of periodontal research*. 2010; 45(1):8-15.
22. Xu X-Y, Guo C, Yan Y-X, Guo Y, Li R-X, Song M, et al. Differential effects of mechanical strain on osteoclast genesis and osteoclast-related gene expression in RAW264. 7 cells. *Molecular medicine reports*. 2012; 6(2):409-15.
23. Robling AG, Castillo AB, Turner CH. Biomechanical and molecular regulation of bone remodeling. *Annu Rev Biomed Eng*. 2006; 8:455-98.

استناد به مقاله

محمدآملی سیما، صادقی حیدر، مختاری دیزجی منیژه. تأثیر هشت هفته تمرین استقامتی بر برخی پارامترهای بیومکانیکی استخوان ران موش‌های صحرایی نر مسن. مطالعات طب ورزشی. پاییز و زمستان ۱۳۹۴؛ ۷(۱۸)، ۳۱-۴۲.

Mohammad Amoli. S, Sadeghi. H, Mokhtari Dizaji. M. Effect of eight weeks' endurance training on femurs biomechanical properties of old male rats. Fall & Winter 2015 & 2016; 7 (18): 31-42. (Persian)

Effect of eight weeks' endurance training on femurs biomechanical properties of old male rats

S. Mohammad Amoli¹, H. Sadeghi², M. Mokhtari Dizaji³

1. MSc of Kharazmi University*
2. Professor at Kharazmi University
3. Professor at Tarbiat Modares University

Received Date: 2015/02/24

Accepted Date: 2016/02/08

Abstract

The purpose of this study was to determine the effect of eight weeks' endurance training on femur s biomechanical properties of old male rats. Twenty months old male Wistar rats (360.5 ± 15.4 gr) were assigned to sedentary control group (n=10) and endurance training group (n=10). Endurance training group was exercised on treadmill for 8 weeks, 5 times per week and 60 minutes per day at velocity up to 28 m/min. Forty-eight hours after last session of exercise training, animals were anesthetized and femur bones were removed. Three – point bending test was used to determine bone stiffness, fracture energy, strength and deformation. Results of this study apparently showed that 8 weeks' endurance training had no significant effect on bone stiffness, fracture energy, strength and deformation. It's may be due to subject's age and gender and also training protocol. Thus, it is suggested that more research should be done.

Keyword: Aging, Endurance Training, Stiffness, Fracture Energy, Maximal Stress and Deformation

* Corresponding Author

Email: sima.amoli@yahoo.com