

Effects of a Period of HIIT Exercises on Bone Mineral Density and Bone Mineral Content in Male Mature Rats

Mohammad Ghaderi^{1*}, Amir Letafatkar²

1. MS, Athletic Trainer, University of Kharazmi, Tehran, Iran
2. Assistant Professor, Sport Medicine, University of Kharazmi, Tehran, Iran  <https://orcid.org/0000-0002-5612-8340>

Received: 2017.September.15

Revised: 2017. December.21

Accepted: 2018.February.10

Abstract

Background and Aims: With regard to the importance of curing osteoporosis, the following study aims at investigating the effects of a period of HIIT exercises on BMD and BMC in male mature rats.

Materials and Methods: In the present study, 27 adult male Wistar rats, with an average weight of 190 ± 20 grams were used. Mice were divided into three groups with the same diet: high intensity interval training (HIIT) (n=9), continuous training (n=9), and control group (n=9). Then, 24 hours after six weeks of training sessions, and after using anesthesia, the rats were sacrificed. HIIT protocol was equivalent to an intensity of 95% to 100% of the maximum oxygen consumption. The first session of the continuous exercise was initiated with an intensity equal to 80% of the maximum consumed oxygen. After each training session, one minute was added to the time of the exercise and after each week, the speed was increased by one meter per second. The femurs of the animals were carefully extracted and placed in formalin solution. Evaluations of BMD and BMC were performed using DEXA method at the femoral neck site. After the exercise, in order to analyze the dates of one-way analysis of variance, the Scheffe' test was used with the significance level of 0.5.

Results: The results in BMD indicated a non-significant increase in the bone density of the HIIT group and also a non-significant decrease in the continuation training group compared with the control group. Also, in the HIIT group, there was a significant increase in BMC compared with the continuation group and also compared with the control group.

Conclusion: Considering that HIIT has led to an increase in BMC, it seems that this training method, after considering the scientific exercise principles (including age, sex, exercise records, access to good nutrition, etc.), can have a positive effect on the individuals exposed to the risk of osteoporosis.

Keywords: High intensity interval training (HIIT); Continuous exercises; Bone mineral content (BMC); Bone mineral density (BMD)

Cite this article as: Mohammad Ghaderi, Amir Letafatkar. Effects of a Period of HIIT Exercises on Bone Mineral Density (BMD) and Bone Mineral Content (BMC) in Male Mature Rats. J Rehab Med. 2018; 7(3): 236-243.

* **Corresponding Author:** MSc, Athletic Trainer, University of Kharazmi, Tehran. Iran.
Email: mohammad.esf1995@gmail.com

DOI: 10.22037/jrm.2018.111008.1693

تأثیر یک دوره تمرینات تناوبی خیلی شدید و تداومی بر تراکم و محتوای معدنی استخوان در رت‌های بالغ نر

محمد قادری^{۱*}، امیر لطافت‌کار^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آسیب‌شناسی ورزشی و امدادگری دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۲. عضو هیئت علمی گروه آسیب‌شناسی ورزشی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

* دریافت مقاله ۱۳۹۶/۰۶/۲۴ بازنگری مقاله ۱۳۹۶/۰۹/۲۱ پذیرش مقاله ۱۳۹۶/۱۱/۲۱ *

چکیده

مقدمه و اهداف

با توجه به اهمیت برطرف کردن پوکی استخوان هدف مطالعه حاضر بررسی تأثیر تمرینات تناوبی خیلی شدید و تداومی بر تراکم و محتوای معدنی استخوان در رت بالغ نر بود.

