

تأثیر تمرین تناوبی سرعتی بر تراکم استخوان موش‌های صحرایی نر

علیرضا طباطبائی^۱، محمد رحمانی^۲، مریم خالسی^۳

چکیده

اهداف: اگرچه فعالیت ورزشی فواید غیرقابل انکاری بر سلامت استخوان دارد اما تأثیر فعالیت‌های ورزشی شدید و پرسرعت بر شکل‌گیری و سلامت استخوان هنوز به درستی شناخته نشده است. با توجه به اینکه کمبود وقت یکی از دلایل اساسی عدم اقبال عمومی به انجام فعالیت بدنی منظم است؛ لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر تمرین تناوبی سرعتی و کوتاه بر تراکم استخوان و شاخص‌های سرمی مرتبط انجام شد.

روش مطالعه: در این پژوهش تجربی ۱۲ سر موش صحرایی نر بطور تصادفی به دو گروه مساوی ($n=6$) کنترل و تمرین تناوبی سرعتی تقسیم شدند. موش‌های گروه تمرین هشت هفته برنامه تمرین متشکل از ۵-۷ تکرار دویدن سرعتی (۴۰-۷۰ متر در دقیقه) با یک دقیقه استراحت بین تکرارها را اجرا کردند. ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین حیوانات بی‌هوش و خون‌گیری مستقیم از قلب و نمونه‌برداری بافت استخوان ران برای سنجش متغیرهای پژوهش انجام شد. تحلیل آماری با استفاده از آزمون تی مستقل در سطح $p<0.05$ انجام شد.

یافته‌ها: نشان داد میانگین درصد تراکم استخوان ران گروه تمرین نسبت به گروه کنترل به طور معنی‌داری بیشتر است ($p<0.001$). همچنین، تمرین سرعتی منجر به افزایش معنی‌دار سطح آلکالین فسفاتاز ($p<0.001$)، کلسیم ($p<0.001$) و فسفر سرمی ($p=0.04$) در مقایسه با گروه کنترل شد.

نتیجه‌گیری: تمرین تناوبی سرعتی می‌تواند، مثل دیگر روش‌های فعالیت بدنی، با وجود صرف زمان کمتر و بدون خستگی قابل توجه، محرک فعالیتی مناسبی برای افزایش درصد تراکم بافت استخوان و شاخص‌های سرمی آن، یعنی فسفر، کلسیم و آلکالاین فسفاتاز در موش آزمایشگاهی بزرگ شود.

واژه‌های کلیدی: تمرین تناوبی شدید، متابولیسم استخوان، آلکالین فسفاتاز، موش صحرایی

^۱ کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.

^۲ استادیار گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران. نویسنده مسئول: rahmani@shahed.ac.ir

^۳ استادیار گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.

مقدمه

استخوان یک بافت فعال با عملکردهای فیزیولوژیکی مهم است که فعالیت متابولیکی آن در کل چرخه زندگی یک فرد تا زمان مرگ جریان دارد. در طی این فرآیند، بافت استخوان دستخوش تغییرات فیزیولوژیکی مختلفی مانند شکل‌گیری، رشد، جذب و بازجذب می‌شود. این تغییرات پویا تحت تأثیر هر دو محرک داخلی و خارجی/محیطی مانند عملکرد سیستم ایمنی، غدد درون‌ریز، تغذیه و فعالیت ورزشی قرار می‌گیرد (Gao et al, 2023). فعالیت ورزشی یکی از مهم‌ترین رویکردهای مداخله‌ای بهداشتی ایمن، مقرون به صرفه و موثر بر ساختار مورفولوژیکی و ویژگی‌های مکانیکی و فیزیولوژیکی بافت استخوان شناخته شده است (DiVasta and Gordon, 2013). از این رو، در حیطه ارتقای سلامت و پیشگیری از بیماری‌های مرتبط با تحلیل استخوان توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است.

