

علوم زیستی ورزشی - تابستان ۱۳۹۴  
دوره ۷، شماره ۲، ص: ۲۱۱ - ۲۲۳  
تاریخ دریافت: ۱۵ / ۱۰ / ۹۲  
تاریخ پذیرش: ۳۰ / ۰۱ / ۹۳

## تمرین تناوبی خیلی شدید مفید یا مضر: بررسی تغییرات تراکم استخوان بعد از یک دوره برنامه تمرین تناوبی خیلی شدید در رت‌های نر بالغ نژاد ویستار

علیرضا قارداشی افوسی<sup>۱</sup> - سیروس چوبینه<sup>۲\*</sup> - عباسعلی گائینی<sup>۳</sup>، محسن جاویدی<sup>۴</sup>،  
علی اصغر فلاحی<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، ۲. استادیار، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، گروه فیزیولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، ۳. استادیار، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، گروه فیزیولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، ۴. دانشجوی دکتری، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، گروه فیزیولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، ۵. استادیار، دانشکده روان‌شناسی و علوم تربیتی، بخش تربیت بدنی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

### چکیده

مقدمه: هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر تمرینات تناوبی خیلی شدید (HIIT) بر تراکم استخوانی رت‌های نر نژاد ویستار بالغ بود. روش‌شناسی: به این منظور ۱۶ سر رت با محدوده وزنی  $250 \pm 20$  گرم و سن شش هفته به دو گروه تجربی ( $n=8$ ) و کنترل ( $n=8$ ) تقسیم شدند. پس از یک هفته آشنایی با پروتکل تمرینی، برنامه تمرینی HIIT فزاینده به مدت هشت هفته دنبال شد. ۲۴ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی، پس از بیهوشی و کشتن حیوان، استخوان ران بیرون آورده شده و در محلول فرمالین قرار داده شد. میزان تراکم مواد معدنی استخوان ( $BMD, g/cm^2$ ) و محتوای مواد معدنی ( $BMC, g/cm^2$ ) سه ناحیه (گردن، میانه، تروکانتر) ران به روش DEXA اندازه‌گیری شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌های آماری از آزمون t مستقل استفاده شد. نتایج: کاهش معناداری در مقدار BMD و BMC گردن و تنه ران مشاهده شد، در حالی که کاهش مقدار BMC تروکانتر گروه تمرین معنادار نبود. نتیجه‌گیری: براساس یافته‌های پژوهش حاضر احتمالاً تمرینات HIIT تأثیرات تحریکی مطلوبی بر تراکم استخوانی اعمال نمی‌کند.

### واژه‌های کلیدی

تمرین تناوبی خیلی شدید، تراکم توده استخوانی، محتوای توده استخوانی، DEXA.

## مقدمه

پوکی استخوان<sup>۱</sup>، نوعی بیماری اسکلتی است که با کاهش تدریجی تراکم استخوانی و تحلیل ساختار ریزاستخوان مشخص می‌شود. ویژگی بارز آن کاهش استحکام استخوان و افزایش خطر شکستگی است. این بیماری هم‌اکنون یکی از مشکلات بهداشت عمومی در دنیا محسوب می‌شود، تا حدی که نرخ شکستگی استخوان در اثر کاهش تراکم استخوان بیش از مجموعه رخداد‌های سرطان، سکتۀ مغزی و حمله‌های قلبی است. براساس آمار حدود ۲۰۰ میلیون زن در جهان از این بیماری رنج می‌برند و افزون بر ۷۰ درصد زنان و ۵۰ درصد مردان بالای ۵۰ سال در ایران به پوکی یا کمی استخوان مبتلا هستند (۲،۳،۳۰). یکی از بهترین راهبردهای پیشگیری از پوکی استخوان، تمرکز بر حداکثرسازی تجمع توده استخوانی اولیه در دوران رشد و بلوغ و حداقل‌سازی کاهش آن در دوران بعدی زندگی است (۱۵،۲۸). فعالیت ورزشی در دوران کودکی و جوانی ممکن است یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده اوج توده استخوان باشد (۱۵). با وجود این، سازوکارهای خاص اثر فعالیت ورزشی بر استخوان به‌طور کامل تعیین نشده است (۲۹). بارهای مکانیکی اعمال‌شده از طریق انقباض‌های عضلانی و نیروی جاذبه، می‌توانند اثر مثبت بر اندازه، شکل و ساختار داخلی استخوان داشته باشند (۷). این پاسخ استخوان در اعمال فشار طولانی‌مدت و در دوره استراحت و همچنین جلسات تمرین بیشتر به‌جای افزایش مدت زمان جلسات بهبود می‌یابد (۳۵). مطالعات حیوانی نشان می‌دهد که تنش مکانیکی ناشی از اعمال فشار نیز باید به مقدار مشخص‌شده‌ای قبل از شروع اثر استئوژنیک برسد. در صورت تجاوز از این آستانه، پاسخ تشکیل استخوان با مقدار اوج فشار ارتباط مثبتی دارد (۵،۳۶).