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر از ۲۷ رت بالغ نژاد ویستار با میانگین وزنی (190 ± 20) گرم استفاده شد. موش‌ها به سه گروه مساوی تمرینات تناوبی خیلی شدید ($n=9$)، تمرینات تداومی ($n=9$) و گروه کنترل ($n=9$) با رژیم غذایی یکسان تقسیم شدند. ۲۴ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی ۶ هفته‌ای، به دنبال بیهوشی، کشتار نمونه‌ها انجام شد. پروتکل تناوبی خیلی شدید معادل ۹۵ الی ۱۰۰ درصد بیشینه اکسیژن مصرفی بود. جلسه اول تمرین تداومی با شدتی معادل ۸۰ درصد بیشینه اکسیژن مصرفی شروع و هر جلسه یک دقیقه به زمان تمرین و هر هفته یک متر بر ثانیه بر سرعت افزوده می‌شد. استخوان ران با دقت بیرون آورده شده و در محلول فرمالین قرار گرفت. ارزیابی تراکم استخوان و محتوای معدنی استخوان با روش دگزا در گردن فمور انجام شد. پس از تمرین برای تحلیل داده‌های آنالیز واریانس یک‌طرفه از آزمون تعقیبی شفه در سطح معناداری ۰/۵ استفاده گردید.

یافته‌ها

در عامل تراکم استخوان افزایش غیرمعنادار گروه تناوبی خیلی شدید و همچنین کاهش غیرمعنادار گروه تمرینات تداومی نسبت به گروه کنترل و در گروه تناوبی خیلی شدید افزایش معنادار محتوای معدنی استخوان نسبت به گروه تداومی و کنترل مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه تمرینات تناوبی خیلی شدید افزایش محتوای معدنی استخوانی را به همراه داشته‌است؛ لذا به نظر می‌رسد این روش تمرینی با رعایت دقیق اصول علمی تمرینی (از قبیل سن، جنس، سابقه فعالیت، دسترسی مناسب به مواد غذایی و غیره) بتواند تأثیر مطلوبی بر افراد در معرض پوکی استخوان داشته باشد.

واژگان کلیدی

تمرینات تناوبی خیلی شدید؛ تمرینات تداومی؛ محتوای معدنی استخوان؛ تراکم معدنی استخوانی

نویسنده مسئول: محمد قادری، دانشجوی کارشناسی ارشد آسیب‌شناسی ورزشی و امدادگری دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

آدرس الکترونیکی: mohammad.esf1995@gmail.com

مقدمه و اهداف

افزایش حالت شکنندگی استخوان و در نتیجه افزایش خطر شکستگی استخوان که به سبب کمبود توده استخوانی و تحلیل ساختارهای ریزاستخوان است، پوکی استخوان نامیده می‌شود.^[1] پوکی استخوان سبب افزایش صدمات زانو و مچ به دلیل شکنندگی‌ها و اسپرین می‌شود.^[2] این عوارض به دنبال افزایش فشار بر لیگامان‌ها و مینیسک‌ها طی بروز ژنوالگوس ثانویه حاصله از کاهش ثبات مفاصل اندام تحتانی رخ می‌دهند. ویژگی بارز پوکی استخوان، کاهش استحکام استخوان و افزایش خطر شکستگی استخوان‌های ران، ستون فقرات و مچ دست است. شکستگی‌های استخوانی وابسته به پوکی استخوانی سبب بالاتر رفتن نرخ مرگ و میر، ابتلاء به امراض، دردهای مزمن، هزینه‌های درمانی سیستم بهداشت کشورها و کاهش کیفیت زندگی در جامعه می‌شوند.^[3] تراکم مواد معدنی استخوانی (BMD)، محتوای معدنی استخوان (BMC) و اندازه استخوان به عنوان نشانگرهای مهم معین‌کننده این شکنندگی‌ها ذکر شده‌اند.^[4] این بیماری هم‌اکنون یکی از مشکلات بهداشت عمومی در دنیا محسوب می‌شود، تا حدی که نرخ شکنندگی استخوان در اثر کاهش تراکم استخوان بیش از مجموعه رخدادهای سرطان، سکته مغزی و حمله‌های قلبی به ویژه در زنان است.^[4] بر اساس آمارها، ۳۰ الی ۵۰ درصد زنان و ۱۵ الی ۳۰ درصد از مردان در طول عمر خود شکنندگی وابسته به پوکی استخوان را تجربه خواهند کرد.^[5] حدود ۲۰۰ میلیون زن در جهان از پوکی استخوان رنج می‌برند و افزون بر ۷۰ درصد زنان و ۵۰ درصد مردان بالای ۵۰ سال در ایران به پوکی استخوان مبتلا هستند.^[6] به طور مثال، برای زنان ۵۰ ساله در کشورهای در حال توسعه، احتمال رخ دادن شکنندگی وابسته به پوکی استخوان ۴۰ درصد افزایش خواهد داشت. در این افراد تنها ۲۰ درصد افزایش در احتمال بروز شکنندگی در ران گزارش شده‌است. افزایش نرخ مرگ و میر وابسته به شکنندگی ران ۲۰ درصد تخمین زده شده‌است.^[3]