پاسخ استخوان به ورزش را می‌توان با تئوری مکانیسمات توضیح داد. بر اساس این تئوری، بافت استخوان قابلیت سازگاری با سوبه‌ها و فشارهای مکانیکی وارد از طرف محیط را دارد. هنگامی که فشار بسیار کمی در محیط وجود داشته باشد تحلیل استخوان رخ می‌دهد و با افزایش فشار فرایند بهبود کیفیت این بافت و استخوان‌زایی اتفاق می‌افتد (Gannotti et al, 2021). فعالیت‌های ورزشی با نوع و شدت مختلف به دلیل ویژگی‌های فنی منحصر به فرد و روش‌های اعمال نیرو، تأثیرات متفاوتی بر استخوان‌ها دارند (Kemmler et al, 2020; Mello et al, 2022). بخش عمده مطالعات پیشین تأثیر پروتکل‌های تمرین استقامتی/هوازی را به عنوان رایج‌ترین و اصلی‌ترین مدل تمرین برای بهره‌برداری از فواید فعالیت ورزشی مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج اکثریت قریب به اتفاق این پژوهش‌ها نشان می‌دهد با وجود فواید سلامتی متعدد فعالیت‌های ورزشی استقامتی/هوازی از جمله بهبود عملکرد قلبی ریوی و متابولیکی، تمرینات طولانی‌مدت انتخاب مطلوب و مناسبی برای حفظ و ارتقاء شاخص‌های سلامت بافت استخوان بشمار نمی‌رود (Nazari-Makiabadi et al, 2022; Cupka and Sedliak, 2023) و حتی ممکن است تأثیر منفی بر تراکم مواد معدنی استخوان (Bone mineral density (BMD)) و ظرفیت آن داشته باشد (Jamka et al, 2022; Hutson et al, 2021). در مقابل، پیشنهاد شده است که چرخه‌های متناوب بارگذاری با سرعت و شدت بالاتر، نسبت به یک چرخه منفرد و طولانی‌مدت، می‌تواند محرک قوی‌تری برای دستیابی به تغییرات تطبیقی و افزایش محتوا و تراکم مواد معدنی استخوان باشد؛ عبارتی، سازگاری‌های استخوانی زمانی که فعالیت‌های سریع، توقف و شتاب گرفتن مجدد بخشی از تمرین باشد بیشتر است (Ravnholt et al, 2018). لذا، تمرین‌های تناوبی با شدت بالا (High-intensity interval training (HIIT)) توجه بیشتری را به عنوان جایگزینی ممکن برای تمرینات استقامتی/هوازی سنتی به خود جلب کرده است (Lu et al, 2022). نشان داده شده است هفت هفته تمرین HIIT با تناوب‌های ۳۰ ثانیه‌ای و شدت ۸۵ درصد حداکثر سرعت، نشانگرهای استخوان‌زایی و متابولیسم مثبت استخوان را افزایش می‌دهد (Ravnholt et al, 2018). آلکالین فسفاتاز (Alkaline phosphatase (ALP)) یکی از مهم‌ترین نشانگرهای زیستی مورد سنجش برای تعیین سطح متابولیسم مثبت استخوان است. بر اساس نتایج مطالعه کاناوا و همکاران یک دوره هشت هفته تمرین HIIT، دویدن با سرعت و شدت بالا روی تردمیل، میزان ALP و BMD را در موش‌های آزمایشگاهی مبتلا به انفارکتوس میوکارد بطور قابل توجهی افزایش داد (Kanazawa et al, 2020). ویژگی مشترک این مطالعات بکارگیری پروتکل‌های سنتی HIIT است که معمولاً مستلزم اجرای ۴ تا ۶ تناوب ۴ دقیقه‌ای با فواصل استراحت

فعال ۳ دقیقه‌ای بین تناوب‌هاست. این پروتکل‌ها نیازمند انجام حدود ۳۰ دقیقه یا بیشتر فعالیت ورزشی در هر جلسه تمرین است (Ghardashi et al, 2015)، که فراتر از توصیه‌های موجود در زمینه فعالیت بدنی (۷۵ دقیقه فعالیت بدنی شدید در هفته) است. این در صورتی است که با توجه به مشکل رایج کمبود وقت در زندگی امروزه، طراحی پروتکل‌های تمرینی با زمان کوتاه‌تر شاخصه مهم دیگری است که بر اساس مطالعات با بهبود پای‌بندی به تمرین در ارتقاء اثربخشی تمرین موثر است. لذا، به نظر می‌رسد تناوب‌های تمرینی کوتاه‌تر با افزایش شدت و سرعت تمرین در هر جلسه، در صورت اثرگذاری مثبت، روش کارآمدتری با هدف ترغیب افراد به انجام فعالیت ورزشی و بهره‌مندی از فواید سلامتی آن خواهد بود. لذا، با توجه به آنچه ذکر شد پژوهش حاضر به دنبال پاسخگویی به این سوال است که آیا یک دوره تمرین سرعتی و پرشدت (۵۰ تا ۷۰ متر در ثانیه) با تناوب‌های کوتاه مدت ۱۰ ثانیه‌ای می‌تواند تأثیری بر عوامل درگیر در متابولیسم و تراکم بافت استخوان داشته باشد؟

روش‌شناسی تحقیق

مطالعه حاضر از نوع تجربی است که با هدف بررسی تأثیر تمرین تناوبی سرعتی (SIT) (Sprint interval training) بر متابولیسم بافت استخوان در موش صحرایی نر ویستار انجام شد. طرح مطالعه پیش از اجرا مورد بررسی و تایید کمیته اخلاق دانشگاه شاهد (IR.Shahed.Rec.1400.005) قرار گرفت. برای شروع ۱۲ سر موش صحرایی نر و بالغ از دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله خربداری و پس از انتقال به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شاهد به صورت گروه‌های سه تایی در قفس‌های جداگانه از جنس پلی‌اتیلن شفاف نگهداری شدند. دمای محیط آزمایشگاه 23 ± 3 درجه سانتی‌گراد، میزان رطوبت ۴۵ تا ۶۰ درصد و چرخه روشنایی-تاریکی ۱۲ ساعته بود. رت‌ها در طول مدت مطالعه دسترسی آزاد به آب و غذا داشتند و تمامی مراحل کار با آن‌ها مطابق با «راهنمای مراقبت و استفاده از حیوانات آزمایشگاهی» در امور علمی بود.