تراکم استخوان<sup>۲</sup> (BMD) تحت تأثیر عوامل مدت، شدت تمرین و فعالیت‌های متحمل وزن قرار می‌گیرد. براساس پژوهش‌ها بین تراکم استخوان و مسافت طی‌شده در تمرین استقامتی رابطه معکوس وجود دارد، درحالی‌که شدت زیاد تمرین بر تراکم استخوان اثر مثبت دارد (۳۴). فعالیت‌های ورزشی پرفشار<sup>۳</sup> و متحمل وزن<sup>۴</sup> (برای مثال وزنه‌برداری و دویدن) تراکم استخوانی بیشتری نسبت به فعالیت‌های ورزشی با فشار کمتر و بدون متحمل وزن (مانند واترپلو و دوچرخه‌سواری) ایجاد می‌کند (۳۳-۳۱،۴،۱۱). مطالعات نشان می‌دهند فعالیت ورزشی به‌ویژه فعالیت‌های پویا در مقابل فعالیت‌های

- 
1. Osteoporosis
  2. Bone mass density
  3. High strain
  4. Weight bearing

ایستا اهمیت خاصی دارند (۲۵،۲۶). فعالیت ورزشی استقامتی با شدت متوسط تا زیاد تراکم و قدرت استخوان در هر دو گونه حیوان و انسان را افزایش می‌دهد (۱۷). فعالیت ورزشی مقاومتی کوتاه‌مدت نوسازی استخوان را افزایش می‌دهد، اما تأثیری بر تراکم استخوان ندارد، درحالی‌که تمرینات بلندمدت تراکم و قدرت استخوان را افزایش می‌دهد (۲۷). برخی مطالعات نشان داده‌اند که فعالیت ورزشی با شدت متوسط در دوران بلوغ موجب افزایش تراکم استخوانی می‌شود (۸،۲۳،۲۴). هاگیهارا و همکاران (۲۰۰۵) تأثیر هشت هفته تمرین با شدت متوسط روی تردمیل با سرعت ۱۵ متر بر ثانیه، پنج جلسه در هفته (هر جلسه ۳۰ دقیقه) را بر چگالی مواد معدنی استخوان رت‌های در حال رشد بررسی کردند. آنها نشان دادند تناوب هفتگی مناسب فعالیت ورزشی برای افزایش BMD، ۵-۴ روز است (۹). ارتم و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که مدت و شدت فعالیت ورزشی از علل مؤثر بر تراکم استخوان هستند. آنها نشان دادند که دو نوع فعالیت با شدت یکسان، با مدت زمان متفاوت نتایج متفاوتی بر تراکم استخوان دارند. فعالیت ۳۰ دقیقه‌ای موجب افزایش BMD و وزن بدن در رت‌های در حال رشد شد، درحالی‌که فعالیت ۶۰ دقیقه‌ای تأثیری بر این عوامل نداشت (۱۳). هوانگ و همکاران گزارش کردند ۸ و ۱۰ هفته تمرین استقامتی فزاینده با سرعت ۲۲ متر بر ثانیه و مدت ۶۰ دقیقه تأثیر معناداری بر BMD، محتوای مواد معدنی<sup>۱</sup> (BMC) و شاخص‌های استخوانی رت‌های نر در حال رشد نداشتند (۱۳،۱۴). آنها نتیجه گرفتند که فعالیت استقامتی تأثیر موضعی نسبتاً کمتری نسبت به تمرینات با بارهای بیشتر مانند پریدن اعمال می‌کند. پریدن نیروی واکنش زمین ۷-۴ برابر وزن بدن اعمال کند، درحالی‌که دویدن تنها ۷٪ تا ۸٪ وزن بدن نیروی واکنش زمین تولید می‌کند. گزارش آنها نشان می‌دهد که اگر فعالیت استقامتی با سرعت بیشتری انجام گیرد، می‌تواند موجب نیروی واکنش زمین<sup>۲</sup> بیشتری شود و به افزایش BMD و BMC بینجامد (۳۴). تمرینات تناوبی خیلی شدید<sup>۳</sup> دوره‌هایی از فعالیت ورزشی است که با نوساناتی در شدت فعالیت ورزشی در زمان معین مشخص می‌شود. HIIT شامل تکرار دوره‌هایی از فعالیت خیلی شدید (نزدیک به بیشینه یا فوق‌بیشینه) است که با فعالیت ورزشی کم‌شدت یا با شدت متوسط یا گاهی با عدم فعالیت کامل (استراحت مطلق) جدا می‌شود، از این رو تکرار زیاد الگوی افزایش شدت و بازیافت مجدد ملاک اصلی اثربخشی این برنامه‌هاست. البته این نیمرخ فعالیت، ویژگی الگوهای فعالیت ورزشی برخی از مشهورترین ورزش‌های دنیا مثل بسکتبال، فوتبال،

