

## تأثیر هشت هفته تمرین مقاومتی بر متغیرهای منتخب بیومکانیکی استخوان ران موش‌های صحرائی نر مسن

### چکیده

سیما محمدآملی<sup>\*</sup>، حیدر صادقی<sup>۱</sup>

۱. گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

**هدف:** این پژوهش به منظور بررسی تأثیر یک دوره تمرین مقاومتی بر متغیرهای منتخب بیومکانیکی استخوان ران موش‌های صحرائی نر مسن اجرا شد.

**روش‌ها:** در این پژوهش تجربی ۱۶ رأس موش صحرائی نر، مسن (۲۰ ماهه)، نژاد ویستار و سالم به روش تصادفی در دو گروه تمرین مقاومتی ( $n=8$ ) و کنترل ( $n=8$ ) قرار گرفتند، به دلیل تهاجمی بودن آزمون امکان اندازه‌گیری متغیرها قبل از شروع تمرین وجود نداشت. تمرین مقاومتی شامل بالا رفتن از نردبان بود که ۴ جلسه در هفته و به مدت ۸ هفته انجام شد. آزمودنی‌ها ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه فعالیت بیهوش شده و سپس از طریق جراحی استخوان رانشان خارج شد. از آزمون فشار مکانیکی خمش سه نقطه‌ای برای تعیین تغییرات سختی، انرژی شکست و حداکثر مقاومت استخوان ران استفاده شد. داده‌ها با استفاده از آزمون T مستقل در سطح معناداری ( $p \leq 0.05$ ) تجزیه و تحلیل شدند.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که این نوع تمرین تأثیری بر سختی، حداکثر مقاومت و انرژی شکست استخوان ران موش‌های صحرائی نر مسن نداشت ( $p > 0.05$ ).

**نتیجه‌گیری:** دلیل احتمالی عدم تأثیر این نوع تمرین ممکن است ناشی از شدت، نوع و مدت تمرین و یا سن شروع فعالیت باشد.

**کلید واژگان:** سالمندی، تمرین مقاومتی، سختی، انرژی شکست، حداکثر مقاومت

\* نویسنده مسئول: گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

تلفن: ۰۹۱۱۳۲۲۸۹۲

E-mail: sima.amoli@yahoo.com

### مقدمه

سیستم اسکلتی که تقریباً ۲۰٪ از وزن بدن را تشکیل می‌دهد شامل استخوان‌ها، غضروف‌ها، لیگامنت‌ها و مفاصل هستند و در بین این چهار بخش، استخوان‌ها بخش اصلی سیستم را تشکیل می‌دهند. با وجود این که اندازه کلی و شکل استخوان‌ها اثری است اما استخوان‌ها به‌طور وسیعی تحت تأثیر تغذیه، سطح فعالیت و سبک زندگی قرار می‌گیرند و سازگاری‌های ساختاری در شکل و اندازه استخوان توسط نیروهای ناشی از تحمل وزن و نیروهای اعمال‌شده توسط لیگامنت‌ها، تاندون‌ها و

سالمندی فرایند کاهش پیشرونده توانایی‌های فیزیولوژیکی است که سرانجام منجر به مرگ می‌شود. طی سالمندی تغییرات ساختاری و فیزیولوژیکی زیادی رخ می‌دهد (۱). یکی از مهم‌ترین و بارزترین تغییراتی که در دوره سالمندی مشاهده می‌شود پدیده‌ای به نام پوکی استخوان است.

عضلات اتفاق می افتد (۲). استخوان‌ها برای رشد و بهبود کیفیت نیازمند بارهای مکانیکی هستند بنابراین فعالیت فیزیکی، عاملی مهم برای توسعه و حفظ یکپارچگی و قدرت استخوان به شمار می‌رود. مقدار و دوره بار روزانه چگالی استخوان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به طوری که بارهای متناوب در روز نشان از یک افزایش در سطح مقطع استخوان دارد (۳). وزن بدن و میزان فعالیت از جمله عواملی هستند که در تنظیم چگالی استخوان‌هایی که وزن را تحمل می‌کنند نقش دارند. افزایش در سطح فعالیت باعث افزایش متوسط توده استخوان می‌شود. اگر باز جذب استخوان نسبت به جذب بیشتر باشد پوکی اتفاق می‌افتد. شروع نشانه‌های پوکی اغلب در سالمندی است اگر چه با توجه به سبک زندگی می‌تواند زودتر هم شروع شود. در پوکی استخوان چگالی مواد معدنی استخوان کاهش یافته که این موضوع باعث کاهش چگالی استخوان، کم شدن سختی و یکپارچگی استخوان می‌شود که این عوامل زمینه را برای شکستگی استخوان مهیا می‌کند (۴).