در پایان هفته اول، که مختص آشنایی و سازگاری با محیط آزمایشگاه بود، موش‌ها بطور تصادفی به دو گروه کنترل ($n=6$) و تمرین SIT ($n=6$) تقسیم شدند. در هفته دوم گروه تمرین SIT سه جلسه، هر جلسه به مدت ۱۰ ثانیه با سرعت ۲۰ تا ۳۰ متر بر دقیقه و شیب صفر درصد تمرین کردند. این کار به منظور آشنایی با تردمیل و پروتکل تمرین تناوبی سرعتی انجام شد.

طراحی پروتکل اصلی تمرین بر اساس بیشینه سرعت دویدن برای هر موش بود. لذا، در پایان هفته دوم آزمون سنجش حداکثر سرعت از موش‌های گروه SIT گرفته شد. این آزمون برگرفته از پروتکل ماچادو و همکاران برای مشخص شدن بیشینه سرعت دویدن موش‌ها بود (Machado et al, 2017). این آزمون برای هر موش با سرعت ۱۰ متر در دقیقه شروع و هر سه دقیقه یکبار سه متر در دقیقه به سرعت تردمیل اضافه می‌شد. اتمام آزمون زمانی بود که موش بر روی قسمت شوک به مدت پنج ثانیه متوقف شود. سرعت دویدن پیش از اتمام آزمون به عنوان بیشینه سرعت دویدن برای هر موش در نظر گرفته می‌شد. با شروع هفته سوم پروتکل اصلی تمرین آغاز گردید که به مدت هشت هفته به طول انجامید. طرح پروتکل تمرین تناوبی سرعتی با جزئیات در جدول شماره یک ارائه شده است. در طول مدت مطالعه گروه کنترل فعالیت ورزشی انجام ندادند.

در انتهای هفته هشتم و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین موش‌ها بیهوش و قفسه سینه آن‌ها شکافته شد. نمونه‌گیری خون بصورت مستقیم از قلب انجام و بخش سرمی آن توسط دستگاه سانتریفیوژ جدا شد. سپس استخوان ران برداشته و بلافاصله به مدت ۲۴ تا ۷۲ ساعت در محلول فرمالین ۱۰ درصد قرار گرفتند. نمونه‌های سرم و

استخوان برداشته شده به میکروتیوپ‌های مخصوص منتقل و تا پیش از انتقال به آزمایشگاه در فریزر با دمای ۸۰- درجه سانتیگراد نگهداری شد.

جدول ۱. پروتکل تمرین SIT

زمان (هفته)	MRT* (%)	سرعت (متر/دقیقه)	زمان تناوب (ثانیه)	تکرار تناوب	استراحت بین تناوب‌ها	تعداد جلسات
اول	۱۳۰-۱۱۸	۵۵-۵۰	۱۰	۴	استراحت فعال با سرعت ۲۰-۱۵ متر/دقیقه، به مدت ۶۰ ثانیه	جلسه در هفته ۲
دوم	۱۴۱-۱۳۰	۶۰-۵۵	۱۰	۴		
سوم	۱۴۱-۱۳۰	۶۰-۵۵	۱۰	۵		
چهارم	۱۵۳-۱۴۱	۶۵-۶۰	۱۰	۵		
پنجم	۱۵۳-۱۴۱	۶۵-۶۰	۱۰	۵		
ششم	۱۶۵-۱۵۳	۷۰-۶۵	۱۰	۷		
هفتم	۱۶۵-۱۵۳	۷۰-۶۵	۱۰	۸		
هشتم	۱۶۵-۱۵۳	۷۰-۶۵	۱۰	۹		

* MRT (%): درصد سرعت در آزمون دویدن بیشینه

سطوح کلسیم (Ca^{2+})، ALP و فسفر (P) سرمی با استفاده از کیت‌های شرکت پارس آزمون و با دستگاه اتوانالایزر سنجیده شد. بررسی هیستولوژیک بافت استخوان نیز با رنگ‌آمیزی الیزارین رد (Alizarin Red) انجام گردید که یک تست ارزشمند و مکمل بررسی میکروسکوپی نوری برای تشخیص کریستال‌های کلسیم در نمونه‌های بافتی بویژه بافت استخوان بشمار می‌رود. این تست با استفاده از رنگ الیزارین رد اس (Alizarin red S) انجام می‌شود که یک نمک سدیم آلی است و بیشترین حساسیت را برای تشخیص کریستال‌های پیروفسفات کلسیم دارد. انجام تست الیزارین رد شامل مراحل آماده‌سازی برای قالب‌گیری بافتی و رنگ‌آمیزی است. شرح مراحل در پژوهش حاضر به این صورت بود که در گام اول و برای آماده‌سازی بافت ابتدا باید آب نمونه‌های بافتی حذف می‌شد. لذا، نمونه‌های استخوانی در بازه‌های زمانی ۵۰ دقیقه‌ای در محلول اتانول با غلظت‌های مختلف (۷۰٪، ۸۰٪، ۹۰٪ و ۱۰۰٪) قرار گرفتند. به این صورت اتانول جایگزین آب بافتی شد. سپس، محلول زایلول به منظور سخت شدن و آماده‌سازی بافت استخوان برای قالب‌گیری استفاده گردید. پیش از قالب‌گیری، با هدف عدم تغییر سلول‌های استخوانی نمونه‌ها در پارافین فیکس شد. در نهایت، برش‌های بسیار نازکی از نمونه‌های استخوانی فیکس شده در پارافین، با دستگاه میکروتوم، جدا شد و بر روی لام قرار گرفت. برای شروع مرحله رنگ‌آمیزی، ابتدا لازم بود محلولی از ۲ گرم پودر رنگی الیزارین رد S (Merck -1.06278) در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر تهیه شود. pH محلول با آمونیوم هیدروکساید ۱۰٪ (Sigma -1336-21-6) تنظیم شد. پس از تهیه محلول رنگی لام‌های حاوی نمونه‌های بافتی دپارافینه به مدت یک تا پنج دقیقه با محلول الیزارین رد رنگ‌آمیزی و در نهایت با میکروسکوپ نوری مورد بررسی قرار گرفت.