---

1. Bone mass content  
2. Gravity force rate  
3. High intensity interval

فوتبال آمریکایی، راگبی، تنیس، مشت‌زنی، هاکی و جزء آن به‌شمار می‌رود (۱). آثار مفید تمرینات تناوبی خیلی شدید بر بیماران قلبی-عروقی، رگ‌زایی، بیوزنز میتوکندریایی و سایر عوامل مشخص شده است. این شیوه تمرینی احتمالاً به‌دلیل وجود تناوب‌ها آثار متفاوتی نسبت به دیگر تمرینات داشته باشد. از سویی برنامه‌های HIIT نیازهای متابولیکی عضلات و بدن را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد، افزایش مقادیر  $PI$ ، کلسیم و هورمون‌های استرسی و سایر هورمون‌ها بعد از برنامه‌های ورزشی پرشدت گزارش شده است (۶)، ولی تاکنون تأثیرات اثربخش یا نامطلوب برنامه‌های HIIT بر شاخص‌های سلامتی استخوان بررسی نشده و مشخص نیست فعالیت‌های ورزشی HIIT تا چه حد تراکم و محتوای مواد معدنی استخوان را افزایش یا کاهش می‌دهد. همچنین شدت زیاد این تمرینات در راستای پژوهش‌های صورت‌گرفته (شدت زیاد و ضریب نفوذ بالا) احتمالاً تراکم استخوان را افزایش می‌دهد. با توجه به موضوعات گفته‌شده هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر تمرین تناوبی خیلی شدید (HIIT) با الگوی منتخب بر تراکم استخوانی رت‌های نر است.

## روش‌شناسی

### آزمودنی

روش تحقیق حاضر تجربی بود. ۱۶ سر رت نر ویستار بالغ با محدوده وزنی  $250 \pm 20$  گرم و سن هشت هفته از انستیتو پاستور ایران خریداری شد. سپس مطابق با خط‌مشی انجمن ایرانیان حمایت از حیوانات آزمایشگاهی مورد استفاده برای اهداف علمی و آزمایشگاهی، در حیوان‌خانه دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه تهران در شانزده قفس نگهداری می‌شدند. رت‌ها در چرخه روشنایی تاریکی (۱۲ ساعت نور ۱۲ ساعت تاریکی) و رطوبت ۵۰٪ و درجه حرارت  $22 \pm 3$  درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و به آب و غذا دسترسی آزاد داشتند.

### ارزیابی توان هوازی رت‌ها

با توجه به دسترسی نداشتن به ابزار مستقیم مانند دستگاه تجزیه و تحلیل گر گازهای تنفسی با توجه به پژوهش‌های اخیر (هویدال و همکاران، ۲۰۰۷) (۱۲)، پروتکل غیرمستقیم ولی با دقت زیادی در ابتدا پایلوت و به شرح زیر استفاده شد:

بعد از ۲۰-۱۰ دقیقه گرم کردن با شدت ۴۰ تا ۵۰٪  $VO_{2max}$ ، سرعت نوار گردان هر دو دقیقه یک بار به میزان  $0.3$  متر بر ثانیه ( $1/8$  تا  $2$  متر/دقیقه) افزایش یافت تا حیوانات دیگر قادر به دویدن

نباشند. ملاک رسیدن به  $VO_{2max}$  عدم توانایی رت در ادامه دادن پروتکل تمرینی با افزایش سرعت بود. سرعت  $VO_{2max}$  ثبت شده سرعتی است که در آن  $VO_2$  به فلات برسد. رسیدن به فلات با غلظت لاکتات بیشتر از ۶ میلی مول در لیتر و نسبت تنفسی  $VCO_2/VO_2$ ، ۱/۵ معادل است. پژوهش‌ها نشان می‌دهند ارتباطی قوی بین سرعت نوار گردان و  $VO_{2max}$  رت‌ها وجود دارد (۰/۹۸- $r$ ،  $P < 0/0005$ ). از این رو می‌توان با توجه به سرعت دویدن مقدار  $VO_{2max}$  رت‌ها را به دست آورد (۱۲).

