

تأثیر هشت هفته تمرین استقامتی بر استخوان‌های فمور و تیبیا رت‌های نر ویستار: پارامترهای بیومکانیکی و شاخص‌های ژئومتری

زهره برهانی کاخکی^۱، حیدر صادقی^۲، گیتی ترکمان^۳، عباسعلی گائینی^۴، نغمه قیدی^۵

۱. دانشجوی دکتری بیومکانیک ورزشی، دانشگاه خوارزمی (هیأت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان)*

۲. استاد بیومکانیک ورزشی، دانشگاه خوارزمی

۳. استاد فیزیوتراپی، دانشکده پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس

۴. استاد فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه تهران

۵. دکترای بیومکانیک ورزشی، هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۱۴

چکیده

فعالیت جسمانی منظم به عنوان مداخله غیردارویی برای افزایش استحکام، تراکم استخوان و پیشگیری از شکستگی‌های استخوانی توصیه می‌شود. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر هشت هفته تمرین استقامتی بر پارامترهای بیومکانیکی و شاخص‌های ژئومتری استخوان‌های فمور و تیبیا در رت‌های نر ویستار می‌باشد. بدین منظور، ۱۶ رت با دامنه سنی ۵۰ تا ۶۰ روز و میانگین وزنی 160 ± 10 گرم، به صورت تصادفی در دو گروه تمرین استقامتی هشت هفته‌ای (دویدن پنج روز در هفته با توجه به پروتکل تمرین) و گروه کنترل (بدون فعالیت) قرار گرفتند. پس از پایان جلسات تمرین، با جراحی استخوان‌های فمور و تیبیا پای راست رت‌ها خارج و به وسیله تست مکانیکی خمش سه نقطه‌ای، پارامترهای بیومکانیکی (سفتی، حداکثر مقاومت مکانیکی و حداکثر انرژی جذب شده تا نقطه حداکثر استحکام) و به وسیله کولیس دیجیتالی، شاخص‌های ژئومتری (طول و عرض) اندازه‌گیری شد. برای مقایسه متغیرهای بیومکانیکی و ژئومتری بین گروه‌ها از تحلیل واریانس یک راهه استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش معنادار پارامترهای بیومکانیکی (سفتی، حداکثر مقاومت مکانیکی و حداکثر انرژی جذب شده تا نقطه حداکثر استحکام) و شاخص‌های ژئومتری (طول و عرض) استخوان فمور و تیبیا (به جز متغیر طول) پس از هشت هفته تمرین استقامتی می‌باشد. می‌توان گفت که هشت هفته تمرین استقامتی (به کاررفته در پژوهش حاضر) باعث بهبود پارامترهای بیومکانیکی و شاخص‌های ژئومتری در استخوان‌های فمور و تیبیا در دوران جوانی می‌شود.

واژگان کلیدی: بافت استخوان، استحکام استخوان، تمرین استقامتی

مقدمه

مشکلات استخوانی نظیر استئومالاسی (نرمی استخوان)، پوکی استخوان و شکستگی، از مشکلات عمده بهداشتی در اکثر جوامع و کشورهای توسعه یافته است که در مردان و زنان به ترتیب با نرخ ۱۳-۲۲ درصد و ۴۰-۵۰ درصد دیده می شود و همگام با افزایش رفاه در کشورهای در حال توسعه، در حال افزایش می باشد (۱). در افراد کم تحرک یا بی تحرک، گردش خون کند است؛ لذا، آن ها رژیم غذایی محدود دارند و کم شدن کلسیم از استخوان در بدن آن ها، از ذخیره کلسیم تازه بیشتر می باشد؛ در نتیجه، به تدریج کلسیم استخوان ها کاهش یافته و شکننده می شوند. هرچند، فعالیت های ورزشی که با فشارهای پویا همراه هستند (مانند پرش ها)، کارآمدترین نوع فعالیت بدنی برای جوانان در حال رشد محسوب می شوند (۲،۳) و ممکن است برای افزایش اوج استحکام استخوانی و جلوگیری از بروز استئوپنی به کار روند، اما این گونه تمرینات بدنی برای همه افراد قابل اجرا نمی باشد و ممکن است تمرین استقامتی کارآمدتر باشد (۴). در این زمینه، نیکاندر و همکاران^۱ (۲۰۰۹) عنوان نمودند که بهترین نوع فعالیت برای تحریک استخوان جهت بالابردن تراکم آن، ورزش های همراه با تحمل وزن است که بر تمام استخوان ها اثرگذار می باشد و ورزش استقامتی با شدت متوسط سبب افزایش نشانه های برگشت کلاژن استخوان و تغییر هموستاز کلسیم در افراد بالغ جوان و زنان سالمند می شود (۵)، اما اثر دقیق تمرینات استقامتی بر بافت استخوانی با توجه به نتایج متناقض پژوهش های گذشته، تاکنون مشخص نمی باشد (۶-۹).

بوراز و همکاران^۲ (۲۰۰۰ و ۲۰۰۳) نیز در بررسی دوندگان استقامتی حرفه ای، سطح پایین چگالی مواد معدنی استخوان^۳ و احتمال ابتلای آن ها به کاهش توده استخوانی یا استئوپنی و همچنین، بی تأثیر بودن این تمرینات بر سطح کلسیم را گزارش کردند و عنوان نمودند که حتی اثرات مضر نیز در پی دارند (۶،۷). در مقابل، پژوهش های دیگری متابولیسم طبیعی و مثبت استخوان براساس شاخص های خونی در دوندگان مسافت سالم را گزارش کرده اند (۸،۹)؛ بنابراین، نقش قطعی تمرینات دویدن استقامتی بر حفظ سلامت استخوان بحث برانگیز است. روشن شدن این مسأله که چگونه تمرین استقامتی از مسیری به جز افزایش چگالی یا افزایش مواد معدنی استخوان^۴ می تواند سلامت استخوان را تأمین نماید، با اهمیت می باشد. بر این اساس، سنجش تأثیر تمرین استقامتی باید فراتر از اندازه گیری مطلق افزایش چگالی و مواد معدنی باشد؛ لذا، به دلیل وجود مسائل اخلاقی و اعتبار پایین آزمون های غیرتهاجمی در بررسی بافت استخوان در انسان، در پژوهش های سنجش

-
1. Nikander
 2. Burrows
 3. Bone Mineral Density
 4. Bone Mineral Content

رابطه، اثر تمرین و شرایط استخوانی، نمونه‌های حیوانی کاربردی می‌باشند (۱۰) و می‌توان با استفاده از آن‌ها به شناخت بهتری از خواص مکانیکی استخوان در برابر سایر روش‌های تمرینی دست یافت. براساس نظر فراست و جی^۱ (۱۹۹۲)، رت می‌تواند مدل اسکلتی انسانی خوبی باشد؛ زیرا، مکانیسم‌های کنترلی یکسانی در حفظ جرم استخوانی (رشد طولی و مسیر مدل‌سازی) و از دست رفتن جرم استخوانی (واحدهای چندسلولی اولیه براساس بازسازی مجدد) بین رت و انسان وجود دارد (۱۱).