برای گزارش توصیفی نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر از آماره میانگین، انحراف معیار و تصاویر بافتی استفاده شد. با توجه به برقراری فرضه‌ها بر پایه‌ی نتایج آزمون شاپیروویک و لون، داده‌ها با آزمون t مستقل در سطح آلفای ۰/۰۵ تجزیه و تحلیل شد. همه‌ی تحلیلها در محیط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ انجام گرفت.

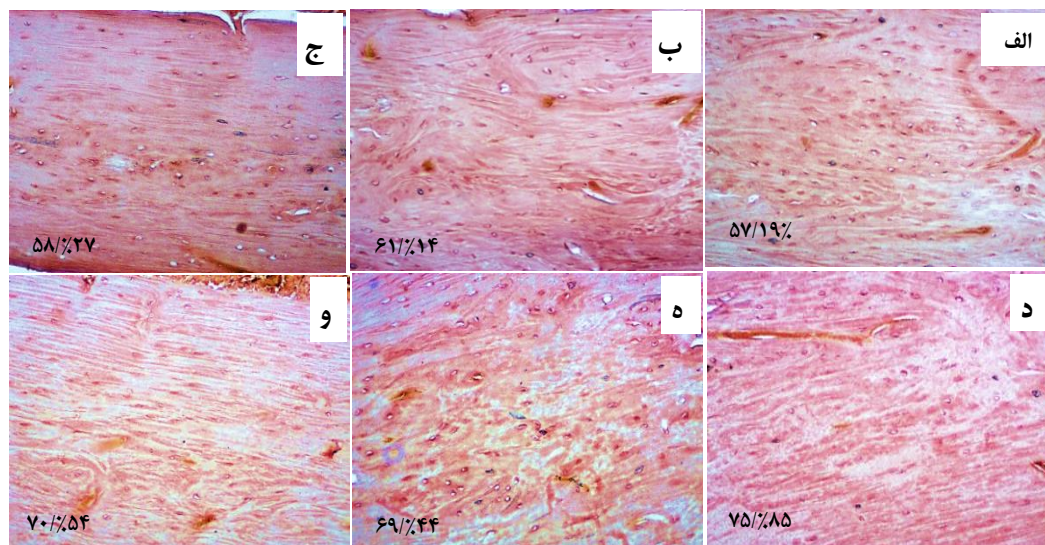
نتایج

تغییرات وزن موش‌ها در طول مدت مطالعه به همراه متغیرهای ALP، P، Ca^{2+} و درصد تراکم استخوان در گروه کنترل و تمرین تناوبی سرعتی در جدول شماره ۲ و شکل ۳ ارائه شده است. شکل شماره ۱ نمونه‌ای از تصویر سطح مقطع بافت استخوان با روش الیزارین را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مقادیر (میانگین $\pm$ انحراف معیار) وزن و دیگر متغیرهای پژوهش

متغیر	کنترل	تمرین SIT
وزن (کیلوگرم)	پایه	$283 \pm 17/3$
	هفته هشتم	$324/5 \pm 32/9$
درصد تراکم استخوان	$58/40 \pm 1/64$	$71/70 \pm 2/59^*$
آلکالین فسفاتاز (IU/L)	$126/17 \pm 8/38$	$248/33 \pm 9/09^*$
فسفر (mg/dl)	$6/48 \pm 0/54$	$7/45 \pm 0/85^*$
کلسیم (mg/dl)	$8/18 \pm 0/32$	$10/07 \pm 0/47^*$

* تفاوت معنادار نسبت به گروه کنترل $P < 0/05$



شکل ۱. سطح مقطع بافت استخوان (با دقت ۱۰۰ میکرومتر) با روش الیزارین رد به تفکیک گروه کنترل (الف، ب، ج) و تمرین SIT (د، ه، و). اعداد ذکر شده در هر تصویر نشان‌دهنده درصد تراکم استخوان نمونه تصویربرداری شده است.

تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که میانگین درصد تراکم استخوان ران گروه تمرین نسبت به گروه کنترل به طور معنی‌داری بیشتر است ($p < 0.001$, $t_{(10)} = 10.63$). اندازه تفاوت میانگین‌ها ($md = 13/30$, $16/09 - 10/51$) CI (%۹۵) خیلی زیاد بود (مجذور ایتا $= 0/92$). همچنین، تحلیل آماری شاخص‌های سرمی حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار بین گروه‌ها بود. نتایج تحلیل سطح سرمی آلکالاین فسفاتاز نشان داد تفاوت معنی‌داری بین گروه تمرین و کنترل وجود دارد و میزان آن در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل بیشتر بود ($p < 0.001$, $t_{(10)} = 24/21$). اندازه تفاوت میانگین‌ها ($md = 122/17 IU/L$, $133/41 - 110/92$) CI (%۹۵) خیلی زیاد بود (مجذور ایتا $= 0/86$). همچنین تحلیل داده‌ها نشان داد که سطح سرمی کلسیم ($p < 0.001$, $t_{(10)} = 8/12$) و فسفر ($p = 0/04$, $t_{(10)} = 2/37$) گروه تمرین نسبت به گروه کنترل به طور معنی‌داری بیشتر بود.

بحث و بررسی:

بررسی مطالعات نشان می‌دهد اکثر پیشینه موجود تاثیر روش تمرینی HIIT را بر تراکم و محتوای مواد معدنی بافت استخوان مورد بررسی قرار داده‌اند که غالباً با دیدگاه سنتی و جلسات تمرین طولانی‌مدت طراحی شده‌اند. طبق بررسی محقق پژوهش حاضر نخستین مطالعه‌ای است که با هدف بررسی تاثیر یک دوره تمرین تناوبی سرعتی با شدت بالاتر از مطالعات پیشین (۵۰ تا ۷۰ متر در ثانیه) در جلسات تمرینی کوتاه‌مدت (حداکثر ۱۵ دقیقه) بر تراکم بافت استخوان انجام شده است. از این رو، در بحث و نتیجه‌گیری به بررسی مطالعات با پروتکل‌های تمرینی پرشدت و HIIT سنتی خواهیم پرداخت. یافته‌های به دست آمده نشان داد انجام جلسات تمرینی با تناوب‌های سرعتی در طول هشت هفته بطور معناداری موجب افزایش درصد تراکم بافت استخوانی رت‌ها شده است. بعلاوه، سطوح کلسیم و فسفر سرمی در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل بطور معنی‌داری پایین‌تر بود اما سطح آلکالاین فسفاتاز سرمی گروه کنترل به‌طور معنی‌داری بیشتر از گروه تمرین بود.

همسو با یافته‌های پژوهش حاضر مطالعه تانگ و همکاران و راونولت همکاران اثرات استئوآنابولیکی دویدن با شدت بالا بر ریزساختار و افزایش تراکم مواد معدنی بافت استخوان را گزارش کردند (Tang Ravnholt et al, 2018; et al, 2023). در مطالعه Tang و همکاران تحریک مسیر پیام‌رسان Wnt/ β -catenin و سپس تنظیم بیان پروتئین Runx2، به عنوان عوامل کلیدی در فرایند استخوان‌زایی و تسریع تکثیر، تمایز، کانی‌سازی و مهاجرت سلول‌های MC3T3-E1 معرفی شد (Tang et al, 2023). یکی دیگر از مکانیسم‌های مولکولی مطرح شده تولید میوکین‌های ناشی از ورزش است که از نظر فیزیولوژیکی می‌توانند بازسازی استخوان را تعدیل کند (Portier et al, 2020). در واقع، فعالیت ورزشی علاوه بر تعامل مستقیم مکانیکی برای تعدیل هومئوستاز استخوان، یک محرک فیزیولوژیکی اولیه برای آنابولیسم استخوان (و/یا کاتابولیسم) از طریق تولید و ترشح میوکین‌هایی مانند اینترلوکین ۶، آیریزین، IGF-1، FGF2 نیز بشمار می‌رود. میوکین‌ها همچنین اثر ضدالتهابی دارند (Gomasasca et al, 2020; Kirk et al, 2020). بعلاوه، بار مکانیکی ناشی از تناوب‌های دوی سرعت با تحریک اعصاب سمپاتیک منجر به افزایش قابل توجهی در غلظت کورتیکوسترون سرم؛ اما تغییرات اندک ترشح هورمون آدرنوکورتیکوتروپیک (Adrenocorticotrophic hormone (ACTH)) می‌شود که نشان دهنده حساسیت بالای سنتز کورتیکوسترون به تغییرات کوچک ACTH سرم است. نشان داده شده است که ACTH بر سنتز کلاژن در استخوان اثر دارد. علاوه بر این، ACTH تکثیر سلول‌های استئوبلاست را به طور وابسته به دوز تحریک می‌کند و می‌تواند سنتز کلاژن را به طور قابل توجهی در استئوبلاست‌ها افزایش دهد (Portier et al,

(2020). در میان مولکول‌های دخیل در مسیرهای سیگنال‌دهی انتقال، خانواده پروتئین‌های مورفوژنتیک استخوان ((bone morphogenetic proteins (BMPs) و پروتئین‌های شوک حرارتی (heat shock proteins) در زیست‌شناسی استئوسیت‌ها پس از بارگذاری مکانیکی نقش دارند. در واقع، BMP های ترشح شده توسط استئوسیت‌ها در پاسخ به بارگذاری مکانیکی ناشی از فعالیت ورزشی، آپوپتوز را مهار کرده و بقای استئوسیت‌ها را تقویت می‌کنند (Wang and Guo, 2013). علاوه بر این، پروتئین‌های شوک حرارتی القا شده توسط استرس مکانیکی می‌توانند به تعدیل بقای استئوسیت‌ها در هر دو شرایط فیزیولوژیکی و پاتولوژیک کمک کنند که پیامدهای مهم تمرین‌های ورزشی خاص و پراثری مانند دوی سرعت را نشان می‌دهد (Massimini et al, 2017).