### برنامه فعالیت ورزشی

برنامه پروتکل ورزشی با توجه به پژوهش‌های هارمن و همکاران (۱۰) و هویدال و همکاران (۱۲) و تعدیلات پژوهشگران بدین صورت طراحی شد. رت‌ها در دو گروه کلی هشت هفته فعالیت ورزشی کوتاه مدت تناوبی خیلی شدید (HIIT) و گروه کنترل- با توجه به طرح پژوهش - قرار گرفتند. برای آشنایی با فعالیت ورزشی HIIT، گروه‌های تمرینی در هفته اول ۳-۵ روز به تمرین پرداختند. البته، در همین زمان برای عملیاتی کردن پروتکل، برنامه به صورت پایلوت اجرا شد. هر جلسه برنامه پروتکل HIIT شامل ۱ ساعت فعالیت ورزشی بود که مراحل آن عبارتند از:

- ۶ دقیقه گرم کردن (با شدت ۵۰ تا ۶۰ درصد معادل سرعت ۲۰-۱۵ متر بر دقیقه)؛
- ۷ تناوب (۴ دقیقه‌ای با شدت ۸۰ تا ۹۰ درصد  $VO_{2max}$  - معادل ۵۰-۲۰ متر بر دقیقه- و ۳ دقیقه‌ای با شدت ۵۰ تا ۶۰ درصد  $VO_{2max}$ )؛
- ۵ دقیقه سرد کردن (با شدت ۵۰ تا ۶۰ درصد  $VO_{2max}$  معادل سرعت ۲۰-۱۵ متر بر دقیقه).

### روش اندازه‌گیری

۲۴ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین رت‌ها پس از ناشتایی شبانه نمونه برداری شدند. برای جمع‌آوری نمونه‌ها ابتدا حیوان با ترکیبی از داروی زایلازین (۱۰ میلی گرم/کیلوگرم) و کتامین (۷۵ میلی گرم/کیلوگرم) به صورت تزریق درون صفاقی بی‌هوش شد، سپس قفسه سینه حیوان شکافته می‌شد و برای اطمینان از کمترین آزار حیوان، نمونه‌های خون به طور مستقیم از قلب حیوان گرفته می‌شد (۵ سی‌سی). سپس استخوان ران با ظرافت کامل بیرون آورده شد و در محلول فرمالین قرار داده شد. منطقه<sup>۱</sup> استخوان ( $BA/Cm^2$ )، تراکم مواد معدنی استخوان ( $BMD, g/cm^2$ ) و محتوای مواد معدنی

از آزمون K-S برای بررسی نرمال بودن داده‌ها و از آزمون آماری تی مستقل برای مقایسه بین گروهی استفاده شد. همچنین، سطح معناداری برای کلیه آزمون‌های آماری  $\alpha=0/05$  در نظر گرفته شد. برای تجزیه و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS16 و برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2007 استفاده شد.

### روش‌های آماری

جدول ۱ میانگین وزن رت‌ها در دو گروه را نشان می‌دهد، بین غذای دریافتی گروه‌های کنترل و تمرین تفاوت وجود نداشت، اما وزن گروه کنترل نسبت به وزن گروه تمرین افزایش بیشتری یافت.

### نتایج

جدول ۱ میانگین وزن رت‌ها در دو گروه را نشان می‌دهد، بین غذای دریافتی گروه‌های کنترل و تمرین تفاوت وجود نداشت، اما وزن گروه کنترل نسبت به وزن گروه تمرین افزایش بیشتری یافت.

جدول ۱. میانگین وزن رت‌ها (گرم) پیش و پس از تمرین و مقدار وزن اضافه شده بر وزن رت‌ها

گروه	پیش آزمون	پس آزمون	وزن اضافه شده
کنترل	۲۵۷±۱۳	۳۳۰±۲۱	۸۱±۱۶
تمرین	۲۴۷±۱۳	۳۰۴±۱۹	۶۳±۱۲

تغییرات حاصل از مداخله تمرینات تناوبی خیلی شدید در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج کاهش معنادار BMD و BMC گردن و تنه ران بر اثر تمرینات تناوبی خیلی شدید را نشان داد، در حالی که کاهش BMC تروکانتر معنادار نبود. مقدار BMD و BMC در استخوان ران به ترتیب در ناحیه تروکانتر، گردن و بخش میانه بود.

