تأثیر تمرین تناوبی با شدت بالا و تمرین مداوم با شدت متوسط بر تراکم استخوان موش‌های صحرایی

چکیده

پیش‌زمینه: تمرین مداوم با شدت متوسط، MICT (Moderate intensity continuous training)، به عنوان یک تمرین مؤثر بر متابولیسم استخوان گزارش شده است. با این حال، مطالعات بسیار کمی روی تمرینات تناوبی با شدت بالا، HIIT (high-intensity interval training)، متمرکز شده‌اند. هدف از این مطالعه بررسی و مقایسهٔ اثرات ۸ هفته تمرین HIIT و MICT بر تراکم استخوان در موش‌های صحرایی میانسال بود.

مواد و روش‌ها: ۳۰ سر موش صحرایی نر از نژاد ویستار (۱۶هفته‌ای) به طور تصادفی در سه گروه کنترل، MICT و HIIT قرار گرفتند. هر دو گروه، ۵ جلسه تمرین روی نوارِگردان (treadmill) را به مدت ۸ هفته تکمیل کردند. در این برنامه از گروه HIIT خواسته شد تا ۱۰ جلسه دویدن با سرعت ۳۵ تا ۴۷ متر در دقیقه را با ریکاوری فعال ۲ دقیقه‌ای انجام دهند و گروه MICT، ۱۰ تا ۴۵ دقیقه دویدن مداوم با سرعت ۱۵تا ۲۰ متر در دقیقه را انجام دادند. ترکیب بدنی و تراکم استخوان BMD (Bone mineral density)، قبل و پس از مداخله از طریق جذب‌سنجی دوگانه اشعه ایکس، DEXA (Dual Xray absorptiometry)، اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS و آزمون‌های آنالیز واریانس یک راهه و تعقیبی توکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها: پس از ۸ هفته مداخله، BMD کل بدن و استخوان ران به طور معنی‌دار در دو گروه افزایش یافت ($p\leq ۰/۰۵$)، هر چند تغییر مشاهده شده در گروه تمرین HIIT بیشتر بود($p\leq ۰/۰۵$). بعلاوه، در مورد BMD مهرهٔ کمری بین هر سه گروه بعد از مداخله اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p\geq ۰/۰۵$).

نتیجه‌گیری: این یافته‌ها نشان داد که یک دورهٔ تمرین HIIT و MICT می‌تواند تراکم استخوان را در موش‌های صحرایی میانسال بهبود بخشد و در مقایسه با MICT، HIIT مزایای بیشتری بر تراکم استخوان به همراه داشت.

واژه‌های کلیدی: موش صحرایی، پوکی استخوان، دویدن، تراکم مواد معدنی استخوان

دریافت مقاله: ۴ ماه قبل از چاپ؛ **پذیرش مقاله:** ۲ ماه قبل از چاپ.

دکتر عباس صارمی[۱]، دکتر محمد پرستش[۱]، دکتر احمد مهدوی[۱]

۱. دانشگاه اراک، اراک، ایران.

نویسنده مسئول:
عباس صارمی
Email:
a-saremi@araku.ac.ir

مقدمه

شکستگی‌ها یک مشکل بزرگ برای جامعه است. درمان نه تنها باعث رنج فردی می‌شود، بلکه هزینه‌های هنگفتی برای جامعه دربر دارد[۱،۲]. بسیاری از دستورالعمل‌ها در مورد پوکی استخوان و پیشگیری از شکستگی، ورزش و فعالیت بدنی را به عنوان مؤثرترین عامل غیردارویی برای افزایش استحکام استخوان و کاهش زمین خوردن در نظر می‌گیرند[۳]. در همین راستا، در مطالعات ورزشی متعدد [۴] که با هدف افزایش استحکام استخوان از لحاظ تراکم مواد معدنی استخوان (BMD) [۱] انجام شده است، زنان یائسه، به‌عنوان بیشترین و بزرگترین گروه در معرض خطر پوکی استخوان، ارزیابی شده اند. شواهد در مورد تأثیر مطلوب ورزش بر تراکم استخوان در مردان هنوز محدود است[۵،۶]. در یک مقالهٔ مروری متاآنالیز، داده‌هایی را در مورد اثرات مثبت فعالیت بدنی/ ورزش بر تراکم استخوان در مردان ۱۸ سال و بالاتر گزارش کردند[۷]. همچنین آش[۲] و همکاران[۸] دریافتند ورزش اثر برجسته‌ای بر تراکم استخوان در کل ران دارد، هر چند تأثیر آن بر روی گردن ران ناچیز است. اگرچه برخی از توصیه‌های مبتنی بر شواهد برای پروتکل‌های ورزشی وجود دارد، اما بهینه‌ترین تمرین برای ارتقاء و بهبود تراکم استخوان هنوز ثابت نشده است[۹]. جدا از پارامترها و اصول تمرین، حتی در خصوص نوع تمرینی که باید اعمال شود، به عنوان یک تصمیمات اساسی، تفاهم عمومی وجود ندارد. اخیراً رحیمی و همکاران در یک مطالعه عدم وجود اثرات ورزش مقاومتی و اثرات منفی ورزش هوازی با تحمل وزن را بر تراکم استخوان در ستون فقرات کمری و گردن ران در زنان یائسهٔ ۶۰ سال و بالاتر گزارش کرده‌اند[۱۰]. به شرطی که این داده‌ها قابل اعتماد و قابل تعمیم به کل گروه زنان یائسه باشند، تمام توصیه‌های ورزشی فعلی و تأثیر ورزش بر تراکم استخوان به طور کلی سؤال‌برانگیز تلقی خواهند شد[۱۱].