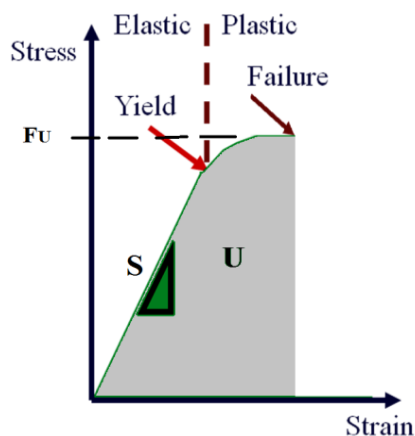
دویدن روی تردمیل یکی از اشکال تمرین استقامتی است که در پژوهش‌های انجام‌شده روی افراد استئوپروزی، برای تشخیص اثر تمرین بر جرم استخوان، متابولیسم استخوان و استحکام استخوان در رت‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (۱۲). هنگامی که رت به‌عنوان یک موجود دارای چهار دست و پا روی تردمیل می‌دود، بار مکانیکی بیشتری روی اندام‌های طرفی وی نسبت به اسکلت محوری وارد می‌آید؛ در نتیجه، استخوان تیبیا و فمور رت بیشتر از مهره‌های کمری دچار بار خارجی می‌شوند (۱۴-۱۲). با توجه به این‌که اکثر مطالعات انجام‌شده بر روی رت‌های ماده، به محدودیت‌هایی در سازگاری اسکلتی بر حسب تغییرات هورمونی اشاره کرده‌اند، رت‌های نر، مدل‌های مناسب‌تری برای بررسی اثرات تمرین استقامتی بر سلامت استخوان می‌باشند (۱۵).

علاوه‌براین، خصوصیات مکانیکی استخوان به‌عنوان عامل اصلی در ارزیابی ساختار و عملکرد استخوان مورد استفاده قرار می‌گیرد که با نسبت مواد و اجزای تشکیل‌دهنده اصلی استخوان (هیدروکسی آپاتیت و کلاژن)، جنس مواد تشکیل‌دهنده، شکل و اندازه استخوان (شاخص‌های ژئومتری) و ریزساختارهای بافت تراکولار و کورتیکال رابطه دارد و به‌وسیله آزمون‌های بیومکانیکی قابل اندازه‌گیری می‌باشد (۱۶). این خصوصیات ممکن است به‌طور مستقل و حتی بدون تغییر معنادار تراکم استخوانی بین گروه‌ها (تمرین و کنترل)، در کاهش یا افزایش خطر وقوع شکستگی نقش داشته باشند (۱۷). در روش اندازه‌گیری مستقیم با شروع اعمال بار، استخوان یک پاسخ خطی از خود نشان می‌دهد که این تغییر شکل یا در طول استخوان بوده و یا به‌شکل زاویه‌ای می‌باشد که این میزان تغییر شکل در ناحیه الاستیک منحنی تنش - کرنش اتفاق می‌افتد؛ زیرا، هنگامی که بار خارجی برداشته شود، استخوان به طول و شکل اولیه خود برمی‌گردد. قابل ذکر است که سفتی^۲ یا ضریب الاستیک به‌وسیله شیب منحنی تنش - کرنش در ناحیه الاستیک تعریف می‌شود. با ادامه اعمال بار، بافت استخوان دچار ترک‌های ریزی می‌شود که به این ناحیه از منحنی تنش - کرنش، ناحیه پلاستیک می‌گویند؛ زیرا، هنگامی که بار خارجی برداشته شود، استخوان به طول و شکل

1. Frost & Jee
2. Stiffness

اولیه خود برنمی‌گردد. ناحیه بعد از نقطه تسلیم، ناحیه پلاستیک می‌باشد. برای مواد سخت مانند استخوان، ناحیه پلاستیک تقریباً کوچک است. اگر اعمال نیرو در این ناحیه ادامه پیدا کند، سرانجام ساختار استخوان در نقطه شکست می‌شکند. حداکثر تنشی را که استخوان می‌تواند تا قبل از شکسته شدن تحمل نماید، حداکثر قدرت مکانیکی استخوان است. سطح زیر منحنی تنش - کرنش، میزان انرژی که یک استخوان جذب می‌کند تا شکسته شود را نشان می‌دهد (۱۸) (شکل شماره یک)؛ بنابراین، پارامترهای بیومکانیکی استخوان مانند سفتی، حداکثر قدرت مکانیکی و حداکثر انرژی جذب شده تا نقطه حداکثر استحکام می‌تواند از عوامل مهم تعیین کننده کیفیت بافت استخوان در نظر گرفته شود.

در این راستا، کولن و همکاران^۱ (۲۰۰۱) گزارش کردند که هرچه میزان کشش وارد شده به استخوان بیشتر باشد، اثر بیشتری بر تحریک تشکیل استخوان خواهد داشت (۲۰، ۱۹). آن‌ها نشان دادند که دو نوع تمرین استقامتی تداومی و تناوبی تأثیری روی اعمال بار خمشی و سفتی استخوان ندارند، اما باعث بالارفتن انرژی پس از نقطه تسلیم و حداکثر انرژی جذب شده تا نقطه حداکثر استحکام در استخوان فمور رت‌های صحرايي در حال رشد می‌شوند (۱۹). مطالعات آزمایشگاهی و پژوهش‌هایی که روی حیوانات زنده صورت گرفته است نیز حاکی از این است که فعالیت‌های ورزشی با توجه به نوع فعالیت و بار اعمال شده بر استخوان باعث ایجاد اثر استئوژنیک می‌گردند (۱۹-۲۳).