در مقابل، مطالعاتی وجود دارد که تأثیر منفی فعالیت ورزشی را بر تراکم استخوانی گزارش کرده‌اند. قارداشی و همکاران (۲۰۱۵) با هدف بررسی تأثیر تمرین تناوبی با شدت بالا نتیجه‌گیری کردند که انجام این پروتکل (هفت تناوب چهار دقیقه‌ای با شدت ۸۰ تا ۹۰ درصد VO_{2max} و استراحت فعال سه دقیقه‌ای با شدت ۵۰ تا ۶۰ درصد VO_{2max} بین تناوب‌ها) پس از هشت هفته تأثیر مطلوبی بر تراکم استخوان در رت‌های مورد مطالعه ندارد (Ghardashi et al, 2015). هرچند بار مکانیکی ناشی از تمرینات ورزشی متحمل وزن نقش مهمی در رشد و نگهداری استخوان دارد؛ اما ریزساختار و توده استخوانی با افزایش شدت فعالیت ورزشی قابلیت دستیابی به سازگاری مکانیکی جدید را دارد (Liu et al, 2018)؛ زیرا در سرعت‌های مختلف بیومکانیک دویدن متفاوت می‌شود؛ بعبارتی، سرعت گشتاور زانو و لگن با افزایش شدت دویدن افزایش می‌یابد که منجر به نیروهای واکنش بزرگ‌تر و میانگین فرکانس بارگذاری بیشتر می‌شود. افزایش فرکانس بارگذاری و نیروی عضلانی بیشتر با افزایش سرعت تشکیل استخوان همراه است (Friedman and Kohn, 2022). این موضوع نشان می‌دهد سرعت دویدن عامل موثری در اثرگذاری فعالیت بر تحریک بافت استخوان است. این رابطه با تئوری مکانواستات (mechanostat theory) قابل توضیح است که بیان می‌کند توده استخوان زمانی تنظیم می‌شود که قدرت بار وارد به آن از یک "نقطه تنظیم" (set-point) فیزیولوژیکی، فراتر رود (Gannotti et al, 2021). بنابراین، فرض بر این است که دویدن بر روی تردمیل با شدت‌های مختلف منجر به پاسخ‌های سلولی متفاوت و در نتیجه سازگاری‌های استخوانی متفاوت می‌شود. در مطالعه‌ای با هدف بررسی اثرات دویدن روی تردمیل با شدت‌های مختلف بر توده استخوانی و تمایز سلول‌های استرومایی مغز استخوان ((bone marrow stromal cells (BMSCs) در یک مدل موش گزارش شد که میزان اثرگذاری مثبت تمرین بر تمایز و تکثیر استخوان‌زایی و چربی‌زایی BMSC ها به شدت و سرعت تمرین وابسته است. این محققان نتیجه‌گیری کردند که به نظر می‌رسد یک «پنجره» (window) بیومکانیکی وجود دارد که در آن افزایش سیگنال‌های فشار ناشی از دویدن با شدت بالا می‌تواند تعداد BMSC ها و سلول‌های پیش‌ساز (ویژه دودمان استئوبلاست) را افزایش دهند و باعث افزایش تنظیم استخوان‌سازی و کاهش چربی‌زایی سلول‌های بنیادی مزانشیمی شوند (Liu et al, 2018). سرعت پروتکل تمرینی مورد استفاده در پژوهش حاضر ۵۰ تا ۷۰ متر در ثانیه بود که در مقایسه با مطالعات پیشین از جمله مطالعه قارداشی و همکاران (سرعت ۲۰ تا حداکثر ۵۰ متر در ثانیه) پروتکل شدیدتری محسوب می‌شود که بخشی از تضاد نتایج را توجیه می‌کند.