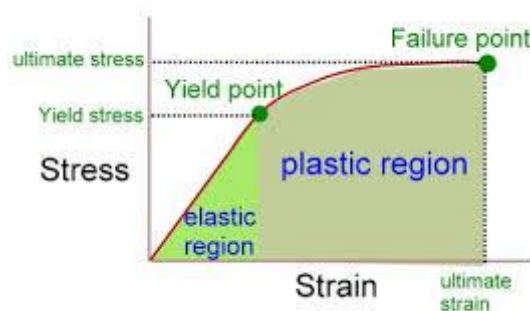
اگرچه علت دقیق پوکی استخوان کاملاً مشخص نیست اما مستندات موجود بیانگر آن است که فاکتورهای رشد، تغذیه نامناسب و کمبود فعالیت‌های بدنی، در پوکی استخوان تأثیرگذار هستند (۳). حجم استخوان بین ۱/۵ تا ۲ لیتر می‌باشد و قطر استخوان در بین ۳۰ تا ۴۰ سالگی بیشترین مقدار خودش را دارا است. بعد از ۳۰ سالگی سالانه ۰/۲ تا ۰/۵ درصد وزن مواد معدنی استخوان کم می‌شود که این موضوع در زنان بعد از یائسگی ۵۰٪ بیشتر از مردان در سن مشابه است (۵)، مستندات نشان‌دهنده آن است که فعالیت بدنی می‌تواند محتوای مواد معدنی را در سالمندی افزایش دهد (۷)، به عنوان مثال Downey و همکارانش مدعی شدند که حجم مواد معدنی دوندگان ۵۰ تا ۷۲ ساله بیشتر از افرادی بود که نمی‌دویدند اگر چه وقتی دوندگان فعالیت خود را متوقف می‌کردند یا به جای آن پیاده‌روی انجام می‌دادند کاهش بیشتری در حجم مواد معدنی نسبت به افرادی که بدون فعالیت بودند داشتند (۸). از سوی دیگر رفتار هر ماده در برابر نیروی وارد شده توسط قدرت و سختی آن تعیین می‌شود. وقتی نیروی خارجی به استخوان یا هر ماده دیگری وارد شود عکس‌العمل داخلی نیز وجود دارد. قدرت می‌تواند توسط ارتباط بین نیروی خارجی و مقدار تغییر شکل (عکس‌العمل داخلی) تعیین شود (۶). بافت استخوان دارای ویژگی‌های دیگری مانند ناهمگرایی (Anisotropic) یعنی رفتار متفاوت با توجه به جهت بار وارد شده و خاصیت ویسکوالاستیک یعنی رفتار متفاوت با توجه به نرخ بار وارد شده نیز می‌باشد (۲). در مطالعات انسانی، چگالی مواد معدنی