شکل ۱- منحنی استرس - استرین بافت استخوان

(شیب ناحیه خطی منحنی سفتی ساختار را نشان می‌دهد (S)؛ ارتفاع منحنی حداکثر قدرت مکانیکی را مشخص می‌کند (Fu)؛ سطح زیر منحنی حداکثر انرژی جذب شده تا نقطه حداکثر استحکام (U) است)

در مورد ویژگی شدت تمرین برای دستیابی به حداقل سازگاری در پارامترهای بیومکانیکی و استحکام مکانیکی استخوان گزارش‌های متناقضی وجود دارد (۲۷-۵،۱۹،۲۴). تاکنون، در مورد نوع و شدت فعالیت‌های استقامتی که حداکثر تحریک استئوژنیک را برای استخوان ایجاد می‌کند اطمینان حاصل نشده است؛ از این رو، با توجه به اهمیت پارامترهای بیومکانیکی (سفتی، انرژی جذب‌شده تا نقطه حداکثر استحکام و حداکثر مقاومت مکانیکی) و شاخص‌های ژئومتری (طول و عرض) در بررسی وضعیت استخوان، اهمیت انجام فعالیت ورزشی در پیشگیری و درمان غیردارویی برخی بیماری‌ها (نرمی و پوکی استخوان و غیره) و شکستگی‌های استخوانی در سنین رشد و همچنین، با توجه به این‌که افراد زیادی تمایل به انجام ورزش‌هایی مانند پیاده‌روی و دویدن با ریتم یکنواخت دارند و نیز به دلیل دردسترس نبودن اطلاعات کافی در زمینه نقش فعالیت استقامتی بر پارامترهای بیومکانیکی و شاخص‌های ژئومتری استخوان‌هایی که تحمل وزن می‌کنند، هدف از انجام این پژوهش، بررسی تأثیر هشت هفته تمرین استقامتی بر پارامترهای بیومکانیکی (سفتی، انرژی جذب‌شده تا نقطه حداکثر استحکام و حداکثر مقاومت مکانیکی) و شاخص‌های ژئومتری (طول و عرض) استخوان‌های فمور و تیبیا در رت‌های نر ویستار بود.

روش پژوهش

ابتدا، تعدادی رت نر ویستار هم‌سان (متولدشده از پدر و مادر یکسان با نژاد و شیوه زندگی هم‌سان) با دامنه سنی (۵۰ تا ۶۰ روز) از مؤسسه پاستور ایران خریداری شدند. پس از هم‌سان‌سازی وزن، ۱۶ سر رت با میانگین وزنی (160 ± 10 گرم) وارد مطالعه شدند. مطابق با خط‌مشی انجمن ایرانیان حمایت از حیوانات آزمایشگاهی مورد استفاده برای اهداف علمی و آزمایشگاهی، رت‌ها در حیوان‌خانه دانشکده تربیت‌بدنی دانشگاه تهران در چهار قفس (در هر قفس چهار رت) و تحت چرخه روشنایی - تاریکی (۱۲ ساعت نور و ۱۲ ساعت تاریکی) و رطوبت (60 ± 5 درصد) و حرارت (22 ± 2 درجه سانتی‌گراد) و دسترسی آزاد به آب و غذا نگهداری شدند. شایان ذکر است که برای تغذیه روزانه رت‌ها از غذای استاندارد به شکل پلت ساخت مؤسسه رازی ایران استفاده شد. در ادامه، رت‌ها به‌طور تصادفی و مساوی در دو گروه تمرین (هشت هفته تمرین استقامتی) و کنترل (بدون هیچ‌گونه فعالیت ورزشی) قرار گرفتند.

پیش از شروع پروتکل اصلی تمرین و به‌منظور آشناسازی رت‌ها با محیط و دستگاه، رت‌های گروه تمرینی، پنج روز و به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۵-۱۰ متر در دقیقه با شیب صفر درصد بر روی تردمیل شروع به تمرین نمودند. در پروتکل اصلی تمرین، مدت‌زمان تمرین با ۲۰ دقیقه در هفته اول شروع شد و با اضافه شدن پنج دقیقه در هر هفته و با در نظر گرفتن هفت دقیقه زمان برای

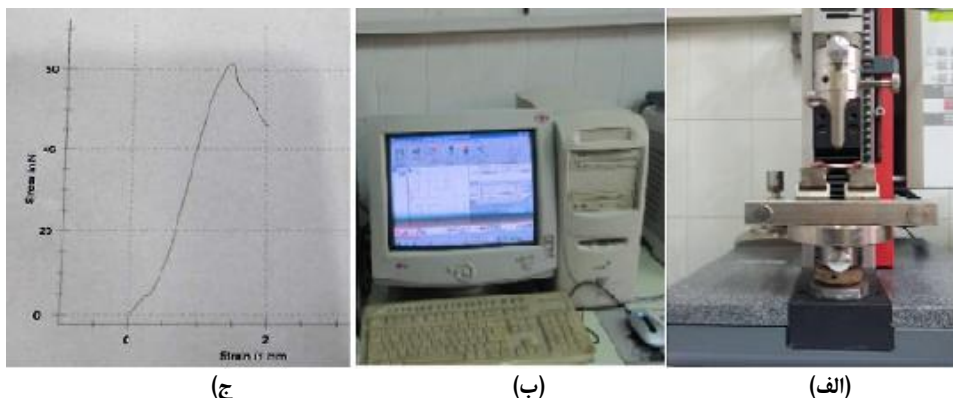
گرم کردن و سه دقیقه برای سرد کردن، در هفته هشتم به ۶۰ دقیقه تمرین در روز با شیب صفر درصد بر روی تردمیل رسید. با توجه به هزینه انرژی، شدت تمرین در اولین هفته تمرینی معادل ۵۵ درصد و در آخرین هفته تمرینی تقریباً معادل ۸۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی بود (۲۸،۲۹). تمرین ابتدا با سرعت ۱۶ متر در دقیقه در جلسه اول شروع شد و هر هفته، دو متر در دقیقه بر سرعت دستگاه اضافه گردید؛ به طوری که در هفته هشتم، سرعت به ۳۰ متر در دقیقه رسید (جدول شماره ۱). علاوه بر این، به منظور گرم کردن در ابتدای هر جلسه تمرینی، رت‌ها به مدت سه دقیقه با سرعت ۱۰ متر در دقیقه دوامده شدند و دو متر در دقیقه بر سرعت افزوده می‌گشت. در انتهای هر برنامه تمرینی، جهت سرد کردن رت، سرعت دستگاه به آرامی تا حدی کاسته شد که به حدود ۱۰ متر در دقیقه رسید (برای مدت زمان سه دقیقه). همچنین، برای تحریک رت به دویدن و استراحت نکردن در طول تمرین از پمپ هوا استفاده شد. البته، در مرحله آشناسازی حیوانات با فعالیت روی نوارگردان از طریق شرطی‌سازی با صدا به حیوانات آموزش داده می‌شد تا از نزدیک شدن و استراحت کردن در بخش انتهایی دستگاه خودداری نمایند.