یکی از بهترین راهبردهای پیشگیری از پوکی استخوان، تمرکز بر حداکثرسازی تجمع توده استخوانی اولیه در دوران رشد و بلوغ و حداقل-سازی کاهش آن در دوران بعدی زندگی است.^[۷، ۸] در سال‌های اخیر، تمرکز بر نقش تغذیه و پوکی استخوان به جهت پیشگیری از رخداد این مشکل افزایش یافته است. بازه این تمرکز بر منابع تغذیه‌ای از کلسیم و ویتامین D تا ویتامین K و B و منگنز و پتاسیم در تغییر است. حتی در مطالعاتی مصرف مشروبات الکلی نیز مورد توجه قرار گرفته‌اند. فعالیت ورزشی در دوران کودکی و جوانی ممکن است یکی از مهمترین عوامل تعیین‌کننده اوج توده استخوان باشد.^[۸] از طرفی دیگر، بارهای مکانیکی اعمال‌شده از طریق انقباض‌های عضلانی و نیروی جاذبه، می‌توانند اثر مثبت بر اندازه، شکل و ساختار داخلی استخوان داشته باشند.^[۹] تراکم مواد معدنی استخوانی تحت تأثیر عواملی از قبیل مدت زمان تمرین، شدت تمرین و فعالیت‌های تحمل وزنی قرار می‌گیرد. بر اساس پژوهش‌ها بین تراکم استخوان و مسافت طی‌شده در تمرین استقامتی رابطه معکوس وجود دارد، در حالی که شدت زیاد تمرین بر تراکم استخوان اثر مثبت دارد.^[۱۰] فعالیت‌های ورزشی پرفشار و همراه با تحمل وزن تراکم استخوانی بیشتری نسبت به فعالیت‌های ورزشی با فشار کمتر و بدون تحمل وزن ایجاد می‌کند.^[۱۱-۱۲] پریدن سبب می‌شود نیروی واکنش زمین ۴-۷ برابر وزن بدن اعمال کند، در حالی که دویدن تنها ۰/۷ تا ۰/۸ وزن بدن نیروی واکنش زمین تولید می‌کند. فعالیت ورزشی استقامتی با شدت متوسط تا زیاد، تراکم و قدرت استخوان در هر دو گونه حیوان و انسان را افزایش می‌دهد.^[۱۳] فعالیت ورزشی مقاومتی کوتاه‌مدت نوسازی استخوان را افزایش می‌دهد، اما تأثیری بر تراکم استخوان ندارد، در حالی که تمرینات بلندمدت تراکم و قدرت استخوان را افزایش می‌دهد.^[۱۴] ارتن و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که مدت و شدت فعالیت ورزشی از علل مؤثر بر تراکم استخوان هستند.^[۱۵] 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؛ در حالی که فعالیت ۶۰ دقیقه‌ای تأثیری بر این عوامل نداشته‌است. مطالعات نشان داده‌اند که بارگذاری فشار بر روی استخوان‌های فمور و تیبیا در موش‌ها بیشتر است و تغییرات در این دو استخوان نمایش بیشتری دارند.^[۱۶]

اثر تمرینات تناوبی بر قدرت استخوان‌ها بارها اثبات شده است، اما بعضی از تحقیقات مانند 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 (BMC) و شاخص-های استخوانی رت‌های نر در حال رشد نداشته است.^[۱۷] اما احتمالاً با تغییر در شدت تمرین بتوان تأثیرگذاری تمرینات تناوبی را بر تراکم استخوان اثبات کرد.