1. Bone mineral density.
2. Ash.

سازگاری‌های فیزیولوژیکی برای ورزش‌های هوازی و تمرین مداوم با شدت متوسط (MICT)[3] به طور مشخص متفاوت است: ورزش هوازی سازگاری‌های قلبی عروقی را بهبود می‌بخشد چرا که حداکثر مصرف اکسیژن را بدون تغییر قابل‌توجهی در قدرت افزایش می دهد[12]. ورزش تناوبی معمولاً شامل دوره های مکرر ورزش نسبتاً شدید است که با دوره‌های کوتاه بازیابی قطع می‌شود. یک طرح طبقه‌بندی رایج، این روش را به تمرینات تناوبی با شدت بالا (HIIT؛ تلاش های «نزدیک به حداکثر»)[4] و تمرینات تناوبی سرعتی (SIT؛ تلاش‌های «فوق حداکثری»)[5] تقسیم می‌کند. هر دو شکل تمرین تناوبی، سازگاری‌های فیزیولوژیکی مانند افزایش ظرفیت هوازی (VO2max) و محتوای میتوکندری را القا می‌کنند[13]. اما یافته‌های علمی در مورد سازگاری‌های بافت استخوان با تمرینات تناوبی بسیار محدود است. بنابراین، هدف از این مطالعه مقایسهٔ تأثیر دو برنامهٔ تمرین ۸ هفته‌ای مداوم با شدت متوسط و اینتروال با شدت بالا بر تراکم استخوان در یک مدل حیوانی است.

مواد و روش‌ها

حیوانات:

روش پژوهش از نوع تجربی بود. در تعیین حجم نمونه، با توجه به فرمول حجم نمونه برای نمره‌های پیوسته، با این فرض که تفاوت‌های مورد انتظار برابر با ۱/۵ باشد، با توان آزمون ۸۰٪ در سطح معنی‌داری α=۰/۰۵، تعداد آزمودنی‌های هر گروه برابر ده سر تعیین شد. در این تحقیق، از ۳۰ سر موش صحرایی نر نژاد ویستار بالغ، با دامنهٔ وزنی ۲۵۰ تا ۳۰۰ گرم و سن ۱۶ هفته‌ای استفاده شد که از مرکز علوم حیوانات آزمایشگاهی تهیه شده بودند. موش‌ها در محیطی با دمای ۲ ± ۲۲ درجهٔ سانتی‌گراد، چرخهٔ روشنایی و تاریکی ۱۲:۱۲ ساعت و در قفس‌های پلی‌کربنات (۵ موش در هر قفس) نگهداری شدند. موش‌ها به طور تصادفی در سه گروه «تمرین تناوبی با شدت بالا»، «تمرین مداوم با شدت متوسط» و «کنترل» قرار داده شدند. تمام موش‌های صحرایی در طول مطالعه به رژیم غذایی استاندارد تجاری و آب دسترسی آزاد داشتند. همه موش‌ها اجازه داشتند آزادانه در قفس استاندارد حرکت کنند. این مطالعه مطابق با معیارهای اخلاقی کار با حیوانات دانشگاه اراک انجام گرفت (IR.ARAKU.REC.1401.031).

برنامه ورزشی:

برنامهٔ تمرین مداوم با شدت متوسط (هوازی) روی تردمیل (treadmill) ۵ کاناله به دلیل کنترل آسان‌تر سرعت و مدت زمان دویدن اجرا شد. موش‌ها در گروه تمرین به مدت ۸ هفته، هر هفته ۵ روز تمرین کردند.