جدول ۱- پروتکل تمرین استقامتی

هفته‌ها	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم
سرعت (متر در دقیقه)	۱۶	۱۸	۲۰	۲۲	۲۴	۲۶	۲۸	۳۰
زمان (دقیقه)	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۶۰

در انتهای هشت هفته و یک روز پس از پایان جلسات تمرین، رت‌ها بیهوش شدند، تشریح گردیدند و نمونه‌های استخوان آن‌ها جمع‌آوری گشت و به آزمایشگاه بیومکانیک بافت گروه فیزیوتراپی دانشگاه تربیت مدرس تهران منتقل شد. بدین شکل که ابتدا رت‌ها به مدت دو تا سه دقیقه در محفظه شیشه‌ای (دسی کاتور) قرار داده شدند تا با استشاق اثر بیهوش شوند (با استفاده از این روش حیوان از نظر اخلاقی مرگی راحت خواهد داشت و آسیبی به استخوان‌ها نخواهد رسید). سپس، پوست و عضلات ناحیه ساق و ران برش داده شد و پس از نمایان شدن استخوان فمور و تیبیای سمت راست رت، با دقت و بدون آسیب به ضریع، استخوان‌ها جدا گشته و بلافاصله برای جلوگیری از هیدراته شدن، درون گاز آغشته به محلول نرمال سالین (کلرید سدیم ۰/۹ درصد) قرار داده شدند. جهت انتقال به آزمایشگاه نیز هر استخوان پس از نام‌گذاری در ظرف مخصوص، در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا اطلاعات مربوط به هر رت با دقت قابل بررسی باشد (۲۵).

الف) اندازه‌گیری استحکام مکانیکی استخوان: به‌منظور اندازه‌گیری استحکام مکانیکی استخوان از دستگاه تست خمش سه نقطه‌ای^۱ (ساخت کشور آلمان) استفاده شد. بلافاصله پس از خروج نمونه استخوانی از داخل سرم فیزیولوژیک، تست بر روی استخوان‌های تیبیا و فمور سمت راست تمامی رت‌ها انجام شد؛ بدین‌صورت که ابتدا فک‌های دستگاه متناسب با تست خمشی سه نقطه‌ای تنظیم گردید و استخوان بر روی دو تکیه‌گاه فلزی به‌صورت قدامی - خلفی روی فک‌های پایینی دستگاه قرار گرفت. سطح فوقانی استخوان‌ها به سمت بالا قرار داده شد و زیر دو سر استخوان و نیز در محل تماس فک فوقانی دستگاه از کاغذ سمباده برای جلوگیری از لغزندگی استخوان استفاده شد. سپس، بار اعمال‌شده هنگام گسیختگی بافت استخوانی و منحنی نیرو - جابه‌جایی به‌طور خودکار به‌وسیله نرم‌افزار دستگاه ترسیم شد و در مانیتور کامپیوتر متصل به دستگاه ثبت گردید و پارامترهای بیومکانیکی موردنظر شامل: سفتی برحسب نیوتن بر میلی‌متر، حداکثر مقاومت مکانیکی برحسب نیوتن و انرژی جذب‌شده تا نقطه حداکثر استحکام برحسب نیوتن در میلی‌متر برای هر نمونه استخوانی تعیین گردید (۳۰) (شکل شماره دو).



شکل ۲- الف. اندازه‌گیری پارامترهای بیومکانیکی به‌وسیله آزمون خمشی سه نقطه‌ای؛ ب. ثبت هم‌زمان اطلاعات مربوط به هر نمونه؛ ج. نمونه‌ای از منحنی تنش - کرنش

ب) اندازه‌گیری شاخص‌های ژئومتری استخوان

جهت اندازه‌گیری شاخص‌های ژئومتری استخوان‌های فمور و تیبیا، هر استخوان در دمای اتاق قرار داده شد و اندازه‌گیری طول و قطر استخوان‌های فمور و تیبیا با استفاده از کولیس دیجیتالی (ساخت ژاپن، قادر به اندازه‌گیری با دقت صدم میلی‌متر) انجام شد. برای به دست آوردن اندازه طول فمور، اندازه‌گیری از کوندیل میانی تا تروکانتر بزرگ صورت گرفت و درمورد تیبیا نیز از اپی فیز

1. Three-Point Bending (Zwick Material Testing-Mashine)

فوقانی تا اپی فیز تحتانی انجام شد. علاوه بر این، اندازه‌گیری قطر استخوان فمور از بخش میانی شکاف خارجی تا انتهای داخلی دیافیز انجام شد و درمورد تیبیا، ناحیه اتصال فیبولا به تیبیا در دو جهت داخلی - خارجی و قدامی - خلفی برحسب میلی‌متر و تا دو رقم اعشار اندازه‌گیری گردید. پس از جمع‌آوری داده‌ها، از آمار توصیفی (میانگین و انحراف استاندارد) برای توصیف داده‌ها، قبل و بعد از تمرین استفاده شد. پیش از انجام تحلیل‌های آماری و با استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف^۱، طبیعی بودن توزیع نمرات متغیر وابسته در هریک از سطوح متغیر عامل مورد بررسی قرار گرفت و در ادامه، به منظور بررسی فرضیه‌های پژوهش از آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه (سطح معناداری $P \leq 0/05$) استفاده شد. قابل ذکر است که تمام محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار اس. پی. اس. ۲ ویرایش ۲۰ انجام شد.