جدول ۲. تراکم استخوانی ( $g/cm^2$ ) و محتوای مواد استخوانی ( $g/cm^2$ ) در گروه‌های تمرین و کنترل

متغیر	ناحیه آناتومیکی	گروه		مقدار t	مقدار معناداری (ارزش P)
		کنترل	تمرین		
BMD	گردن ران	۶/۰۹±۰/۰۳	۵/۹۹±۰/۰۵	۴/۱۳۴	۰/۰۰۱
	تنه ران	۶/۰۲±۰/۰۳	۵/۸۹±۰/۰۲	۸/۸۷۲	۰/۰۰۰
	تروکانتر ران	۶/۸۴±۰/۲۵	۶/۵۰±۰/۳۴	۲/۳۱۲	۰/۰۳۷
BMC	گردن ران	۶/۰۸±۰/۰۳	۵/۹۸±۰/۰۷	۳/۱۳۶	۰/۰۰۷
	تنه ران	۶/۰۲±۰/۰۳	۵/۸۹±۰/۰۲	۸/۹۴۱	۰/۰۰۰
	تروکانتر ران	۶/۸۴±۰/۲۲	۶/۵۶±۰/۳۷	۱/۸۵۱	۰/۰۸۵

#### 1. Dual Energy X ray Absorptiometry

## بحث و نتیجه‌گیری

تا کنون پژوهشی با روش تمرینی HIIT بر مقادیر تراکم و محتوای مواد معدنی استخوان انجام نگرفته و براساس بررسی ما این اولین پژوهشی است که به بررسی تأثیر HIIT بر BMD و BMC استخوان پرداخته است. از این رو در بحث و نتیجه‌گیری به بررسی پژوهش‌های پرشدت و نه HIIT می‌پردازیم. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد، هشت هفته تمرین تناوبی خیلی شدید موجب کاهش معنادار تراکم و محتوای مواد معدنی در ناحیه گردن و تنه استخوان ران شد، درحالی‌که کاهش محتوای مواد معدنی تروکانتر معنادار نبود. این نتایج با یافته‌های هوانگ و همکاران (۲۰۰۸)، مک وی و همکاران (۲۰۱۰)، ارتم و همکاران (۲۰۰۸) همسو و با یافته‌های جو و همکاران (۲۰۰۳)، نوتومی و همکاران (۲۰۰۰) و ایواموتو و همکاران (۲۰۰۴) مغایر است. با بررسی دقیق این مطالعات علت تفاوت یافته‌های پژوهشی را می‌توان در عواملی مانند پروتکل تمرینی، جنسیت، سن، وزن، نژاد آزمودنی‌ها و روش آنالیز آزمایشگاهی جست‌وجو کرد. برای مثال جارونین و همکاران (۲۰۰۳) وجود اختلاف پاسخ استخوان به دویدن روی تردمیل وابسته به جنس را نشان دادند و بیان کردند که رت‌های ماده پاسخ استئوژنیک کمتری به افزایش بار مکانیکی در مقایسه با رت‌های نر دارند. همچنین گزارش کردند که بافت استخوان رت‌های نر در حال رشد پتانسیل زیادی در پاسخ به بار مکانیکی دارد. از این رو اعمال بار مکانیکی زیاد احتمال تغییرات محتوای مواد معدنی را در این گروه افزایش می‌دهد (۱۶). شدت فعالیت ورزشی می‌تواند یکی از علل مؤثر بر تراکم استخوان باشد. بررسی ینگ لینگ و همکاران و بری و کوهرت نیز این نتیجه را نشان داد. تمرین‌های پرشدت با توجه به اینکه نیازهای متابولیکی بسیار زیادی را در مدت زمان کوتاهی اعمال می‌کند، احتمالاً نیاز به منابع کلسیمی و پتاسیمی و Pi را افزایش می‌دهد و کاهش تراکم، ضخامت تراپکولار، ناحیه کورتیکال استخوان، به‌خصوص در گروه‌های در حال رشد را به‌همراه دارد (۶،۳۷). از سویی احتمال دارد برنامه‌های HIIT به‌ویژه بدون افزایش توانایی هوازی اولیه در آزمودنی‌ها با افزایش نیازهای متابولیکی و احتمالاً آسیب، به دفع کلسیم و مواد معدنی دیگر بینجامد، البته این ادعا به پژوهش‌های بیشتر نیاز دارد. گزارش شده است به‌طور کلی، دویدن و شنا با شدت متوسط آثار مثبتی بر توده استخوان و خواص مواد در مناطق تراپکولار و کورتیکال درشت‌نی و استخوان ران در رت در حال رشد و بالغ دارد (۲۱). ارتم و همکاران نشان دادند روزانه ۶۰ دقیقه فعالیت ورزشی پرشدت BMD را افزایش نداد (۲۱). احتمالاً شدت زیاد با بار تکراری از طریق دو سازوکار موجب کاهش خواص و تراکم استخوان می‌شود. ۱. تجمع ریزآسیب‌ها؛ ۲. ریزآسیب‌ها و استرین زیاد که ممکن است دلیل بی‌تعادلی