استخوان (Bone mineral density)، نشانگر غیرمستقیم متداول 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 امکان آن در مدل‌های حیوانی فراهم بوده که از اندازه‌گیری‌های غیرتهاجمی نظیر چگالی مواد معدنی استخوان بهتر است (۲). در روش اندازه‌گیری مستقیم با شروع اعمال بار، استخوان پاسخی خطی از خود نشان می‌دهد که این تغییر شکل یا در طول استخوان است یا به شکل زاویه‌ای بوده که این میزان تغییر شکل، در ناحیه الاستیک منحنی تنش- کرنش (stress-strain) اتفاق می‌افتد، زیرا هنگامی که بار خارجی برداشته شود استخوان به طول و شکل اولیه‌اش 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 شده که به این ناحیه از منحنی تنش- کرنش ناحیه پلاستیک می‌گویند (۹). زیرا هنگامی که بار خارجی برداشته شود استخوان به طول و شکل اولیه‌اش بر نمی‌گردد. ناحیه بعد از نقطه تسلیم ناحیه پلاستیک است نقطه تسلیم (Yield point) مرز بین ناحیه الاستیک و پلاستیک می‌باشد (۶). برای مواد سخت مانند استخوان ناحیه پلاستیک تقریباً 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 میزان انرژی‌ای که یک استخوان جذب می‌کند تا بشکند را نشان می‌دهد (تصویر ۱) (۲). بنابراین متغیرهای بیومکانیکی استخوان مانند سختی، حداکثر مقاومت و انرژی شکست می‌توانند جزء عوامل مهم تعیین‌کننده کیفیت استخوان در نظر گرفته شوند. از سوی دیگر در تحقیقی Marques و همکاران نشان دادند که با افزایش سن حساسیت استخوان در پاسخ به سیگنال‌های شیمیایی و فیزیکی کمتر شده که این موضوع می‌تواند باعث آن شود که کارایی نیروهای مکانیکی برای استخوان‌سازی کمتر شود (۱۰). در تحقیقات آزمایشگاهی و پژوهش‌هایی که روی حیوانات زنده صورت گرفت، نشان داده شد که تحریک مکانیکی می‌تواند مانع از تشکیل استئوکلاست شود. تحقیقات زیادی در زمینه پاسخ استئوژنیک به فعالیت‌های مختلف نظیر دویدن، شنا، پرش و تمرین مقاومتی انجام شده است (۴، ۵، ۱۰). نتایج این تحقیقات حاکی از آن بود که فعالیت ورزشی باعث ایجاد اثر استئوژنیک می‌گردد و این امر وابسته به نوع فعالیت و بار اعمال شده به استخوان می‌باشد. Cullen و همکاران نشان دادند که هر چه میزان کشش وارد شده به استخوان بیشتر باشد اثر بیشتر در تحریک برای

نحوه اجرای پروتکل تمرینی ۴ روز و به مدت ۴۵ دقیقه بدون وزنه بالا رفتن از نردبان را انجام دادند. از هفته سوم پروتکل تمرین که شامل بالا رفتن از نردبانی به طول یک متر، شیب ۸۵ درجه، ۲۶ پله و دو سانتی‌متر فضای بین هر پله بود، آغاز شد، که ۳ جلسه در هفته و به مدت ۸ هفته، انجام گرفت (۱۳). در اولین جلسه از مرحله اجرای پروتکل تمرینی، وزنه‌ها توسط یک کیسه پارچه‌ای با چسب لکوپلاست به دو سوم انتهای فوقانی دم موش‌های تمرینی بسته شده و به منظور تحریک آزمودنی‌ها در صورت نیاز از لمس کردن آن‌ها جهت بالا رفتن از نردبان استفاده می‌شد. در اولین تکرار روز اول هر موش وزنه‌ای معادل ۵۰٪ وزن خودش را حمل می‌کرد، در تکرار دوم ۷۵٪ وزن، تکرار سوم ۹۰٪ وزن، تکرار چهارم ۱۰۰٪ وزن و از تکرار پنجم تا هشتم در صورت موفقیت مراحل قبل در هر نوبت ۳۵ گرم به وزنه قبلی اضافه می‌شد. اگر موشی قبل از تکرار هشتم به اماندگی می‌رسید ۷۰٪ آخرین وزنه را تا تکرار هشتم ادامه می‌داد. بین هر تکرار هم دو دقیقه استراحت داشتند. آخرین وزنه حمل شده در روز قبل به عنوان وزنه حداکثر برای پروتکل جلسه بعدی استفاده می‌شد، در روز بعد با ۵۰٪ آخرین وزنه روز قبل شروع می‌شد سپس ۷۵٪ آخرین وزنه روز قبل و ... (۱۳). بعد از هشت هفته، موش‌ها ۴۸ ساعت استراحت داشتند تا اثرات حاد، آخرین جلسه تمرین از بین برود. سپس با تزریق درون صفاقی ترکیبی از کتامین (۵۰-۳۰ mg/kg) و زایلوزین (۳-۵ mg/kg) بیهوش و استخوان‌های ران پای راست آن‌ها پس از برداشتن بافت نرم جدا شده و در درون فالکون و در دمای ۸۰- درجه نگهداری و سپس به آزمایشگاه خواص مکانیکی انتقال داده شده و مورد آزمون نیروی خمشی سه نقطه‌ای (دستگاه Dynamic testing machine ساخت شرکت Zwick/roell آلمان) قرار گرفتند. از آزمون کلموگروف - اسمیرونف برای طبیعی بودن توزیع داده‌ها استفاده شد و داده‌ها دارای توزیع نرمال بودند. همچنین از آزمون لوین برای همگن بودن واریانس‌ها