تمرینات تناوبی خیلی شدید (HIIT)، شامل نوسانات نزدیک به بیشینه یا حتی فوق بیشینه همراه با فعالیت‌های کم‌شدت و یا حتی استراحت مطلق است که احتمالاً به علت داشتن تناوب و وجود شدت بالا این نوع تمرین، می‌تواند سبب افزایش تراکم استخوان شود که در این زمینه تحقیقات اندکی صورت پذیرفته است. از طرفی دیگر، عدم وجود تحقیقی مبنی بر مقایسه تمرینات HIIT با دیگر تمرینات و تأثیر آن بر تراکم استخوان، ما را بر آن داشت تا تحقیقی با موضوع تأثیر یک دوره تمرینات HIIT و تناوبی بر تراکم و محتوای استخوانی تعریف نماییم.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر ۲۷ سر موش نر از نژاد ویستار با میانگین وزنی 190 ± 20 گرم و ۶۳ روزه (۹ هفته) از انستیتو رازی تهیه شدند. حیوانات پس از انتقال به آزمایشگاه در چرخه روشنایی تاریکی ۱۲:۱۲ (شروع روشنایی ۸ عصر)، دما (22 ± 4 سانتی‌گراد) و رطوبت (حدود 55 ± 4 درصد) نگهداری شدند. در طول دوره تحقیق غذا و آب به صورت آزاد در دسترس بود. هر حیوان به یک قفس با ابعاد $20 \times 59 \times 38$ سانتی-متر منتقل شده و طی هفته اول، آشنایی با محیط آزمایشگاه در نظر گرفته شد. هفته بعدی آشنایی با وسایل تمرینی و نوارگردان صورت گرفت، سپس موش‌ها به گروه‌های HIIT، تمرین تداومی و کنترل تقسیم‌بندی شدند. در ابتدای پژوهش و نیز هر هفته در یک زمان مشخص قبل از اجرای تمرینات وزن موش‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت یک صدم گرم اندازه‌گیری شد. پروتکل تمرینی با شرایط معین-شده بر روی موش‌ها اجرا و ۲۴ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی، به دنبال بیهوشی حیوان (به وسیله تزریق درونصفاقی) فرآیند کشتار نمونه‌ها بر اساس دستورالعمل کمیته اخلاق حیوانات انجام شد. استخوان‌های ران سمت راست حیوانات کاملاً با دقت بیرون آورده شده و در محلول فرمالین قرار گرفت. ارزیابی محتوای مواد معدنی و تراکم استخوان‌ها با روش Dual-energy X-ray (DEXA) Absorptiometry در محل گردن فمور انجام شد. در این روش، منبع انرژی (اشعه ایکس) است که از استخوان‌ها و بافت‌های نرم عبور داده می‌شود به وسیله کامپیوتر مقدار متفاوت بین اشعه ورودی و خروجی محاسبه می‌شود. دقت دستگاه نسبت به سایر روش‌های سنجش بسیار زیادتر (تا ۹۹ درصد) است.