کل دورهٔ تمرین به ۳ مرحلهٔ آشنایی، اضافه‌بار، حفظ و تثبیت شدت کار تقسیم شد. در مرحلهٔ آشنایی (هفته اول) موش‌ها هر روز به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه با سرعت ۸ متر بر دقیقه بر روی نوارگردان راه رفتند. در مرحلهٔ اضافه‌بار (هفته دوم تا چهارم) موش‌ها ابتدا به مدت ۲۰ دقیقه و با سرعت ۲۷ متر در دقیقه روی نوارگردان دویدند و به تدریج در طول مدت ۳ هفته، مدت فعالیت آنها هر جلسه ۲ دقیقه افزایش یافت تا به میزان نهایی ۶۰ دقیقه رسید. در نهایت در مرحلهٔ حفظ و تثبیت، شدت کار به مدت ۳ هفته تمرین استقامتی، به ۶۰ دقیقه، با سرعت ۲۷ متر در دقیقه رسید. در ضمن در هر جلسهٔ تمرینی موش‌ها ابتدا ۵ دقیقه گرم می‌کردند (با شدت ۱۶ متر در دقیقه) و در انتها ۵ دقیقه برای سرد کردن (شدت ۱۶ متر در دقیقه و با کاهش تدریجی شدت به کم‌ترین مقدار) اختصاص داده می‌شد[14] (جدول ۱). برنامهٔ تمرینی تناوبی شدید شامل دویدن روی نوار گردان ۵ کاناله بود. گروه تمرین تناوبی ۱۰ نوبت ۱ دقیقه ای دویدن با شدت بالا روی تردمیل با ۲ دقیقه استراحت به مدت ۵ روز در هفته و برای مدت ۸ هفته انجام شد. سرعت دویدن به تدریج به حداکثر سرعتی که هر موش جداگانه می توانست به مدت ۱ دقیقه به دویدن ادامه دهد، افزایش یافت. شدت تمرینات تناوبی با ۳۵ متر در دقیقه آغاز شد. اگر موش‌ها می‌توانستند بدون نیاز به انگیزه، به دویدن ادامه دهند، شدت آن ۲ متر در دقیقه افزایش می‌یافت. پیشرفت سرعت دویدن و همچنین سایر جزئیات آموزش تمرین تناوبی در جدول ۲ نشان داده شده است. برای گرم کردن در ابتدای هر جلسه، راه رفتن به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۱۶ متر در دقیقه و سرد کردن در پایان هر جلسه راه رفتن به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۱۶ متر در دقیقه انجام شد[15] (جدول ۲).

ارزیابی تراکم استخوان:

تراکم استخوان مهره‌های کمری (L4-L5)، ران و کل بدن بر حسب گرم بر سانتی‌متر مربع به روش جذب‌سنجی دوگانه انرژی اشعه ایکس (DEXA)[6] ارزیابی شد. در تمام موارد، عکسبرداری و تحلیل داده‌ها توسط یک نفر انجام گرفت و دستگاه دانسیتومتر توسط فانتوم‌های مناسب به صورت هفتگی کالیبره می‌شد. تودهٔ چربی و بدون چربی از طریق تصاویر کل بدن، با استفاده از دستگاه DEXA و نرم‌افزار ویژهٔ حیوانات کوچک بررسی شد. تمام این شاخص‌ها قبل و دو روز پس از اعمال مداخله‌های ورزشی ارزیابی شدند.

آنالیز آماری:

نتایج به صورت میانگین ± انحراف استاندارد برای نمونه‌های حاضر در هر گروه بیان شده است. برای آنالیز آماری، پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون برآورد نرمالی شاپیرو- ویلیک (Shapiro-Wilk normality) و برای بررسی فرض برابری واریانس‌ها از آزمون لون (Levene) استفاده شد. پس از مشخص شدن طبیعی بودن

3. Moderate intensity continuous training.
4. High intensity interval training.
5. Sprint Interval Training.
6. Discovery, Hologic, Bedford, USA.

جدول ۱. برنامه تمرین هوازی بر روی نوارِگردان (Treadmill)

هفته‌های تمرین	آشنایی	هفته ۱	هفته ۲	هفته ۳	هفته ۴	هفته ۵ تا ۸
مدت تمرین(دقیقه)	۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-۳۵	۳۵-۴۰	۴۵
سرعت(متر بر دقیقه)	۱۰	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۲۰

جدول ۲. برنامه تمرین تناوبی بر روی نوارِگردان (Treadmill)