بازسازی استخوان و در نتیجه افزایش تعداد حفره‌ها و کاهش تراکم استخوان شود (۳۷). ایواموتو و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند ناحیه دیستال درشتنی بار مکانیکی بیشتری نسبت به پروگسیمال دریافت می‌کند، زیرا دورتر از توده بدنی قرار دارد و این قرارگیری دیستال نسبت به پروگسیمال بار بیشتری را تحمل می‌کند. علاوه بر این قطر استخوان درشتنی در ناحیه دیستال کمتر از پروگسیمال است، بنابراین مطابق با مفهوم سطح و فشار، فشار بیشتری را متحمل می‌شود و تراکم استخوان دیستال نسبت به پروگسیمال افزایش بیشتری خواهد یافت (۱۸). هاگیهارا و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که تمرینات با شدت متوسط افزایش تراکم استخوانی تراکولار متافیز و عدم تغییر تراکم استخوان کورتیکال متافیز را به همراه دارد (۹). نتایج پژوهش حاضر نشان داد احتمالاً علت تناقض بین نتایج تحقیق حاضر با این مطالعات تفاوت در ناحیه مورد اندازه‌گیری و سن آزمودنی‌ها باشد.

ارتم و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که مدت فعالیت ورزشی یکی از علل مؤثر بر تراکم استخوان است. آنها نشان دادند دو نوع فعالیت با شدت یکسان، با مدت زمان متفاوت نتایج متفاوتی بر تراکم استخوان دارند. فعالیت ۳۰ دقیقه‌ای موجب افزایش BMD و وزن بدن در رت‌های در حال رشد شد، در حالی که فعالیت ۶۰ دقیقه‌ای تأثیری بر این عوامل نداشت (۱۹). برای فعالیت‌های ورزشی شدید<sup>۱</sup> مدت فعالیت بیش از ۲۸ دقیقه برای ناحیه هیپ و بیش از ۳۲ دقیقه برای گردن ران افزایش BMD را به همراه خواهد داشت (۲۲). با این حال شاید آستانه‌ای برای تأثیر مدت فعالیت بر تراکم استخوان وجود داشته باشد و گذر از این آستانه آثار مطلوبی بر تراکم استخوان نداشته باشد.

هوانگ و همکاران نشان دادند وزن آزمودنی و جنسیت نقش مهمی در تراکم استخوان دارد. آنها گزارش کردند رت‌های ماده جوان با وزن یکسان یا بیشتر نسبت به گروه کنترل، BMD, BMC بالاتری داشتند. در حالی که رت‌های نر جوان BMD, BMC کمتر یا بدون تغییری همزمان با افزایش وزن بدن داشتند. به منظور حذف مداخله وزن بدن از رژیم غذایی یکسان استفاده کردند (۳۴). با وجود این محدودیت رژیم غذایی نمی‌تواند دلیل کاهش BMD, BMC باشد، بلکه آثار نامطلوبی بر خواص بیومکانیکی بافت استخوان خواهد داشت (۳). از آنجا که مقدار غذای دریافتی بین دو گروه کنترل شد، نمی‌توان گفت کاهش تراکم استخوان گروه HIIT ناشی از دریافت ناکافی غذاست. از طرفی بیشتر بودن BMD, BMC گروه کنترل ممکن است ناشی از وزن زیاد آنها باشد (۳۴).

## 1. Vigorous physical activity



تمرینات پرشدت از طریق چندین سازوکار بالقوه همانند ۱. افزایش پاراتورمون، ۲. سرکوب هورمون‌های جنسی و ۳. افزایش هورمون‌های استرسی و سایتوکین‌های التهابی می‌تواند موجب افزایش بازجذب استخوان شود. سرکوب هورمون تستوسترون در مردان به دنبال فعالیت ورزشی استقامتی نشان داده شده است. تمرین‌های پرشدت سطوح تستوسترون را کاهش می‌دهد. کاهش تستوسترون طول عمر فعالیت سلول‌های استئوکلاست را افزایش و طول عمر استئوبلاست را کاهش می‌دهد و به نتیجه خالص کاهش تراکم استخوان منجر می‌شود. همچنین این‌گونه فعالیت ورزشی، موجب افزایش کورتیزول و سایتوکین‌های التهابی (اینترلوکین-۶) می‌شود. کورتیزول و سایتوکین‌های التهابی محرک بازجذب استخوان به‌شمار می‌روند (۶).