تشکیل استخوان خواهد داشت (۷). در تحقیقات قبلی نشان داده شد که اعمال بار مکانیکی به ویژه اعمال بار مکانیکی ایجاد شده به وسیله فعالیت بدنی نقش مهمی در بهبود رشد استخوان ایفا می‌کند (۸، ۹). در همین حوزه، Lin و همکاران نشان دادند که یک برنامه کوتاه مدت (۵ روزه) فرود آزاد روی زمین سبب کاهش انرژی شکست و انرژی خمشی می‌گردد (۱۱). Huang و همکاران نشان دادند که دو نوع تمرین استقامتی تداومی و تناوبی تأثیری روی اعمال بار خمشی و سختی استخوان ندارد، اما سبب بالا رفتن انرژی پس از نقطه تسلیم و انرژی شکست استخوان ران موش‌های صحرایی در حال رشد شد (۱۲).

علی‌رغم اینکه تمرین ورزشی اثرات سودمندی روی اسکلت بدن دارد، با این وجود، برنامه تمرینی مطلوبی برای سلامت استخوان سالمندان مشخص نشده است. از این رو، با توجه به اهمیت پارامترهای بیومکانیکی (سختی، حداکثر مقاومت و انرژی شکست) در بررسی وضعیت استخوان و نقش فعالیت ورزشی در پیشگیری و درمان غیر دارویی برای پوکی استخوان در سنین پیری، هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر یک دوره تمرین مقاومتی بر سختی، حداکثر مقاومت و انرژی شکست استخوان ران موش‌های نر سالمند بود.



شکل ۱. منحنی تنش - کرنش

## روش شناسی

در این تحقیق تجربی، ۱۶ رأس موش صحرایی نر، ۲۰ ماهه، نژاد ویستار و سالم، پس از یک هفته دوره آشنایی با محیط و زندگی در شرایط آزمایشگاهی به روش تصادفی به دو گروه تمرین مقاومتی ( $n=8$ ) و کنترل ( $n=8$ ) تقسیم شدند. موش‌های گروه کنترل و تجربی در محیطی با میانگین دمای  $1/4 \pm 22$  درجه سانتی‌گراد، رطوبت  $4 \pm 55$  و چرخه روشنایی-تاریکی ۱۲:۱۲ ساعت در قفس‌های مخصوص از جنس پلی کربنات نگهداری شدند. در هفته دوم موش‌ها به منظور آشناسازی با



شکل ۲. (الف). دستگاه تست نیروی خمشی سه نقطه‌ای (ب). نردبان مخصوص تمرین قدرتی موش‌ها

و بزرگسال که روی سه گروه بدون تمرین بزرگسال (۵ ماهه)، بدون تمرین سالمند (۱۷ ماهه) و تمرین سالمند (۱۷ ماهه) به مدت ۱۶ هفته انجام شد، نشان داد که بعد از تمرین قدرتی میزان مواد معدنی، حداکثر بار، سختی، حداکثر انرژی و سطح مقطع استخوان رت‌های سالمند در ابتدا نسبت به گروه بزرگسال کاهش معناداری دارد که این تأثیر سن بر کاهش کیفیت استخوان را نشان می‌دهد. بعد ۱۶ هفته تمرین قدرتی گروه سالمند تمرین کرده نسبت به گروه سالمند بدون تمرین افزایش معناداری در میزان مواد معدنی، حداکثر بار، سختی، حداکثر انرژی شکست و سطح مقطع را داشتند. در این تحقیق عوامل طول مدت تمرین، سن شروع تمرین در دوره سالمندی، شدت و تعداد تکرار را در میزان سازگاری استخوان بسیار مهم دانستند (۱۴). پروتکل تمرین قدرتی استفاده شده در این تحقیق بسیار مشابه با پروتکل تمرینی تحقیق حاضر بود اما زمان تمرین در پژوهش حاضر ۸ هفته و سن رت‌های سالمند نیز ۲۰ ماهه بودند که شاید این عوامل باعث عدم پاسخ بافت استخوان به تمرین قدرتی در تحقیق حاضر شده باشد. در تحقیقی که به بررسی تأثیر تمرین قدرتی بر سلامت استخوان در رت‌های سالمند بود نشان داده شد که ۱۲۰ روز تمرین قدرتی باعث بهبود قدرت، میزان مواد معدنی و ویژگی‌های میکروسکوپی استخوان رت‌های ماده ۱۴ ماهه (سالمند) نسبت به گروه بدون تمرین شده بود (۱۵). در این تحقیق با وجود پروتکل تمرین بسیار مشابه با تحقیق ما به علت تفاوت در طول مدت تمرین نتایج مشابه نبود. در تحقیقی تحت عنوان تأثیر مدل‌های متفاوت تمرین روی مواد معدنی، ساختار و ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان‌های در حال رشد که توسط Huang و دیگران روی سه گروه تمرین تحمل وزن (دویدن) بدون تحمل وزن (شنا) و گروه کنترل انجام شد، نشان داده شد طی هشت هفته تمرین، وزن بدن هر دو گروه تمرین کمتر از گروه کنترل بوده و میانگین مواد معدنی در گروه دنده‌ها به‌طور معناداری بیشتر از گروه شنا و کنترل بوده‌اند (۴). این تحقیق اهمیت سن شروع تمرین و انجام تمرینات تحمل‌کننده وزن در تحریک سلول‌های استخوان‌ساز را نشان می‌دهد. Huang و همکاران در تحقیقی دیگر به بررسی تأثیر دو نوع تمرین استقامتی تداومی و تناوبی بر ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان موش‌های صحرایی در حال رشد (۷ هفته‌ای) پرداخته و نتایج تحقیق نشان دادند که هر دو نوع تمرین استقامتی سبب بهبود ویژگی‌های ساختمانی بافت استخوان ران شد. ضمن این که در این تحقیق نشان داده شد که هر دو نوع تمرین استقامتی تداومی و تناوبی تأثیری بر سختی و نیروی خمشی استخوان ران ندارد. در تحقیق حاضر با توجه به نوع