هفته های تمرین	آشنایی	هفته ۱	هفته ۲	هفته ۳	هفته ۴	هفته ۵	هفته ۶	هفنه ۷	هفته ۸
تعداد دویدن در هر جلسه تمرین	۲	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
جلسات تمرینی در هفته(تعداد)	۱	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵
سرعت متوسط (متر/دقیقه)	۲۰	۳۵	۳۷	۳۹	۴۱	۴۳	۴۵	۴۶	۴۷
میانگین کل مسافت دویدن در هفته (متر)	۵۰	۱۸۰۰	۱۸۷۰	۱۸۹۵	۱۹۵۰	۱۹۸۵	۲۰۵۰	۲۱۰۰	۲۱۷۰

توزیع داده‌ها و برقراری فرض برابری واریانس‌ها، به منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و مقایسه بین گروه‌ها از آزمون تحلیل واریانس یکطرفه و آزمون تعقیبی توکی (Tukey) در سطح معناداری $p\leq ۰/۰۵$ استفاده شد. تمام محاسبات آماری با استفاده از نسخه ۱۸ نرم‌افزار آماری SPSS صورت گرفت.

یافته‌ها

در جدول ۱ مؤلفه‌های آماری میانگین و انحراف معیار ترکیب بدنی موش‌های صحرایی مورد تحقیق بر حسب گرم ارائه شده است. پس از ۸ هفته مداخلهٔ ورزشی مشاهده شد بین گروه‌های مورد مطالعه از نظر تودهٔ بدن (p=۰/۴۴)، تودهٔ چربی (p=۰/۱۲)، تودهٔ بدون چربی (p=۰/۲۴) و درصد چربی (p=۰/۱۹) اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۳).

با ارزیابی تراکم استخوان کل بدن ملاحظه شد اختلاف معنی‌داری بین گروه‌های مورد مطالعه وجود دارد (p=۰/۰۲ و F=۲/۱۲). برای بررسی بیشتر آزمون تعقیبی توکی مشخص کرد بین گروه کنترل و گروه‌های تمرین مداوم با شدت متوسط (p=۰/۰۲) و تمرین تناوبی (p=۰/۰۱) تفاوت معنی‌داری وجود دارد و همچنین تغییر مشاهده شده در گروه تمرین تناوبی به طور معنی‌داری بیشتر بود (p=۰/۰۴). بعلاوه، در ارزیابی تراکم استخوان مهره‌های کمری مشاهده شد بین گروه‌های مورد تحقیق اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (p=۰/۲۵ و F=۱/۰۳). از سویی، در ارزیابی تراکم استخوان ران در گروه‌های مورد پژوهش اختلاف معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده شد (p=۰/۰۰۱ و F=۳/۴۸). آزمون تعقیبی توکی نشان داد تراکم استخوان ران در گروه کنترل به طور معنی‌داری کمتر از گروه‌های تمرین مداوم با شدت متوسط (P=۰/۰۴) و تمرین تناوبی بود (p=۰/۰۱) و همچنین اختلاف معنی‌داری بین گروه‌های تمرینی وجود داشت (p=۰/۰۵) (جدول ۴)[۱۵].

بحث

اثرات تمرین تناوبی بر پارامترهای استخوان تا حد زیادی ناشناخته است. مطالعهٔ حاضر با هدف مقایسهٔ تراکم استخوان در پاسخ به تمرین دویدن روی نوارگردان به دو روش «شدت متوسط» و «تناوبی شدید» در موش‌های صحرایی مینانسال انجام شد. طبق دانش ما، مطالعه حاضر اولین مطالعه‌ای است که اثرات تمرین تناوبی شدید را بر تراکم استخوانی در موش‌های صحرایی مینانسال ارزیابی می‌کند. در مجموع، نتایج ما نشان داد که یک برنامه ۸ هفته‌ای مبتنی بر تمرین دویدن تناوبی شدید و شدت متوسط موجب بهبود تراکم استخوان در چند جایگاه (کل بدن، ران) می‌شود و این بهبودی در تمرین‌های تناوبی در مقایسه با هوازی بیشتر بود که احتمالا از افزایش خطر شکستگی که معمولاً در سالمندان مشاهده می‌شود، جلوگیری می‌کند. پارامترهای کل استخوان اندازه‌گیری شده توسط DXA در مطالعه ما، با پارامترهای نظیر که در مطالعات قبلی و در جمعیت‌های مشابه[۱۶] به دست آمده است، به‌ویژه با نتایج بررسی ساتو و همکاران[۷]، مطابقت دارد[۱۷]. این بررسی‌ها، نشان می‌دهند که سلامت کمّی استخوان با افزایش سن کاهش می‌یابد و از ادبیاتی حمایت می‌کنند که نشان می‌دهند پیری و تجمع چربی،

7 - Sato.