علاوه بر شدت، مدت فعالیت ورزشی از علل مؤثر بر تراکم استخوان بشمار می‌رود. بعبارتی، دو نوع فعالیت با شدت یکسان، با مدت زمان متفاوت می‌تواند نتایج متفاوتی بر تراکم استخوان داشته باشد. شواهد نشان می‌دهد اندازه، شکل و ساختار داخلی استخوان به جلسات تمرینی کوتاه‌تر با تعداد جلسات بیشتر به جای افزایش مدت زمان جلسه

تمرین بهتر پاسخ می‌دهد (Turner and Robling, 2003). مطالعه‌ای در همین زمینه نشان داد در حالی که فعالیت ۳۰ دقیقه‌ای موجب افزایش BMD و وزن بدن در رت‌های در حال رشد می‌شود، فعالیت ۶۰ دقیقه‌ای تأثیری بر این عوامل ندارد (Ertem et al, 2008). بخشی به این موضوع را می‌توان به آسیب مکانیکی ناشی از افزایش مسافت دویدن و التهاب بافت استخوانی نسبت داد که منجر به افزایش نرخ متابولیسم استخوان و از دست دادن تراکم استخوان می‌شود (Lee, 2019). مطالعات نشان می‌دهد در طول یک سال، ۳ تا ۲۱ درصد از دوندگان مسافت‌های طولانی ممکن است حداقل یک آسیب استرس استخوان (شکستگی استرس و/یا واکنش استرس) را متحمل شوند (Hutson et al, 2021). همچنین، کاهش غلظت هورمون‌های پاراتیروئیدی در طی تمرینات کم شدت نسبت به تمرینات با شدت بالاتر می‌تواند از دیگر دلایل معرفی شود. هاناچی و همکاران (۲۰۲۳) در مقایسه بین دو پروتکل تمرینی با شدت متوسط و شدید نشان دادند که تحریک عملکرد پاراتیروئید به شدت تمرین حساس است و تمرین ورزشی متوسط در مقایسه با تمرینات شدید میزان هورمون پاراتیروئید را بطور معناداری کاهش می‌دهد (Hannachi et al, 2023).

نتیجه گیری:

بطور کلی، طبق یافته‌های حاضر دویدن با سرعت زیاد در تناوب‌های ۱۰ ثانیه‌ای باعث افزایش تراکم استخوان علی‌رغم جلسات تمرین کوتاه‌مدت می‌شود. در این مطالعه از نشانگر بیوشیمیایی آلکالین فسفاتاز و مقادیر سرمی املاح معدنی برای بررسی اثرات دویدن سرعتی بر تشکیل و جذب استخوان استفاده شد و نشان‌دهنده آن بود که شدت و سرعت بالای تمرین می‌تواند روش موثری برای استخوان‌سازی باشد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از جناب آقای دکتر علی صمدی که در انجام پژوهش ما را یاری کردند تشکر و قدردانی می‌کنیم.

تضاد منافع

این پژوهش هیچ‌گونه تضاد و تعارض منافی ندارد.

منابع

- Cupka, M., & Sedliak, M. (2023). Hungry runners - low energy availability in male endurance athletes and its impact on performance and testosterone: mini-review. *European journal of translational myology*, 33(2), 11104.
- DiVasta, A. D., & Gordon, C. M. (2013). Exercise and bone: where do we stand?. *Metabolism: clinical and experimental*, 62(12), 1714–1717.
- Ertem K, Karakoc Y, Duzova H, Kekilli E, Emre M, Kilinc E, et al. Effects of different durations of treadmill training exercise on bone mineral density in growing rats. *Biology of Sport*. 2008;25(2):187.
- Friedman MA, Kohn DH. Calcium and phosphorus supplemented diet increases bone volume after thirty days of high speed treadmill exercise in adult mice. *Scientific Reports*. 2022;12(1):14616.
- Gannotti ME, Liquori BM, Thorpe DE, Fuchs RK. Designing exercise to improve bone health among individuals with cerebral palsy. *Pediatric Physical Therapy*. 2021;33(1):50-6.

- Gao H, Zhao Y, Zhao L, Wang Z, Yan K, Gao B, et al. The Role of Oxidative Stress in Multiple Exercise-Regulated Bone Homeostasis. *Aging and Disease*. 2023;14(5):1555.
- Ghardashi Afousi A, Choobineh S, Gaeini AA, Javidi M, Fallahi AA. High Intensity Interval Training (HIIT): Beneficial or Harmful? An Investigation of Bone Mass Density Changes after High Intensity Interval Training in Adult Male Wistar Rats. *Journal of Sport Biosciences*. 2015;7(2):211-23.
- Gomarasca M, Banfi G, Lombardi G. Myokines: The endocrine coupling of skeletal muscle and bone. *Advances in clinical chemistry*. 2020;94:155-218.
- Hannachi, M., Ouerghi, N., Abassi, W., Ouergui, I., & Bouassida, A. (2023). Effects of high-vs. moderate-intensity intermittent training on parathyroid hormone concentration in overweight/obese females. *Science & Sports*, 38(4), 355-361.
- Hutson MJ, O'Donnell E, Brooke-Wavell K, Sale C, Blagrove RC. Effects of low energy availability on bone health in endurance athletes and high-impact exercise as a potential countermeasure: a narrative review. *Sports Medicine*. 2021;51(3):391-403.
- Jamka, M., Piotrowska-Brudnicka, S. E., Karolkiewicz, J., Skrypnik, D., Bogdański, P., Cielecka-Piontek, J., ... & Mądry, E. (2022, April). The Effect of Endurance and Endurance-Strength Training on Bone Health and Body Composition in Centrally Obese Women—A Randomised Pilot Trial. In *Healthcare* (Vol. 10, No. 5, p. 821). MDPI.
- Kanazawa M, Matsumoto Y, Takahashi K, Suzuki H, Uzuka H, Nishimiya K, et al. Treadmill exercise prevents reduction of bone mineral density after myocardial infarction in apolipoprotein E-deficient mice. *European Journal of Preventive Cardiology*. 2020;27(1):28-35.
- Kemmler W, Shojaa M, Kohl M, von Stengel S. Effects of different types of exercise on bone mineral density in postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis. *Calcified tissue international*. 2020;107:409-39.
- Kirk, B., Feehan, J., Lombardi, G., & Duque, G. (2020). Muscle, bone, and fat crosstalk: the biological role of myokines, osteokines, and adipokines. *Current osteoporosis reports*, 18(4), 388-400.
- Lee JH. The effect of long-distance running on bone strength and bone biochemical markers. *Journal of exercise rehabilitation*. 2019;15(1):26.
- Liu SY, Li Z, Xu SY, Xu L, Yang M, Ni GX. Intensity-dependent effect of treadmill running on differentiation of rat bone marrow stromal cells. *Molecular Medicine Reports*. 2018;17(6):7746-56.
- Lu M, Li M, Yi L, Li F, Feng L, Ji T, et al. Effects of 8-week high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on bone metabolism in sedentary young females. *Journal of Exercise Science & Fitness*. 2022;20(2):77-83.
- Machado MV, Vieira AB, da Conceicao FG, Nascimento AR, da Nobrega ACL, Tibirica E. Exercise training dose differentially alters muscle and heart