نتیجه‌گیری نهایی و پیشنهادها: تمرینات تناوبی خیلی شدید به دلیل شدت بسیار زیاد، احتمالاً آثاری فراتر از آستانه تحریک استخوان‌سازی و میکرواسترین‌های بالایی اعمال می‌کنند که ممکن است دلیل آثار نامطلوب بر تراکم استخوان باشد. با توجه به اینکه تمرینات تناوبی خیلی شدید با کاهش تراکم استخوانی همراه است، پیشنهاد می‌شود، این تمرینات برای بهینه‌سازی تراکم استخوانی استفاده نشود یا اینکه رژیم غذایی غنی از کلسیم همراه با این تمرینات استفاده شود. با توجه به نتایج این پژوهش و این اصل که افزایش توان هوازی به باز یافت سریع‌تر سیستم بی‌هوازی، تولید انرژی و کاهش بار مضاعف بر منابع استخوانی به‌منظور باز یافت مجدد ذخایر انرژی پیشنهاد می‌شود، پیش از برنامه‌های HIIT حتماً توان هوازی به مقدار شایان توجهی افزایش یابد یا شیب شدت دوره‌های فزاینده کاهش یابد.

## منابع و مآخذ

۱. مک لارن، دان و مورتون، جیمز. (۲۰۱۲). "بیوشیمی ورزشی و سوخت‌وساز فعالیت ورزشی". ترجمه: عباسعلی گائینی (۱۳۹۱) چاپ اول، سمت.
2. Guadalupe-Grau A, Fuentes T, Guerra B, Jose A.L Calbet. (2009). Exercise and bone mass in adults. review article, Sports Med; 39 (6): 439-468.
3. Banu MJ, Orhii PB, Mejia W, McCarter RJ, Mosekilde L, Thomsen JS, Kalu DN. (1999). Analysis of the effects of growth hormone, voluntary exercise, and food restriction on diaphyseal bone in female F344 rats. Bone (NY); 25: 469-480.

4. Block JE, Friedlander AL, Brooks GA, Steiger P, Stubbs HA, Genant HK. (1989). Determinants of bone density among athletes engaged in weightbearing and non-weight-bearing activity. *J Appl Physiol*; 67: 1100–1105.
5. Chow JWM, Jagger CJ, Chambers TJ. (1993). Characterization of osteogenic response to mechanical stimulation in cancellous bone of rat caudal vertebrae. *Am J Physiol Endocrinol Metab*; 265: E340–E347.
6. Barry DW, Kohrt WM. (2008). BMD decreases over the course of a year in competitive male cyclists, *journal of bone and mineral research*; 23(4): 484-491.
7. Forwood M. (2001). Mechanical effects on the skeleton: are there clinical implications. *Osteoporos Int*; 12(1): 77–83.
8. Freindlander AL, Genant HK, Sadowsky S, Byl N N & Guler C C. (1995). A 2 year program of aerobic and weight training enhanced bone mineral density of young women. *J Bone Miner Res*; 10(4): 574-585.
9. Hagihara Y, Fukuda S, Goto S, Iida H, Yamazaki M & Moriya H. (2005). How many days per week should rats undergo running exercise to increase BMD? *J Bone Miner. Metab*; 23(4): 289-294.
10. Haram PM, Kemi OJ, Lee SJ, Bendheim MØ, Al-Share QY, Waldum HL, Gilligan. LJ, Koch. LG, Britton, SL, Najjar. SM, Wisløff U. (2009). Aerobic interval training vs. continuous moderate exercise in the metabolic syndrome of rats artificially selected for low aerobic capacity. *Cardiovasc Res*; 81(4):723-32.
11. Heinonen A, Oja P, Kannus P, Sievanen H, Manttari A, Vuori I. (1993). Bone mineral density of female athletes in different sports. *Bone Miner*; 23(1):1–14.
12. Høydal MA, Wisløff U, Kemi OJ, Ellingsen O. (2007). Running speed and maximal oxygen uptake in rats and mice: practical implications for exercise training. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*; 14(6):753-60.
13. Huang TH, Lin SC, Chang FL, Hsieh SS, Liu SH, Yang RS. (2003). Effects of different exercise modes on mineralization, structure, and biomechanical properties of growing bone. *J Appl Physiol*; 95(1):300–307.