جدول ۳. ویژگی ترکیب بدنی گروه‌های مورد تحقیق			
	کنترل	تمرین هوازی	تمرین تناوبی
وزن بدن(گرم)	۲۸۷/۰±۱۴/۱	۲۸۰/۷±۱۳/۵	۲۸۵/۲±۱۲/۴
توده چربی(گرم)	۳۵/۶±۴/۷	۳۱/۳±۳/۸	۳۲/۴±۴/۱
توده بدون چربی(گرم)	۲۴۰/۲±۹/۲	۲۳۷/۳±۸/۱	۲۳۸/۹±۸/۳
درصد چربی	۱۲/۴۰±۱/۳	۱۱/۱۵±۱/۱	۱۱/۳۶±۱/۲

مقادیر به صورت انحراف استاندارد±میانگین است.

جدول ۴. تراکم استخوان در گروه‌های مورد تحقیق			
	کنترل	تمرین هوازی	تمرین تناوبی
کل بدن(g/cm^2)	۰/۱۶±۰/۰۱*	۰/۲۰±۰/۰۲	۰/۲۲±۰/۰۳#
ران (g/cm^2)	۰/۱۶±۰/۰۰۷*	۰/۱۹±۰/۰۰۳	۰/۲۰±۰/۰۰۲#
مهره کمر(g/cm^2)	۰/۱۹±۰/۰۰۵*	۰/۱۸±۰/۰۰۶	۰/۱۹±۰/۰۲

مقادیر به صورت انحراف استاندارد±میانگین است.

*نشانگر اختلاف معنی دار ($p<۰۵$) در مقایسه با سایر گروه‌ها.

نشانگر اختلاف معنی دار ($p<۰۵$) در مقایسه با گروه تمرین با شدت متوسط.

کیفیت استخوان را به خطر می‌اندازند. بهبود قابل توجه BMD در چند جایگاه (کل بدن و ران) پس از تمرین‌های تناوبی با شدت بالا و شدت متوسط نشان داد که مداخلات تمرینی باعث سازگاری استخوان با بارهای فیزیولوژیکی و نیروهای ناشی از انقباض عضلات می‌شود و این، همسو با مطالعات قبلی است که نشان می‌دهد تمرین ورزشی می‌تواند سنتز استخوان را حتی در موش‌های میانسال افزایش دهد[۱۸،۱۶]. تحت تأثیر نیروی جاذبه بر وزن بدن یا نیروی حاصل از انقباض عضلانی، بار مکانیکی وارد شده بر اسکلت منجر به ایجاد فشار دینامیک بر استخوان می‌شود. از این رو، واکنش بیولوژیک استخوان در مقابل این فشار، از طریق تحریک فعالیت استئوبلاستیک، افزایش تراکم استخوانی است. به هرحال محرک‌های مکانیکی که موجب تغییر شکل استخوان می‌شوند، به خوبی مشخص نیستند[۱۹]. بهبود بیشتر تراکم استخوان در گروه تمرین تناوبی شدید در مقایسه با گروه شدت متوسط ممکن است به دلیل اعمال بار و شدت بیشتر جلسات تمرینی باشد که منجر به فشارهای مکانیکی و کشش تاندونی بیشتر می‌شوند. در واقع، شاخص استخوان‌سازی یک ورزش به شدت آن متکی است و می‌تواند به عنوان بزرگی بار (یا استرس) ضرب در فراوانی باردهی محاسبه شود[۲۰]. این مطابق با مطالعات قبلی است که نشان می‌دهند تمرین مقاومتی یا روش‌های تمرین با بارگذاری بالا برای حفظ سلامت استخوان، در افراد با ریسک بالای پوکی استخوان، اهمیت ویژه‌ای دارد[۲۱،۱۶]. علاوه بر این، افزایش تدریجی شدت در طول پروتکل تمرین تناوبی شدید از تطبیق سلول‌های استخوانی با بار مکانیکی جلوگیری می‌کند که یک اصل رایج و حاکم در سازگاری استخوان به ورزش است[۲۲]. بنابراین تطبیق سلول‌های استخوانی با سیگنال‌های بارگذاری معمول و یکنواخت به عنوان محدودیت اصلی برخی از برنامه‌های ورزشی هوازی، شناخته شده است[۱۸]. در واقع، نتایج ما به وضوح نشان می‌دهند که تمرین‌های تناوبی خطر شکستگی را کاهش می‌دهند، چرا که افزایش تراکم استخوان همسو با شواهدی است که قبلاً در نوجوانان مبتلا به چاقی که تمرینات شدید کاهنده وزن داشته اند یافت شده و این شواهد نشانگر افزایش تراکم استخوان و کاهش خطر شکستگی در آنان است[۲۱]. بهبودهای ذکر شده در جایگاه‌های استخوانی به دنبال تمرین تناوبی شدید، از اهمیت بالینی برخوردار هستند، زیرا این جایگاه‌های استخوانی به شدت با بروز شکستگی‌های لگن مرتبط هستند[۲۳]. بنابراین به نظر می‌رسد شدت یک عامل مهم در سازگاری‌های استخوان به ورزش می‌باشد. لذا تحقیق‌های انجام گرفته روی انسان و حیوان مؤید ارتباط خطی بین سرعت دویدن و افزایش تراکم استخوان است[۲۴،۱۹].