پروتکل‌های تمرین

جهت اجرای پژوهش پروتکل‌های تمرین تداومی و تناوبی خیلی شدید به شرح ذیل اجرا شدند. قبل از ورود به مرحله اصلی تمرینات فعالیت‌های گرم کردن و بعد از اتمام تمرینات اصلی فعالیت سرد کردن موش‌ها با سرعت ۱۶ متر بر دقیقه با مدت زمان ۳ دقیقه به کار گرفته شد. این سرعت بر حسب مشاهدات انجام‌شده شدتی معادل ۶۸ درصد مقدار بیشینه اکسیژن مصرفی را به همراه داشته است. پروتکل تناوبی خیلی شدید شامل یک پروتکل تعدیل‌شده بر روی نوارگردان بود که ۵ جلسه در هفته و در طول مدت ۶ هفته انجام شد که شدتی معادل ۹۵ الی ۱۰۰ درصد بیشینه اکسیژن مصرفی را سبب می‌شد. قبل از آغاز پروتکل ورزشی موش‌ها در هفته اول (۵ جلسه) به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰ متر بر دقیقه با نوارگردان آشنا شدند. ساعت اجرای تمرین در تمام روزها ثابت بود و از ساعت ۹ صبح آغاز می‌گردید. موش‌های گروه تمرین HIIT در هفته اول ۲ تناوب با سرعت ۳۸ متر بر دقیقه انجام دادند. جهت رعایت اصل اضافه بار تمرینی با گذشت هر هفته، یک متر بر دقیقه بر سرعت و یک تناوب به تمرین افزوده می‌شد؛ به طوری که در هفته پنجم و ششم، تمرین با ۶ تناوب و سرعت ۴۲ متر بر دقیقه (بیش از ۹۵ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی) ادامه یافت. بین تمامی تناوب‌ها استراحت فعال ۱ دقیقه‌ای با سرعت ۱۶ متر بر دقیقه (۶۸ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی) وجود داشت.

جلسه اول تمرین تداومی نیز با سرعت ۲۳ متر بر دقیقه و به مدت ۲۲ دقیقه انجام شد و شدتی معادل ۸۰ درصد بیشینه اکسیژن مصرفی را سبب می‌شد. سپس در هر جلسه یک دقیقه به زمان تمرین و هر هفته نیز یک متر بر ثانیه بر سرعت نوارگردان افزوده می‌شد. در نهایت جلسات تمرینی هفته‌های پنجم و ششم با سرعت ۲۷ متر بر دقیقه و به مدت ۴۲ دقیقه انجام شد. حیوانات به وسیله شوکر برقی تعبیه‌شده در قسمت خلفی تردمیل، جهت اجرای تمرینات تحریک می‌شدند. گروه کنترل تنها در معرض حرکات روزانه قرار داشتند و محدودیتی در مسیر معمولی نداشتند.

تجزیه و تحلیل داده‌های تحقیق با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS ۲۳ انجام شد. برای بررسی اختلاف معناداری در بین سه گروه از آزمون آنالیز واریانس یک‌سویه استفاده شد. در صورت وجود معناداری از آزمون تعقیبی شفه جهت تعیین محل معناداری داده‌ها استفاده شد. بررسی معناداری نیز در سطح عوامل BMD و BMC صورت پذیرفت، همچنین سطح معناداری نیز $P < 0.05$ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

جدول ۱: تحلیل واریانس یک‌راهه برای مقایسه مقدار BMD (g/cm^2) در سه گروه تمرینات تداومی، HIIT و گروه کنترل

| گروه | میانگین | انحراف استاندارد | F | P-value |
|--------|---------|------------------|-------|------------|
| تداومی | ۰/۱۱۲۳ | ۰/۰۰۰۴۲ | | |
| HIIT | ۰/۱۱۳۷ | ۰/۰۰۱۵۷ | ۳/۴۰۳ | $p > 0.05$ |
| کنترل | ۰/۱۱۲۵ | ۰/۰۰۱۳۷ | | |

بین گروه‌های تداومی، HIIT و کنترل در عامل BMD تفاوت معناداری مشاهده نشد.