نتایج

میانگین و انحراف معیار پارامترهای بیومکانیکی (سفتی، انرژی جذب‌شده تا نقطه حداکثر استحکام و حداکثر مقاومت مکانیکی) و شاخص‌های ژئومتری (طول و عرض) دو استخوان فمور و تیبیای مربوط به دو گروه تمرین و کنترل در جدول شماره دو ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میانگین و انحراف معیار تمام متغیرهای مکانیکی و شاخص‌های ژئومتری در هر دو استخوان فمور و تیبیا در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل افزایش یافته است. آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه بیانگر وجود تفاوت معنادار در پارامترهای مکانیکی (سفتی، انرژی جذب‌شده تا نقطه حداکثر استحکام و حداکثر مقاومت مکانیکی) و شاخص‌های ژئومتری (طول و عرض) تنه استخوان فمور و تیبیا، به‌غیر از متغیر طول در استخوان تیبیا ($P=0/123$) در رت‌ها پس از هشت هفته تمرین استقامتی می‌باشد (جدول شماره سه).

1. Kolmogorov-Smirnov
2. SPSS

جدول ۲- میانگین و انحراف معیار پارامترهای بیومکانیکی و شاخص‌های ژئومتری برای دو استخوان فمور و تیبیا در گروه تمرین و کنترل

متغیر	گروه	تعداد	فمور	تیبا
سفتی (نیوتن بر میلی‌متر)	تمرین	۸	۱۱۱/۹۲±۱۵/۹۹	۵۳/۰۹±۲/۵۲
	کنترل	۸	۸۱/۳۹±۱۷/۴۱	۳۵/۷۵±۸/۱۳
انرژی جذب‌شده تا نقطه حداکثر استحکام (نیوتن در میلی‌متر)	تمرین	۸	۴۸/۰۵±۴/۲۸	۲۹/۸۲±۴/۱۵
	کنترل	۸	۴۱/۷۴±۴/۵۲	۲۴/۷۶±۳/۹۱
حداکثر مقاومت مکانیکی (نیوتن)	تمرین	۸	۸۷/۱۲±۵/۷۰	۴۸/۹۹±۳/۱۹
	کنترل	۸	۷۰/۸۱±۹/۴۷	۳۷/۳۳±۴/۹۴
شاخص‌های ژئومتری	تمرین	۸	۳۴/۹۹±۰/۳۶	۳۹/۱۲±۰/۷۷
	کنترل	۸	۳۳/۸۷±۰/۷۲	۳۸/۳۸±۱/۰۲
طول (میلی‌متر)	تمرین	۸	۲/۹۶±۰/۰۸	۲/۴۱±۰/۱۲
	کنترل	۸	۲/۷۹±۰/۰۸	۲/۱۴±۰/۰۸

جدول ۳- نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه برای متغیرهای استحکام مکانیکی و شاخص‌های ژئومتری استخوان فمور و تیبیا

متغیر	استخوان فمور			استخوان تیبیا		
	آزمون F	درجه آزادی	ضریب	آزمون F	درجه آزادی	ضریب
سفتی	۱۳/۳۳۱	۱	۰/۰۰۳	۳۳/۱۶۹	۱	۰/۷۰۳
انرژی جذب‌شده تا نقطه حداکثر استحکام	۸/۲۲۴	۱	۰/۰۱۲	۶/۲۹۸	۱	۰/۳۱۰
حداکثر مقاومت مکانیکی	۱۷/۴۱۳	۱	۰/۰۰۱	۳۱/۵۱۹	۱	۰/۶۹۲
قطر	۱۵/۷۲۵	۱	۰/۰۰۱	۲۷/۱۹۹	۱	۰/۶۶۰
طول	۱۷/۰۶۱	۱	۰/۰۰۱	۲/۷۰۰	۱	۰/۱۶۲

* سطح معناداری ($P \leq 0.05$)

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش، بررسی تأثیر تمرین استقامتی (شدت تمرین در اولین هفته تمرینی معادل ۵۵ درصد و در آخرین هفته تمرینی تقریباً معادل ۸۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی) بر پارامترهای بیومکانیکی (سفتی، انرژی جذب‌شده تا نقطه حداکثر استحکام و حداکثر مقاومت مکانیکی) و شاخص‌های ژئومتری (طول و عرض) هر دو استخوان فمور و تیبیا در رت‌های نر و بیستار بود. ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان شامل: سفتی، انرژی جذب‌شده تا نقطه حداکثر استحکام و حداکثر مقاومت مکانیکی و نیز شاخص‌های ژئومتری استخوان شامل: طول و قطر در این پژوهش

به صورت هم‌زمان مورد بررسی قرار گرفتند. در پژوهش‌های مختلف به بررسی این پارامترها به صورت محدود (دو یا سه متغیر) بعد از مصرف مکمل‌دارو و یا عقیم کردن حیوان (۱۲،۲۷،۳۱،۳۲) و عمدتاً بر روی استخوان فمور یا تیبیا پرداخته شده است (۱۴،۲۴). نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که هشت هفته تمرین استقامتی به کاررفته در مطالعه حاضر باعث بهبود استحکام مکانیکی در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل شده است؛ زیرا، تفاوت معناداری در پارامترهای بیومکانیکی (سفتی، انرژی جذب شده تا نقطه حداکثر استحکام و حداکثر مقاومت مکانیکی) و شاخص‌های ژئومتری (طول و عرض) تنه استخوان فمور و تیبیا به غیر از متغیر طول استخوان تیبیا در رت‌های گروه تمرینی در مقایسه با گروه کنترل مشاهده گردید (جدول شماره ۳ه). نتایج این پژوهش با دیگر مطالعات همخوانی دارد (۲۵،۳۳،۳۴). هانگ و همکاران^۱ (۲۰۰۸) در پژوهشی به بررسی تأثیر دو نوع تمرین استقامتی تداومی و تناوبی بر ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان موش‌های صحرایی در حال رشد (هفت هفته‌ای) پرداختند و عنوان نمودند هر دو نوع تمرین استقامتی باعث بهبود ویژگی‌های بیومتریال استخوان فمور شده است، اما تأثیری بر سفتی و نیروی خمشی استخوان فمور نداشته است که این یافته با نتایج پژوهش حاضر مغایرت دارد ولی حداکثر انرژی جذب شده تا نقطه حداکثر استحکام، در اثر تمرین استقامتی افزایش می‌یابد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (۱۹). علاوه بر این، هانگ و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند هشت هفته تمرین دویدن روی تردمیل با سرعت ۱۲-۲۲ متر بر دقیقه و به مدت ۶۰-۲۰ دقیقه برای پنج روز در هفته، سبب افزایش معنادار حداکثر انرژی جذب شده تا نقطه حداکثر استحکام و حداکثر مقاومت مکانیکی در استخوان فمور رت‌های صحرایی جوان می‌شود و سفتی و استحکام استخوان در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل در استخوان‌های فمور و تیبیا در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل بهبود می‌یابد (۲۵). ایواموتو و همکاران^۲ (۱۹۹۹) پس از تمرین استقامتی، در رت‌های گروه تمرین، افزایش معناداری را برای طول استخوان فمور گزارش نمودند (۱۴) که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. بارهای مکانیکی اعمال شده بر استخوان در سطح آستانه تحریک، شیبی را در مایع استخوانی پر شده در شبکه لاکونار - کانالیکولار ایجاد می‌نماید که منجر به یک آبخار از وقایع درون سلولی شامل: بالارفتن سطوح کلسیمی داخل سلول، بیان عوامل رشدی، افزایش تولید ماتریکس استخوانی و در نهایت، استخوان‌سازی خواهد شد. به نظر می‌رسد که عوامل متعددی مانند الگوی فعالیت ورزشی، شدت کار، مدت و تکرار فعالیت بدنی ممکن است پاسخ شاخص‌های متابولیسم استخوان به مداخله ورزش را تحت تأثیر قرار دهند و بافت استخوان به‌عنوان بافتی پویا به انواع مختلف محرک‌ها با