در سطح مهره‌های کمری مطابق با برخی مطالعات[۲۵] تغییری در پاسخ به تمرین ورزشی ملاحظه نشد. بر اساس تحقیقات انجام شده، این گونه به نظر می‌رسد که تغییر تراکم استخوانی و سازگاری در مهرهٔ کمری نسبت به سایر استخوان‌ها دیرتر اتفاق می‌افتد و لذا به مدت زمان طولانی تر تمرین نیاز دارد[۲۶]. از این رو، در تحقیقاتی که افزایش تراکم استخوانی در مهرهٔ کمری مشاهده شده است، آزمودنی‌ها (زنان پس از یائسگی) از تراکم استخوانی نسبتاً پایین برخوردار بوده‌اند و مدت تمرین

ورزشی نیز طولانی بوده است[۱۰]. از سویی در بیشتر مطالعات، همچون تحقیق حاضر که عدم تغییر در تراکم استخوانی مهره‌های کمری متعاقب تمرین ورزشی مشاهده شد، عکس‌برداری از مهره‌های کمری ۲ تا ۴ صورت گرفته است. با توجه به این که بیومکانیک توزیع بار بین مهره‌ها متفاوت است، از جمله این که سطح مقطع عرضی مهرهٔ کمری ۱ نسبت به مهره های کمری ۲ تا ۴ کوچکتر است، بنابراین بار بیشتری روی مهره ایجاد می‌شود و از طرفی، مهرهٔ کمری ۱ نسبت به مهره‌های کمری ۲ تا ۴ تراکم استخوانی کمتری دارد[۲۶،۲۷]، بنابراین احتمالا عدم تغییر در تراکم استخوانی مهره‌های کمری ممکن است به این عوامل مربوط شود که مستلزم تحقیق بیشتر و در نظر گرفتن این ملاحظات است.

اگرچه این مطالعه اولین مطالعه ای است که تأثیر تمرین HIIT را بر پاسخ استخوان در موش‌های سالمند بررسی می‌کند، اما نتایج باید با توجه به برخی محدودیت ها در نظر گرفته شود. نخست، هر چند وجود یک گروه کنترل را می توان به عنوان نقطهٔ قوت آنالیز حاضر در نظر گرفت، اما اندازهٔ نمونه نسبتاً کوچک نیز باید مد نظر باشد. دوم اینکه، استفاده از توموگرافی کامپیوتری کمّی محیطی، اطلاعات بیشتری را در رابطه با اندازه، هندسه و کیفیت استخوان ارائه می کند[۲۸]. در حالی که DXA نمی تواند استخوان کورتیکال و ترابکولار را تشخیص دهد و تراکم استخوان حجمی را تعیین کند[۲۳]، با وجود این، رایج ترین روش غیرتهاجمی برای ارزیابی سلامت استخوان در مطالعات است. علاوه بر این، ارزیابی پیگیرانه با هدف بررسی اینکه تغییرات مشاهده شده در طول زمان، آیا پس از مداخله حفظ شده‌اند یا خیر؟ رویهٔ مناسبی است که به دلایل عملی ممکن نبوده است.

نتیجه‌گیری

در مجموع، مطالعه حاضر نشان داد که یک برنامهٔ ۸ هفته‌ای مبتنی بر دویدن تناوبی شدید باعث افزایش تراکم استخوان چند موضعی (کل بدن، ران) به میزان بیشتر از تمرینات مداوم با شدت متوسط است و احتمالا کاهش خطر شکستگی را به همراه دارد. در واقع، این نتایج توجیه روش‌های تناوبی شدید را به عنوان بخشی از مداخلات ورزشی حتی در افراد سالمند تقویت می کند. آنها از این ایده حمایت می کنند که شکنندگی استخوان ممکن است با افزایش تدریجی شدت تمرین دویدن بر اساس برنامه تناوبی بهبود یابد.

تقدیر و تشکر

محققان مراتب قدردانی خود را از تمامی کسانی که آنها را در این راه یاری کرده‌اند اعلام می‌دارند.

نویسندگان

تمامی نویسندگان معیارهای استاندارد نویسندگی را بر اساس پیشنهادهای کمیتهٔ بین‌المللی ناشران مجلات پزشکی دارا بودند.