- capillary density and metabolic functions in an obese rat with metabolic syndrome. *Experimental physiology*. 2017;102(12):1716-28.
- Massimini M, Palmieri C, De Maria R, Romanucci M, Malatesta D, De Martinis M, et al. 17-AAG and apoptosis, autophagy, and mitophagy in canine osteosarcoma cell lines. *Veterinary pathology*. 2017;54(3):405-12.
- Mello JB, Pedretti A, Bergmann GG, Gaya AR, Ubago-Guisado E, Gaya AC. Sprint and upper limbs power field tests for the screening of low bone mineral density in children. *Frontiers in Physiology*. 2022;13:1066462.
- Nazari-Makiabadi M, Azarbayjani MA, Rahmati-Ahmadabad S, Guerra-Balic M, Bellovary BN. A Review of the Effects of Physical Activity (PA) on Bone Density: Relying on Iranian Studies. *Thrita*. 2022;11(1).
- Portier H, Benaitreau D, Pallu S. Does physical exercise always improve bone quality in rats? *Life*. 2020;10(10):217.
- Ravnholt T, Tybirk J, Jørgensen NR, Bangsbo J. High-intensity intermittent “5–10–15” running reduces body fat, and increases lean body mass, bone mineral density, and performance in untrained subjects. *European Journal of Applied Physiology*. 2018;118:1221-30.
- Tang L, Guo H, Wang K, Zhou Y, Wu T, Fan X, et al. Low-intensity pulsed ultrasound enhances the positive effects of high-intensity treadmill exercise on bone in rats. *Journal of Bone and Mineral Metabolism*. 2023:1-14.
- Turner CH, Robling AG. Designing exercise regimens to increase bone strength. *Exercise and sport sciences reviews*. 2003;31(1):45-50.
- Wang Z, Guo J. Mechanical induction of BMP-7 in osteocyte blocks glucocorticoid-induced apoptosis through PI3K/AKT/GSK3 β pathway. *Cell biochemistry and biophysics*. 2013;67:567-74.

The Effect of Interval Sprint Training on Femur Bone Density and Serum Bone Indices in Male Wistar Rats

Alireza Tabatabaee, Mohammad Rahmani, Maryam Khalesi

Department of Physical Education and Sports Sciences, Faculty of Humanities, Shahed University, Tehran, Iran.

***Corresponding author:** rahmani@shahed.ac.ir

Abstract

Objectives: Although exercise has undeniable benefits on bone health, the effect of intense and high-speed exercise on bone formation and health is not yet fully understood. Given that lack of time is one of the main reasons for the lack of interest in regular physical activity, the present study was conducted to investigate the effect of short-term speed interval training on bone density and related serum indices.

Methods: In this experimental study, 12 male Wistar rats were randomly divided into two equal groups control: (n= 6) and sprint interval training (n= 6). Rats in the training group performed an eight-week training program consisting of 5-7 repetitions of 10 sec sprint (40-70 m/min) with one-minute rest between repetitions. 48 hours after the last training session, the animals were anesthetized and blood was taken directly from the heart and femur tissue was sampled to measure the research variables. Statistical analysis was performed using the independent t-test at an alpha level of 0.05.

Results: It showed that the mean percentage of femur bone density in the training group was significantly higher than the control group ($P < 0.001$). Also, sprint interval training led to a significant increase in the level of alkaline phosphatase ($P < 0.001$), calcium ($P < 0.001$) and serum phosphorus ($P = 0.04$).

Conclusion: Sprint interval training can be a suitable activity stimulus for increasing the percentage of bone tissue density and its serum indicators, namely phosphorus, calcium, and alkaline phosphatase, in adult rat, despite spending less time and without significant fatigue.

Key words: High Interval Intensity Training, Bone Metabolism, Alkaline Phosphatase, Rat.