1. Huang
2. Iwamoto

اضافه کردن مواد معدنی پاسخ می‌دهد (۲۴). ناظم و همکاران^۱ (۲۰۱۵) گزارش کردند تمرین ترکیبی شامل تمرین مقاومتی و تمرین استقامتی، تأثیر مثبتی بر حداکثر نیروی شکست و سفتی استخوان تیبیا در رت‌های گروه تمرین نسبت به گروه کنترل دارد (۲۴). بارنگولدس و همکاران^۲ (۱۹۹۳) در رابطه با مؤثر بودن فعالیت‌های استقامتی بر شاخص‌های ژئومتری بیان نمودند ۱۲ هفته تمرین استقامتی در رت‌های اوراکتومی شده باعث حفظ طول استخوان فمور می‌گردد (۲۶). در مقابل، برخی پژوهش‌ها نیز نتایج متناقضی را گزارش کرده‌اند. لین و همکاران^۳ (۲۰۱۳) بر این باور هستند که تمرین فرود آزاد از ارتفاع ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متری سبب کاهش انرژی خمشی، انرژی بیشینه و انرژی بعد از نقطه تسلیم سطح بیرونی استخوان می‌شود، اما تأثیر معناداری بر ویژگی‌های دیگر بیومکانیکی نظیر سفتی، انرژی شکست، نیروی تسلیم و چقرمگی تسلیم ندارد (۳۳) که با نتایج پژوهش حاضر مغایرت دارد. هاگیهارا و همکاران^۴ (۲۰۰۵) پس از هشت هفته تمرین استقامتی عنوان نمودند استحکام استخوان تیبیا در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل تفاوت معناداری ندارد (۳۵). ساکاموتو و همکاران^۵ (۱۹۸۷) نیز در بررسی هشت هفته تمرین استقامتی در ارتباط با استحکام استخوان تیبیا، تفاوت معناداری را بین دو گروه تمرین و کنترل در رت‌های نر ویستار مشاهده نکردند (۳۶).

مغایرت در نتایج پژوهش‌های عنوان شده، ممکن است ناشی از تفاوت در پروتکل تمرین باشد. حیوانات تمرین داده شده در شدت بالا، قدرت استخوانی بالاتری را نشان داده‌اند (مانند بار خمشی یا گشتاور بالاتر) و این امر بیانگر این است که بالارفتن ظرفیت استخوان‌ها در تحمل بار بیشتر، در تمرین با شدت بالاتر حاصل می‌شود و برای افزایش قدرت استخوان مفید می‌باشد (۱۲، ۳۷). همچنین، نوردسلتن و همکاران^۶ (۱۹۹۳) عنوان کردند که هرچند (با توجه به کاربردی بودن تمرینات) برنامه‌های تمرینی با شدت متوسط که می‌تواند برای افراد عادی مورد استفاده قرار بگیرد، بیشتر مورد توجه واقع شده است، اما در حیواناتی که با شدت متوسط تمرین داده شده‌اند، تغییرات بهبوددهنده قدرت استخوان مشاهده نشده است (۳۸). البته، شرایط ویژه تست نیز می‌تواند بر نتایج اثرگذار باشد. این پژوهشگران، قدرت استخوان را در بافت زنده محاسبه کرده‌اند که در این شرایط، قدرت استخوان می‌تواند به وسیله قدرت عضلانی حاصل از تمرین تحت تأثیر قرار بگیرد. با توجه به

-
1. Nazem
 2. Barendolts
 3. Lin
 4. Hagihara
 5. Sakamoto
 6. Nordsletten

این که این پژوهش‌ها در برخی شرایط مانند نوع مطالعه، طول مدت، نوع و شدت تمرین‌های ورزشی استقامتی و غیره با هم متفاوت بوده‌اند (۳۶-۳۸، ۲۴، ۲۵). به راحتی نمی‌توان در مورد تأثیر نوع فعالیت ورزشی و سازگاری‌های ایجاد شده در بافت استخوان اظهار نظر کرد. به طور کلی، مکانیزم‌های فیزیکی و بیولوژیکی که سازگاری استخوان با بار روی آن را کنترل می‌کنند، پیچیده هستند و شامل تعامل مسیرهایی می‌باشند که در آن گرانش، انقباض‌های عضلانی و فعالیت بدنی درگیر است. علاوه بر این، وراثت نیز حساسیت دستگاه عضلانی اسکلتی به سیگنال‌های مکانیکی را مشخص می‌کند و بر آن اثرگذار می‌باشد (۳۹).

مطالعات نشان داده‌اند که اعمال بار مکانیکی، یک محرک استخوان‌ساز قوی برای سلول‌های استخوانی می‌باشد، اما سلول‌های استخوانی به سرعت حساسیت خود را نسبت به محرک‌های مکانیکی از دست می‌دهند و با آن سازگار می‌شوند (۴۰). با توجه به نتایج پژوهش‌های قبلی مبنی بر این که بین میزان کشش ایجاد شده حاصل از اعمال بار خارجی یا میزان کشش در بافت استخوانی با میزان شکل‌گیری استخوان رابطه وجود دارد (۲۰)، در این پژوهش از پروتکل تمرین استقامتی با ۵۵-۸۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی استفاده شد که نتایج به دست آمده بیانگر این است که تمرین استقامتی با این شدت، باعث بهبود ویژگی‌های بیومکانیکی و شاخص‌های ژنومتری استخوان-های فمور و تیبیا در دوران جوانی می‌شود.