جدول ۲: تحلیل واریانس یکراهه برای مقایسه مقدار BMC (g/cm^2) در سه گروه تمرینات تداومی، HIIT و گروه کنترل

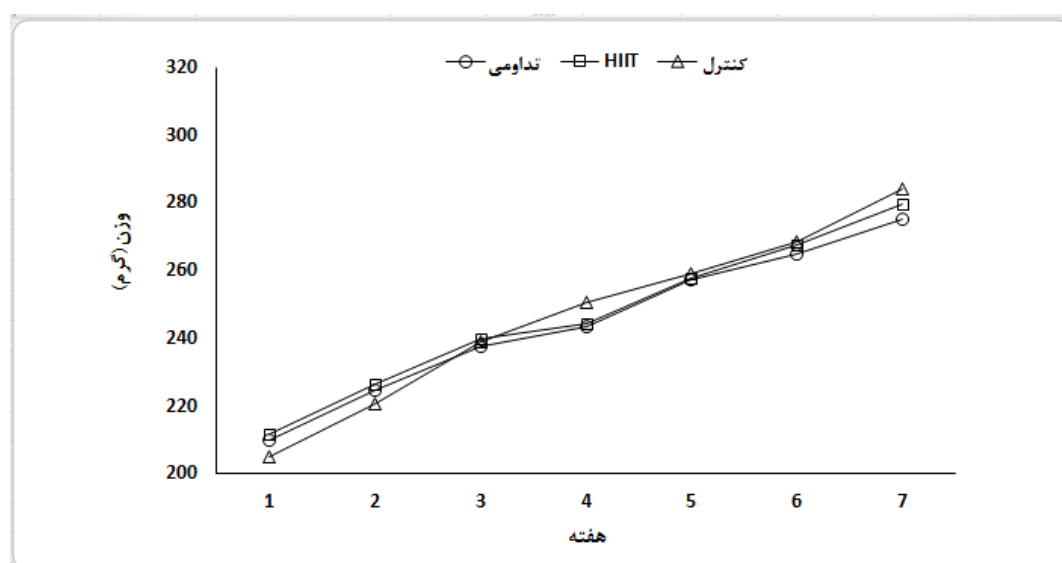
| گروه | میانگین | انحراف استاندارد | F | P-value |
|--------|---------|------------------|--------|------------|
| تداومی | ۰/۱۱۶۷ | ۰/۰۱۸۰۴ | | |
| HIIT | ۰/۱۶۴۰ | ۰/۰۰۹۷۲ | ۵۶/۷۴۵ | $p < ۰/۰۵$ |
| کنترل | ۰/۱۰۴۲ | ۰/۰۰۷۳۶ | | |

بین گروه‌های تداومی، HIIT و کنترل در عامل BMC تفاوت معنادار وجود دارد.

جدول ۳: نتایج تحلیل تعقیبی شفه برای عامل BMC

| گروه | گروه | تفاوت میانگین | P |
|--------|--------|---------------|-------|
| کنترل | HIIT | -۰/۰۵۹۸ | ۰/۰۰۰ |
| تداومی | HIIT | -۰/۰۱۲۴۵ | ۰/۱۳ |
| HIIT | تداومی | -۰/۰۴۷۳ | ۰/۰۰۰ |

در عامل BMC تفاوت معناداری بین گروه HIIT و گروه کنترل مشاهده می‌شود.



نمودار ۱: تغییرات وزنی موش‌ها در طول دوره پژوهش (هفته اول سازگاری و ۶ هفته تمرین)

تغییرات حاصل از مداخله تمرینات تناوبی خیلی شدید و تداومی در جداول ۱ الی ۳ ارائه شده است. نتایج در عامل تراکم استخوانی (BMD) حاکی از افزایش غیرمعنادار تراکم استخوانی موش‌های گروه HIIT و همچنین کاهش غیرمعنادار گروه تمرینات تداومی نسبت به گروه کنترل بوده است. به علاوه، محققین در گروه HIIT شاهد افزایش معنادار عامل محتوای مواد معدنی (BMC) نسبت به گروه تداومی و کنترل بودند، البته در گروه تمرینات تداومی نیز این عامل نسبت به گروه کنترل افزایش داشته است، اما این تغییرات معنادار نبوده‌اند.