تضاد منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع در اجرای این طرح وجود نداشته است.

منابع

1. Camal Ruggieri IN, Cícero AM, Issa JPM, Feldman S. Bone fracture healing: perspectives according to molecular basis? J Bone Miner Metab. 2021; 39(3):311-331. doi: 10.1007/s00774-020-01168-0. PubMed PMID: 33151416.
2. Ural A. Advanced Modeling Methods-Applications to Bone Fracture Mechanics. Curr Osteoporos Rep. 2020; 18(5):568-576. doi: 10.1007/s11914-020-00615-1. PubMed PMID: 32740775.
3. Daly RM, Dalla Via J, Duckham RL, Fraser SF, Helge EW. Exercise for the prevention of osteoporosis in postmenopausal women: an evidence-based guide to the optimal prescription. Braz J Phys Ther. 2019; 23(2):170-180. doi: 10.1016/j.bjpt.2018.11.011. PubMed PMID: 30503353; PubMed Central PMCID: PMC6429007.
4. Daly RM. Exercise and nutritional approaches to prevent frail bones, falls and fractures: an update. Climacteric. 2017; 20(2):119-124. doi:10.1080/13697137.2017.1286890. PubMed PMID: 28286988.
5. Gibbs JC, MacIntyre NJ, Ponzano M, Templeton JA, Thabane L, Papaioannou A, et al. Exercise for improving outcomes after osteoporotic vertebral fracture. Cochrane Database Syst Rev. 2019; 7(7):CD008618. doi: 10.1002/14651858.CD008618.pub3. PubMed PMID: 31273764; PubMed Central PMCID: PMC6609547.
6. Korhonen MT, Kujala UM, Kettunen J, Korhonen OV, Kaprio J, Sarna S, Törmäkangas T. Longitudinal Associations of High-Volume and Vigorous-Intensity Exercise With Hip Fracture Risk in Men. J Bone Miner Res. 2022; 37(8):1562-1570. DOI: 10.1002/jbmr.4624. PMID: 35699286 PMCID: PMC9544739.
7. Hamilton B.R, Staines K.A, Kelley G.A, Kelley K.S, Kohrt W.M, Pitsiladis Y, et al. The Effects of Exercise on Bone Mineral Density in Men: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomised Controlled Trials. Calcif Tissue Int. 2022; 110(1):41-56. doi: 10.1007/s00223-021-00893-6. PubMed PMID: 34382100.
8. Ashe M.C, dos Santos I.K, Edwards N.Y, Burnett L.A, Barnes R, Fleig L, et al. Physical Activity and Bone Health in Men: A Systematic Review and Meta-Analysis. J Bone Metab. 2021; 28(1):27-39. doi: 10.11005/jbm.2021.28.1.27. PubMed PMID: 33730781; PubMed Central PMCID: PMC7973404.
9. Mages M, Shojaa M, Kohl M, von Stengel S, Becker C, Gosch M, et al. Exercise Effects on Bone Mineral Density in Men. Nutrients. 2021; 13(12):4244. doi: 10.3390/nu13124244. PubMed PMID: 34959796; PubMed Central PMCID: PMC8707095.
10. Rahimi GRM, Smart NA, Liang MTC, Bijeh N, Albanaqi A L, Fathi M, et al. The impact of different modes of exercise training on bone mineral density in older postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis research. Calcif Tissue Int. 2020; 106(6):577–590. doi: 10.1007/s00223-020-00671-w. PubMed PMID: 32055889.
11. Shojaa M, von Stengel S, Kohl M, Schoene D, Kemmler W. Effects of dynamic resistance exercise on bone mineral density in postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis with special emphasis on exercise parameters. Osteoporos Int. 2020; 31(8):1427-1444. doi: 10.1007/s00198-020-05441-w. PubMed PMID: 32399891; PubMed Central PMCID: PMC7360540.