استفاده شد و برای مقایسه تغییرات متغیرهای مورد نظر گروه کنترل و تمرین از آزمون T مستقل استفاده گردید. سطح معناداری برای تمام تحلیل‌های آماری  $P \leq 0.05$  در نظر گرفته شد.

## نتایج

در ابتدا موش‌ها با وزن‌های تقریباً مشابه به علت احتمال تأثیر وزن بر چگالی استخوان، انتخاب شدند و سپس در آخر هفته هشتم وزن‌گیری انجام شد که میانگین وزن گروه تمرین نسبت به کنترل افزایش معناداری داشت (جدول ۱). تحلیل آزمون t مستقل نشان داد که هشت هفته تمرین مقاومتی تأثیری بر سختی، حداکثر مقاومت و انرژی شکست ران موش‌های صحرایی نر مسن نداشت (جدول ۲).

### جدول ۱.

میانگین و انحراف معیار وزن موش‌ها در هفته هشتم در دو گروه کنترل و تمرین

هفته	گروه کنترل	گروه آزمایش	درجه آزادی	ارزش P
هفته هشتم	۴۸۹/۵±۱۵/۸۱	۶۸۶/۶۷±۱۹/۱۰	۱۴	۰/۰۰۰

### جدول ۲.

میانگین و انحراف معیار ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان ران موش‌های صحرایی مسن با روش خمش سه‌نقطه‌ای

مقادیر P	گروه کنترل	گروه تمرین	سختی (N/mm)
۰/۳۴	۱۹۳/۲۴±۵۰/۰۵	۱۶۹/۸۷±۴۵/۲۶	حداکثر مقاومت (N/mm <sup>2</sup> )
۰/۳۷	۱۵۲/۹±۳۰/۴۷	۱۶۷/۸۳±۳۲/۳۱	انرژی شکست (N.mm)

سطح معناداری  $P \leq 0.05$

## بحث

هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر یک دوره تمرین مقاومتی بر متغیرهای منتخب بیومکانیکی استخوان ران موش‌های صحرایی نر مسن بود. نتایج این تحقیق نشان داد که هشت هفته تمرین مقاومتی بر سختی، حداکثر مقاومت و انرژی شکست استخوان ران موش‌های نر سالمند تأثیر معناداری ندارد. یافته‌های تحقیق Singulani و دیگران تحت عنوان تأثیر تمرین قدرتی بر قدرت مکانیکی استخوان در رت‌های ماده سالمند