نمودار شماره ۱ میانگین وزن رت‌ها در سه گروه را نشان می‌دهد که با وجود عدم تفاوت بین غذای دریافتی گروه‌های کنترل و تمرینی وزن گروه کنترل نسبت به دو گروه دیگر تداومی و HIIT افزایش بیشتری یافته است و همچنین گروه HIIT افزایش بیشتری نسبت به تداومی داشته است.

متن مقاله در مطالعه حاضر، مقایسه دو روش تمرینات تداومی و HIIT که دو سبک تمرینی رایج در بین آزمودنی‌ها هستند را با دیدگاه تعیین نرخ تأثیرگذاری بالاتر در موش‌ها به عنوان شبیه‌ترین پستاندار آزمایشگاهی به انسان مورد سنجش قرار گرفت. مطالعات پیشین به بررسی جداگانه هر یک از دو گروه تمرینی اجرا شده در پژوهش حاضر، پرداخته‌اند. جالب توجه است که مطالعات زیادی در زمینه تمرینات شدید وجود دارد، اما مطالعات انگشت‌شماری در مورد تمرینات HIIT یافت شد. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد ۶ هفته تمرین تناوبی خیلی شدید موجب افزایش معنادر BMC در موش‌ها شده است. این یافته‌ها با مطالعه افوسی و همکاران (۱۳۹۴) که تنها مطالعه یافته‌شده مشابه در این مورد بوده مغایر است، اما با مطالعه ارم (۲۰۰۴) و همکاران و مطالعه ایموموتو و همکاران (۲۰۰۴) هم‌راستا است. افوسی نیز به دلیل نبود تحقیق‌های مشابه از مطالعات تمرینات شدید استفاده کرده است. با این وجود، مطالعات ذکر شده توسط افوسی مشکلات اساسی در روش پژوهش خود داشته‌اند، چرا که عوامل اصلی تفاوت در یافته‌های پژوهشی را می‌توان عواملی مانند پروتکل تمرینی، جنسیت، سن، وزن، شرایط نگهداری در آزمایشگاه، نژاد آزمودنی‌ها و روش آنالیز آزمایشگاهی ذکر کرد. مقالات موجود در مورد تمرینات شدید در عواملی غیر از پروتکل تمرینی نیز با مطالعه حاضر تفاوت دارند. در نتیجه در صورت بحث بر اساس آن مطالعات احتمال خطا در علت مغایرت‌ها و حتی مشابهت‌ها به دلیل تعدد عوامل مداخله‌گر بیشتر می‌شود؛ لذا از پرداختن به بحث در مورد BMC بر پایه یافته‌های مطالعات تمرینات شدید خودداری می‌نماییم.

در مورد مغایرت نتایج تحقیق حاضر و تحقیق افوسی تفاوت در بازه‌های اعمال تمرین-استراحت و همچنین طول مدت اجرای پژوهش (۶ هفته در مقابل ۸ هفته) بوده است. با علم به این که نقش اصلی تمرین، تحریک بافت‌ها، جهت سازگاری موجودات در پاسخ به نیروهای موجود بر پایه ایجاد تخریب‌های ریز در بافت هدف است، می‌توان ذکر کرد که در تمرینات HIIT که افوسی ایجاد کرده بود، نرخ تخریب بسیار بالاتر از نرخ بازسازی بافت در زمان‌های استراحت حیوانات بوده است. از مقایسه بازه‌های زمانی و تقابل دو دقیقه در مقابل چهار دقیقه در این دو مطالعه می‌توان اظهار داشت، بازه‌های زمانی برای ایجاد پاسخ مناسب (حداکثر نتیجه در کوتاهترین زمان ممکن) بافت استخوانی حدوداً دو دقیقه با رعایت نسبت یک به یک و یا در نهایت، نسبت دو (برای تمرین) به یک (برای استراحت) است. جهت ابراز نظر قطعی در مورد طول دوره تمرینی به مطالعات بیشتری نیازمند است، اما با این وجود یافته‌های مطالعه ایموموتو و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد هر چه زمان اجرای تمرینات از یک سبک طولانی‌تر باشد، تأثیرات مثبت آن سبک تمرینی را کمتر می‌کند. البته باید توجه کرد که انتخاب حداقل طول دوره اجرای تمرین با رعایت اصول سازگاری در بدن هم‌خوانی داشته باشد. در نتیجه تمرین با طول مدت ۶ هفته می‌تواند تأثیرات مثبت بیشتری نسبت به تمرینات ۸ هفته‌ای بر بافت استخوانی ایجاد کند.