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که تمرین استقامتی کوتاه مدت منظم، می‌تواند در جهت بهبود پارامترهای بیومکانیکی و شاخص‌های ژنومتری و در نهایت افزایش کیفیت استخوان‌های فمور و تیبیا و به عنوان یک روش مؤثر، مطمئن و ارزان برای پیش‌بینی و پیشگیری از شکستگی و برخی از بیماری‌های استخوانی (پوکی استخوان، نرمی استخوان) در افراد مورد استفاده قرار گیرد.

پیشنهادات برگرفته شده از پژوهش

به دلیل اهمیت واکنش استخوان به استرس‌های اعمالی، کاهش خطر آسیب‌پذیری استخوان از نظر اجتماعی، ترویج و تشویق مردم به انجام تمرین‌های استقامتی، درک بهتر و رفع ابهام در زمینه استفاده از این نوع تمرین‌ها و طراحی تمرین‌های کارآمدتر برای کلیه اقشار جامعه، انجام پژوهش‌های اختصاصی بر روی استخوان‌های مختلف با در نظر گرفتن طول مدت و شدت‌های مختلف تمرین استقامتی در افراد جوان و سالمند زن و مرد می‌تواند مفید واقع شود.

منابع

1. Johnell O, Kanis J. Epidemiology of osteoporotic fractures. *Osteoporos Int.* 2005;16: 3-7.
2. Petit M A, McKay H A, MacKelvie K J, Heinonen A, Khan K M, Beck T J. A randomized school-based jumping intervention confers site and maturity-specific benefits on bone structural properties in girls: A hip structural analysis study. *J Bone Miner Res.* 2002; 17: 363-72.
3. Tsuzuku S, Shimokata H, Ikegami Y, Yabe K, Wasnich R D. Effects of high versus low-intensity resistance training on bone mineral density in young males. *Calcified Tissue Int.* 2001; 68: 342-7.
4. Wolff I, van Croonenborg J J, Kemper H C, Kostense P J, Twisk J W. The effect of exercise training programs on bone mass: A meta-analysis of published controlled trials in pre and postmenopausal women. *Osteoporos Int.* 1999; 9: 1-12.
5. Nikander R, Kannus P, Dastidar P, Hannula M, Harrison L, Cervinka T. Targeted exercises against hip fragility. *Osteoporos Int.* 2009; 20(8): 1321-8.
6. Burrows M, Bird S. The physiology of the highly trained female endurance runner. *Sports Medicine Auckland, NZ.* 2000; 30: 281-300
7. Burrows M, Nevill A M, Bird S, Simpson D. Physiological factors associated with low bone mineral density in female endurance runners. *British Journal of Sports Medicine.* 2003; 37: 67-71.
8. Brahm H, Strom H, Piehl-Aulin K, Mallmin H, Ljunghall S. Bone metabolism in endurance trained athletes: A comparison to population-based controls based on DXA, SXA, quantitative ultrasound, and biochemical markers. *Calcif Tissue Int.* 1997; 61: 448-54.
9. Maimoun L, Galy O, Manetta J, Coste O, Peruchon E, Micallef J P, et al. Competitive season of triathlon does not alter bone metabolism and bone mineral status in male triathletes. *International Journal of Sports Medicine.* 2004; 25: 230-4.
10. Iwamoto J, Shimamura C, Takeda T, Abe H, Ichimura S, Sato Y, et al. Effect of treadmill on bone mass, bone metabolism, and calciotropic hormones in young growing rats. *J Bone Miner Metab.* 2004; 22: 26-31.
11. Frost H, Jee W S S. On the rat model of human osteopenias and osteoporoses. *Bone Miner.* 1992; 18: 227-36.
12. Iwamoto J, Takeda T, Sato Y. Effect of treadmill exercise on bone mass in female rats. *Exp Anim.* 2005; 54(1): 1-6.
13. Iwamoto J, Takeda T, Ichimura S. Effects of exercise on bone mineral density in mature osteopenic rats. *J Jpn Soc Bone Miner Res.* 1998; 13: 1308-17.
14. Iwamoto J, Yeh J K, Aloia J F. Differential effect of treadmill exercise on three cancellous bone sites in the young growing rat. *Bone.* 1999; 24: 163-9.
15. Diaz-Curiel M. Effects of exercise on osteoporosis. *Osteoporosis Physical Activity.* 2013; 1(2), 104-6.
16. Chen X, Aoki H, Fukui Y. Effect of exercise on the bone strength, bone mineral density, and metal content in rat femurs. *Bio-Medical Materials and Engineering.* 2004; 14(1): 53-59.