12. Fleg JL. Aerobic exercise in the elderly: a key to successful aging. Discov Med. 2012; 13(70):223-8. PubMed PMID: 22463798.
13. Menz V,Marterer N,Amin SB,Faulhaber M, Hansen AB,Lawley JS. Functional Vs. Running Low-Volume High-Intensity Interval Training: Effects on VO2max and Muscular Endurance. J Sports Sci Med. 2019; 18(3):497-504. PubMed PMID: 31427872; PubMed Central PMCID: PMC6683610.
14. Saremi A, Parastesh M, Bayat M, Davood Abadi F. Evaluation of heat-shock protein A2 (HSPA2) expression in diabetic male rats after exercise training. Journal of Cell & Tissue, 2020; 10(4):193-201. doi:org/10.52547/JCT.10.4.193.
15. Hoshino D, Yoshida Y, Kitaoka Y, Hatta H, Bonen A. High-intensity interval training increases intrinsic rates of mitochondrial fatty acid oxidation in rat red and white skeletal muscle. Appl Physiol Nutr Metab. 2013; 38(3):326-33. doi: 10.1139/apnm-2012-0257. PubMed PMID: 23537026.
16. Wu Q, Zhong P, Ning P, Tan L, Huang X, Peng T, et al. Treadmill training mitigates bone deterioration via inhibiting NLRP3/Caspase1/IL-1β signaling in aged rats. BMC Musculoskelet Disord. 2022; 23(1):1089-95. doi: 10.1186/s12891-022-06055-5. PubMed PMID: 36514079; PubMed Central PMCID: PMC9746211.
17. Sato C, Miyakoshi N, Kasukawa Y, Nozaka K, Tsuchie H, Nagahata I, et al. Teriparatide and exercise improve bone, skeletal muscle, and fat parameters in ovariectomized and tail-suspended rats. J Bone Miner Metab. 2021; 39(3):385-395. doi: 10.1007/s00774-020-01184-0. PubMed PMID: 33392725.
18. Yuasa Y, Miyakoshi N, Kasukawa Y, Nagahata I, Akagawa M, Ono Y, et al. Effects of bazedoxifene and low-intensity aerobic exercise on bone and fat parameters in ovariectomized rats. J Bone Miner Metab. 2020; 38(2):179-187. doi: 10.1007/s00774-019-01045-5.
19. Saremi A. Effect of resistance training on bone mineral density and serum levels of myostatin in young men. Journal of Arak University of Medical Sciences. 2009; 12(2): 89-97.
20. Turner CH. Three rules for bone adaptation to mechanical stimuli. Bone. 1998; 23(5):399-407. doi: 10.1016/s8756-3282(98)00118-5. PubMed PMID: 9823445.
21. Julian V, Thivel D, Miguet M, Brengues C, Pereira B, Courteix D, et al. Bone response to eccentric versus concentric cycling in adolescent with obesity. Obes Res Clin Pract. 2020; 14(6):554-560. doi: 10.1016/j.orcp.2020.10.002. PubMed PMID: 33121896.
22. Chen J, Zhou R, Feng Y, Cheng L. Molecular mechanisms of exercise contributing to tissue regeneration. Signal Transduct Target Ther. 2022; 7(1):383-9. doi: 10.1038/s41392-022-01233-2. PubMed PMID: 36446784; PubMed Central PMCID: PMC9709153.
23. Kaptoge S, Beck TJ, Reeve J, Stone KL, Hillier TA, Cauley JA, et al. Prediction of incident hip fracture risk by femur geometry variables measured by hip structural analysis in the study of osteoporotic fractures. J Bone Miner Res. 2008; 23(12):1892-904. doi: 10.1359/jbmr.080802. PubMed PMID: 18684092; PubMed Central PMCID: PMC2686919.
24. Ikedo A, Kido K, Ato S, Sato K, Lee JW, Fujita S, et al. The effects of resistance training on bone mineral density and bone quality in type 2 diabetic rats. Physiol Rep. 2019; 7(6):e14046-54. doi: 10.14814/phy2.14046. PubMed PMID: 30916457; PubMed Central PMCID: PMC6436184.
25. Shimano RC, Yanagihara GR, Macedo AP, Yamanaka JS, Shimano AC, Tavares J, et al. Effects of high-impact exercise on the physical properties of bones of ovariectomized rats fed to a high-protein diet. Scand J Med Sci Sports. 2018; 28(5):1523-1531. doi: 10.1111/sms.13058. PubMed PMID: 29345841.
26. Wang Q, Yang M, Wang J. Effects of treadmill exercise on mRNA expression levels of osteoprotegerin, RANKL and RUNX2 in bone tissues of ovariectomized. Zhongguo Gu Shang. 2013; 26(11):940-3. PubMed PMID: 24605748.
27. Roberts HM, Law RJ, Thom JM. The time course and mechanisms of change in biomarkers of joint metabolism in response to acute exercise and chronic training in physiologic and pathological conditions. Eur J Appl Physiol. 2019; 119(11-12):2401-2420. doi: 10.1007/s00421-019-04232-4. PubMed PMID: 31650307; PubMed Central PMCID: PMC6858392.
28. Lewiecki EM. Assessment of Skeletal Strength: Bone Density Testing and Beyond. Endocrinol Metab Clin North Am. 2021; 50(2):299-317. doi: 10.1016/j.ecl.2021.03.008. PubMed PMID: 34023045.