14. Huang TH, Yang RS, Hsieh SS, Liu SH. (2000). Effects of caffeine and exercise on the development of bone: a densitometric and histomorphometric study in young Wistar rats. *Bone (NY)*; 30(1): 293–299
15. Iwamoto J, Sato Y, Takeda T, Matsumoto H. (2009). Role of sport and exercise in the maintenance of female bone health. *Bone Miner Metab*; 27(5):530–537.
16. Jarvinen TL, Kannus P, Pajamaki I, Vuohelainen T, Tuukkanen J, Jarvinen M, Sievanen H. (2003). Estrogen deposits extramineral into bones of female rats in puberty, but simultaneously seems to suppress the responsiveness of female skeleton to mechanical loading. *Bone*; 32(6): 642-651.
17. Joo YI, Sone T, Fukunaga M, Lim SG, Onodera S. (2003). Effects of endurance exercise on three-dimensional trabecular bone microarchitecture in young growing rats. *Bone*; 33(4):485-493.
18. Iwamoto I, Shimamura C, Takeda T, Abe H, Ichimura S, Toyama Y, Sato Y. (2004). Effects of treadmill exercise on bone mass, bone metabolism, and calciotropic hormones in young growing rats. *J Bone Miner Metab*; 22(1):26–31.
19. Ertem K, Karakoc Y, Duzova H, Kekilli E, Emre MH, Kilinc E, Yagmur C. (2008). Effects of different durations of treadmill training exercise on bone mineral density in growing rats. *Biology of Sport*; 25 (2):187-193.
20. Hart KJ, Shaw JM, Vajda E, Hegsted M, Miller SC. (2001). Swim-trained rats have greater bone mass, density, strength, and dynamics. *J Appl Physiol* 91(4): 1663–1668.
21. Kohrt WM., Bloomfield SA, Little KD, Nelson ME, Yingling VR. (2004). American college of sports medicine position stand: physical activity and bone health. *Med Sci.Sports Exercise*; 36(11):1985- 1996.
22. Gracia-Marco L, Moreno LA, Ortega FB, León F, Sioen I, Kafatos A, Martinez-Gomez D, Widhalm K, Castillo MJ, Vicente-Rodríguez G. (2011). Levels of physical activity that predict optimal bone mass in adolescents. *Am J Prev Med*; 40(6):599–607.

23. Myburgh KH, Bachrach LK, Lewis B, Kent K, Marcus R. (1993). Low bone mineral density at axial and appendicular sites in amenorrheic athletes. *Med.Sci. Sport Exerc*; 25(11):1197-1202.
24. Myburgh KH, Hutchins J, Fataar AB, Hough SF, Noakes TD. (1990). Low bone density is an etiologic factor for stress fracture in athletes. *Ann Intern Med*; 113(10): 754-759.
25. Nikander R, Sievänen H, Uusi-Rasi K, Heinonen A, Kannus P. (2006). Loading modalities and bone structures at nonweightbearing upper extremity and weight-bearing lower extremity: a pQCT study of adult female athletes. *Bone*; 39(4):886–894.
26. Nilsson M, Ohlsson C, Mellstrom D, Lorentzon M. (2009). Previous sport activity during childhood and adolescence is associated with increased cortical bone size in young adult men. *J Bone Miner Res*; 24(1):125–133.
27. Notami T, Lee SG, Okimoto N, Okazaki Y, Takamoto T, Nakamura T, Suzuki M. (2000). Effects of resistance exercise training on mass, strength, and turnover of bone in growing rats. *Eur J Appl Physiol*; 82(4):268-274.
28. Rozenberg S, Vandromme J, Ayata NB, Filippidis M, Kroll M. (1999). Osteoporosis management. *Int J Fertil Women Med*; 44(5): 241-249.
29. Scott JP, Sale C, Greeves JP, Casey A, Dutton J, Fraser WD. (2011). The role of exercise intensity in the bone metabolic response to an acute bout of weight-bearing exercise. *J Appl Physiol*; 110(2):423-32.
30. Strepnick LS. (2004). The frequency of bone disease. In: Mc Gowan JA, Raisz LG, Noonan AS, Elderkin AL (eds) *Bone health and osteoporosis. A report of the surgeon general. Office of the US Surgeon General, Washington, DC*, pp 68–87.
31. Stewart AD, Hannan J. (2000). Total and regional bone density in male runners, cyclists and controls. *Med Sci Sports Exerc*; 32(8): 1373–1377.
32. Taaffe DR, Snow-Harter C, Connolly DA, Robinson TL, Brown MD, Marcus R. (1995). Differential effects of swimming versus weight-bearing activity on bone mineral status of eumenorrheic athletes. *J Bone Miner Res*; 10(4):586–593.

33. Taaffe DR, Robinson TL, Snow CM, Marcus R. (1997). High impact exercise promotes bone gain in well-trained female athletes. *J Bone Miner Res*; 12(2):255–260.
34. Huang TH, Chang FL, Lin SC, Liu SH, Hsieh SS, Yang RS. (2008). Endurance treadmill running training benefits the biomaterial quality of bone in growing male Wistar rats. *J Bone Miner Metab*; 26(4):350–357
35. Turner CH, Robling AG. (2003). Designing exercise regimens to increase bone strength. *Exerc Sport Sci Rev*; 31(1): 45–50.
36. Turner CH, Forwood MR, Rho JY, Yoshikawa T. (1997). Mechanical loading thresholds for lamellar and woven bone formation. *J Bone Miner Res*; 9(1): 87–97.
37. Yingling VR, Davies S, Silva MJ. (2001). The effects of repetitive physiologic loading on bone turnover and mechanical properties in adult female and male rats. *Calcif tissue Int* ; 68:235–239.