و جلوگیری از کاهش وزن از تمرین مقاومتی استفاده شد؛ اما بهبودی در گروه تمرین نسبت به کنترل یافت نشد. یکی از دلایل احتمالی آن می‌تواند سن شروع تمرین باشد چون در بیشتر تحقیقاتی که تمرین مؤثر بوده موش‌ها در سن رشد و جوانی بوده‌اند دلیل احتمالی دیگر می‌تواند مدت زمان تمرین باشد، شاید سالمندان به دوره‌های تمرین با زمان بیشتر پاسخ دهند که این موضوع نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد. برای مثال بازیکنان تئیس که به مدت دو سال تمرین داشتند حدود ۴۰٪ تراکم استخوانشان در سمتی که بازی می‌کردند نسبت به سمت مخالف افزایش داشت اما طی دوره استراحت ۴ ماهه کاهش معناداری در چگالی استخوان آن‌ها مشاهده شد (۱۸). در تحقیق Nozaki و هم‌چنین Xu نشان داده شد که مقادیر بالای کشش یا اعمال بار سبب فعال شدن فعالیت سلول‌های استخوان‌خوار می‌شود و خود این موضوع می‌تواند سبب پوکی استخوان شود (۱۹، ۲۰). شاید انجام تمرین مقاومتی به مدت ۴ روز در هفته برای سالمندان بار زیادی را به همراه داشت.

به نظر می‌رسد به منظور پاسخ استخوان به تمرین مقاومتی در دوران سالمندی نیاز به دوره‌های تمرین طولانی‌تری نسبت به جوانان دارد. از آنجایی که تعداد سالمندان در کشور ما و سایر کشورها رو به افزایش است، و نتایج بیشتر پژوهش‌ها تأثیر مثبت انجام فعالیت بدنی بر عوامل فیزیولوژیکی در این سنین را تأیید نموده‌اند، بنابراین پیشنهاد می‌شود تحقیقات بعدی به بررسی تأثیر تمرین مقاومتی با مدت زمان طولانی‌تر و شدت‌های متفاوت و همچنین تمرین‌های ترکیبی در افراد سالمند زن و مرد بپردازند.

تمرین که مقاومتی بوده انتظار افزایش وزن به علت هایپر تروفی عضلات می‌رفت ضمناً در این تحقیق بررسی بافت انجام نشده است و اطلاعاتی در مورد میانگین مواد معدنی و ویژگی‌های بافت استخوان نداشتیم. در تحقیق Huang و همکاران نشان داده شد که انرژی شکست در اثر تمرین استقامتی افزایش می‌یابد که با نتایج این تحقیق مغایرت دارد که ممکن است به علت متفاوت بودن نوع تمرین و سن آزمودنی‌ها باشد (۱۲). در واقع هدف از انتخاب تمرین مقاومتی برای گروه تمرین سالمند در این تحقیق بررسی این موضوع بود که این نوع تمرین که نقش مهمی در جلوگیری از تحلیل عضلات سالمندان دارد که خود این عامل در حفظ تعادل و افزایش قدرت بسیار مهم می‌باشد و با توجه به این که همبستگی بالایی بین وزن بدن و ساختار و ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان وجود دارد (۱۶)، و از آنجایی که اعمال بار مکانیکی یک محرک استخوان‌ساز قوی برای سلول‌های استخوانی می‌باشند، اما این سلول‌ها به سرعت حساسیت خود را نسبت به محرک‌های مکانیکی از دست می‌دهند و به آن سازگار می‌شوند (۱۷)، تمرین مقاومتی برخلاف تمرین استقامتی به علت تغییر بار در هر جلسه تمرین مانع سازگاری سلول‌های استخوان‌ساز شده و مانند تمرین استقامتی یکنواخت نبوده تا حساسیت سلول‌های استخوانی نسبت به آن کم شود و از طرفی باعث افزایش وزن نیز می‌شود احتمالاً بتواند بر کیفیت استخوان نیز تأثیر بسزایی داشته باشد، که یافته‌های این تحقیق نشان داد که تأثیری بر متغیرهای منتخب بیومکانیکی استخوان ران نداشته است البته ممکن است تعداد نمونه و یا طول مدت تمرین نیز تأثیرگذار بوده باشد.