17. Helder F D, Moreira G, Coriolano H J A, Duarte J A. Bone quality: The determinants of bone strength and fragility. *Sports Medicine*. 2013; 10(3): 1007-13.
18. Cole J H, van der Meulen M C. Whole bone mechanics and bone quality. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2011; 469(8): 2139-49.
19. Huang T H, Chang F L, Lin S C, Liu S H, Hsieh S S, Yang R S. Endurance treadmill running training benefits the biomaterial quality of bone in growing male Wistar rats. *J Bone Miner Metab*. 2008; 26: 350-7.
20. Cullen D, Smith R, Akhter M. Bone-loading response varies with strain magnitude and cycle number. *J of Applied Physiology*. 2001; 91(5): 1971-6.
21. Marques E A, Wanderley F, Machado L, Sousa F, Viana J L, Moreira-Gonçalves D. 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.
22. Umemura Y, Sogo N, Honda A. Effects of intervals between jumps or bouts on osteogenic response to loading. *J of Applied Physiology*. 2002; 93(4): 1345-8.
23. 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.
24. Nazem F, Salehikia A, Marandi S M, Moshtaghian S J, Rashid Kaboli A. The effect of resistance and combined training on biochemical markers of bone formation and femoral bending strength of osteoporotic male rats. *J of Practical Studies of Biosciences in Sport*. 2015; 3(6): 9-20. (In Persian).
25. Huang T H, Lin S C, Chang F L, Hsieh S S, Liu S H, Yang R S. Effects of different exercise modes on mineralization, structure, and biomechanical properties of growing bone. *J Appl Physiol*. 2003; 95: 300-7.
26. Barengolts E I, Curry D J, Bapna M S, Kukreja S C. Effects of endurance exercise on bone mass and mechanical properties in intact and ovariectomized rats. *J Bone Miner Res*. 1993; 8(8): 937-42.
27. Dabidi Roshan V, Tanide N, Hekmat F, Jolazade T. The effect of weight-bearing exercise and calcium supplementation on bone trabecular and cortical tibia metaphyseal sterilized rats. *J of Mazandaran University of Medical Sciences*. 2009; 19(7): 18-25. (In Persian).
28. Bedforrd T G, Tipton C M, Wilson N C, Oppliger R A, Gisolfi C V. Maximum Oxygen consumption of rats and its changes with various experimental procedures. *J Appl Physiol*. 1979; 47(6): 1278-83.
29. Naito H, Powers S K, Demirel H A, 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.
30. Notomi T, Okazaki Y, Okimoto N, Tanaka Y, Nakamura T, Suzuki M. Effects of tower climbing exercise on bone mass, strength, and turnover in orchietomized growing rats. *Applied Physiology*. 2002; 93(1): 115-18.
31. Layne J E, Nelson M E. The effects of progressive resistance training on bone density. *Med Sci Sport Exerc*. 1999; 31: 25-30.
32. Slovik D M. Osteoporosis. In W. R. Frontera (Ed.), *Exercise in Rehabilitation Medicine*. 3rd ed. Champaign: Human Kinetic; 1999. p. 313-48.
33. Lin H S, Huang T H, Wang H S, Mao S W, Tai Y S, Chiu H T. Short-term free-fall

- landing causes reduced bone size and bending energy in femora of growing rats. *J of Sports Science & Medicine*. 2013; 12(1): 1.
34. Miller L E, Wootten D F, Nickols-Richardson S M, Ramp W K, Steele C R, Cotton J R. Isokinetic training increases ulnar bending stiffness and bone mineral in young women. *Bone*. 2007; 41(4): 685-9.
35. Hagihara Y, Fukuda S, Goto S, Iida H, Yamazaki M, Moriya H. How many days per week should rats undergo running exercise to increase BMD? *J Bone Miner Metab*. 2005; 23: 289-94.
36. Sakamoto K, Grunewald K K. Beneficial effects of exercise on growth of rats during intermittent fasting. *J Nutr*. 1987; 117: 390-5.
37. Yeh J K, Niu Q, Evans G F, Iwamoto J, Aloia J F. Effect of circular motion exercise on bone modeling and bone mass in young rats: An animal model of isometric exercise. *J Musculoskel Neuron Interact*. 2001; 1(3): 235-40.
38. Nordsletten L, Kaastad T S, Skjeldal S, Kirkeby O J, Reikeras O, Ekeland A. Training increases the in vivo strength of the lower leg: An experimental study in the rat. *J Bone Miner Res*. 1993; 8: 1089-95.
39. Dabidi Roshan V, Nobahar M. The effect of endurance training on micro-architecture of bone tissue, tibia epiphysis ovariectomized rats. *J of Kermanshah University of Medical Sciences*. 2013; 15(6): 450-9. (In Persian).
40. Robling A G, Hinant F M, Burr D B, Turner CH. Improved bone structure and strength after long-term mechanical loading is greatest if loading is separated into short bouts. *J of Bone and Mineral Research*. 2002; 17(8): 1545-54.

استناد به مقاله

برهانی کاخکی زهره، صادقی حیدر، ترکمان گیتی، گائینی عباسعلی، قیدی نغمه.
تأثیر هشت هفته تمرین استقامتی بر استخوان‌های فمور و تییبای رت‌های نر ویستار:
پارامترهای بیومکانیکی و شاخص‌های ژئومتری. مطالعات طب ورزشی. بهار و تابستان
۱۳۹۵؛ ۷(۱۹)، ۴۷-۶۲.

Borhani Kakhki. Z, Sadeghi. H, Torkaman. G, Gaeini. A.A, Gheidi. N. The Effect of Eight Weeks Endurance Training on the Femur and Tibia Bones in Male Wistar Rats: Biomechanical and Geometrical Parameters. *Sport Medicine Studies*. Spring & Summer 2016; 7 (19): 47-62. (Persian)

The Effect of Eight Weeks Endurance Training on the Femur and Tibia Bones in Male Wistar Rats: Biomechanical and Geometrical Parameters

Z. Borhani Kakhki¹, H. Sadeghi², G. Torkaman³, A. A. Gaeini⁴, N. Gheidi⁵

1. Ph.D. Student of Sports Biomechanics, Kharazmi University (Faculty of Sistan and Baluchestan University)
2. Professor of Sport Biomechanics, Kharazmi University
3. Professor of Physiotherapy, Tarbiat Modarres University
4. Professor of Sport Physiology, University of Tehran
5. Ph.D. in Sport Biomechanics, Physical Education and Sport Science, Islamic Azad University, Saveh

Received Date: 2016/05/03

Accepted Date: 2016/07/20

Abstract

Regular physical activity as a non-pharmacological intervention to increase bone strength, bone density and fracture prevention is recommended. The aim of this study was to evaluate the effect of eight weeks' endurance training on biomechanical and geometrical parameters of the femur and tibia bones in male Wistar rats. 16 rats with an age range of 50 to 60 days and an average weight of 160 ± 10 gr, were randomly divided into two groups: eight weeks of endurance training (running five days a week, according to the training protocol) and control group (no activity). After the end of the training, the rats were sacrificed, the right femur and tibia bones were harvested, then by mechanical three-point bending test, the biomechanical parameters (stiffness, maximum mechanical strength and maximum energy to the point of maximum strength) and by digital caliper, geometric parameters (length and width) were measured. One way-ANOVA was used to compare biomechanical and geometrical parameters between groups. The results demonstrated a significant increase in biomechanical parameters (stiffness, maximum mechanical strength and maximum energy to the point of maximum strength) and geometrical parameters (length and width) of the femur and tibia (except length) bones after eight weeks' endurance training. Eight weeks' endurance training (used in this study) improved the biomechanical and geometrical parameters of the femur and tibia bones.

Keywords: Bone Tissue, Bone Strength, Endurance Training