## نتیجه‌گیری نهایی

در تحقیق حاضر به منظور عدم سازگاری سلول‌های استخوانی به فعالیت

## References

1. Narici MV, Maffulli N. Sarcopenia: characteristics, mechanisms and functional significance. *British medical bulletin*. 2010;95(1):139-59.
2. Cole JH, van der Meulen MC. Whole bone mechanics and bone quality. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2011;469(8):2139-49.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Hamill J, Knutzen KM. *Biomechanical basis of human movement*: Lippincott Williams & Wilkins. 2006.
7. 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.
8. Downey PA, Siegel MI. Bone biology and the clinical implications for osteoporosis. *Physical therapy*. 2006;86(1):77-91.
9. Skerry T. Mechanical loading and bone: What sort of exercise is beneficial to the skeleton? *Bone*. 1997;20(3):179-81.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. Lee S, Barton ER, Sweeney HL, Farrar RP. Viral expression of insulin-like growth factor-I enhances muscle hypertrophy in resistance-trained rats. *Journal of Applied Physiology*. 2004;96(3):1097-104.
14. Singulani MP, Stringhetta-Garcia CT, Santos LF, Morais SRL, Louzada MJQ, Oliveira SHP, et al. Effects of strength training on osteogenic differentiation and bone strength in aging female Wistar rats. *Scientific Reports*. 2017;7.
15. Stringhetta-Garcia CT, Singulani MP, Santos LF, Louzada MJQ, Nakamune ACS, Chaves-Neto AH, et al. The effects of strength training and raloxifene on bone health in aging ovariectomized rats. *Bone*. 2016;85:45-54.
16. 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 Rats After Hindlimb Unloading. *Biosci J*. 2012;v. 28, n. 4, :p. 660-6.
17. Robling AG, Castillo AB, Turner CH. Biomechanical and molecular regulation of bone remodeling. *Annu Rev Biomed Eng*. 2006;8:455-98.
18. Snow C, Williams D, LaRiviere J, Fuchs R, Robinson T. Bone gains and losses follow seasonal training and detraining in gymnasts. *Calcified tissue international*. 2001;69(1):7-12.
19. 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.
20. Xu X-Y, Guo C, Yan Y-X, Guo Y, Li R-X, Song M, et al. Differential effects of mechanical strain on osteoclastogenesis and osteoclast-related gene expression in RAW264. 7 cells. *Molecular medicine reports*. 2012;6(2):409-15.

## The Effect of Eight Weeks of Strength Training on Selected Biomechanical Properties of Femur in Old Male Rats

Sima Mohammad Amoli<sup>1\*</sup>,  
Heydar Sadeghi<sup>1</sup>

*1. Department of Sport Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.*

### Abstract

Received: July 29, 2017 Accepted: Sep. 4, 2017

**Objective:** The purpose of this study was to determine the effect of eight weeks of strength training on some chosen biomechanical properties of femur of old male rats.

**Methods:** In this experimental research sixteen old male Wistar rats around Twenty months old were assigned to sedentary control group (n=8) and strength training group (n=8). Strength training group climbed from a ladder for 8 weeks, 4 times per week. 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 biomechanical properties. The data was analyzed by independent samples t test ( $p \leq 0.05$ ).

**Results:** The results showed that such training would not significantly affect on bone stiffness, fracture energy and maximal load ( $p > 0.05$ ).

**Conclusion:** A possible explanation for this lack of effect can be intensity, type and time of training or the age at which such training states.

**Keywords:** Aging, strength training, Stiffness, Fracture Energy, Maximal load

\* Corresponding author:  
Department of Sport Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran  
Tel: 09113272892  
Email: sima.amoli@yahoo.com

خانم سیما محمدآملی دانشجوی دوره دکتری بیومکانیک ورزشی در دانشگاه خوارزمی تهران می باشد. وی دارای ۱ مقاله علمی پژوهشی و ۲ مقاله در کنفرانس های داخلی در حوزه بیومکانیک استخوان است.



پروفسور حیدر صادقی، در سال ۱۳۷۸ دکتری خود را در رشته بیومکانیک از دانشکده علوم حرکتی دانشگاه مونتreal دریافت کرد و در سال ۱۳۸۰ در دانشکده پزشکی همان دانشگاه فوق دکتری خود را تکمیل نمود. ایشان در حال حاضر استاد تمام گروه بیومکانیک



ورزشی دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه خوارزمی تهران می باشد. ایشان دارای ۵۸ مقاله نمایه شده در مجلات انگلیسی زبان و ۹۴ مقاله علمی پژوهشی به زبان فارسی می باشد. لازم به ذکر است ایشان انتشار ۱۸ کتاب تألیفی و ترجمه ای نیز در کارنامه خود دارند.