هوانگ و همکاران نشان دادند وزن آزمودنی در کیفیت بافت استخوانی موثر است. به منظور حذف مداخله وزن بدن در این تحقیق از رژیم غذایی یکسان استفاده شده بود. با این وجود، محدودیت رژیم غذایی نمی‌تواند دلیل تغییرات BMC, BMD باشد، بلکه تأثیر الگوهای بیومکانیکی بر بافت استخوانی و بازسازی می‌تواند دلیل قانع‌کننده‌ای باشد. طبق نظر هوانگ حتی می‌توان ادعا کرد بخشی از مقدار به دست آمده از BMC و BMD در گروه کنترل ممکن است ناشی از وزن زیادتر آنها باشد، اما با وجود وزن کمتر گروه‌های مداخله، همچنان شاهد بهبود نسبی در عوامل مورد مطالعه را در مقایسه با گروه کنترل هستیم. البته باید در نظر گرفت که وزن کمتر سبب ترشح بیشتر هورمون تستوسترون می‌شود و همان‌طور که ذکر شد، عاملی مثبت بر کیفیت بافت استخوانی است، اما دلایل بالاتر بودن مقدار محتوای معدنی استخوان و نیز تراکم آن در گروه HIIT نسبت به سایر گروه‌ها از دو جنبه بیومکانیکی و فیزیولوژیکی قابل بحث است. نخست اینکه شدت بالای تمرینات HIIT نیروهای درونی و خارجی شدیدی را پدید می‌آورد. پاسخ بافت به این نیروها، فرآیند سازگاری و در نهایت بهبود وضعیت کلی استخوان را سبب می‌شود. نیروهای داخلی شامل کشش‌های پدید آمده در تاندون با شدت بالا است که به تبع آن در پیوست متصل به تاندون نیز نیروی بالایی منتقل می‌شود. علاوه بر این نیروها، نیروهای خارجی شامل نیروی وزن و نیروی عکس‌العمل زمین نیز به استخوان وارد می‌شوند که استخوان باید مقابل این نیروهای فزاینده (نیروی داخلی پدید آمده جهت مقابله با نیروهای خارجی و همچنین نیروهای داخلی جهت تولید و ادامه دادن حرکت) نیز استحکام خود را حفظ کند. در این مرحله تحریک مناسب بافت اتفاق افتاده است و بدن باید سلول‌ها و بافت تخریب‌شده را در مرحله ریکاوری بازسازی کند. همچنین بدن جهت کمتر شدن فشار حاصل از تمرین، دستور آغاز فرآیند بالا بردن خصوصیات بافتی را نیز ارسال کند.

ادامه فرآیند تأثیرگذاری تمرین با پیگیری فاز ریکاوری (در سطح فیزیولوژی) ممکن می‌شود. در فاز ریکاوری شرایط قلبی بهبود یافته به دلیل تمرینات HIIT سبب خون‌رسانی بهتر، تغذیه بهتر و اکسیژن‌رسانی بیشتری به همه بافت‌های بدن (به‌خصوص بافت استخوانی) می‌شود. همچنین با وجود نقش مهم هورمون تستوسترون و افزایش مقدار این هورمون در خون طی تمرینات روش HIIT، عملیات ریکاوری سرعت بیشتر و نگهداری تغییرات دوره ریکاوری دوام بیشتری خواهد داشت. این رخدادها در سبک تمرینات تداومی و هوایی کمتر گزارش شده و تحریکات در بافت نیز در گروه تداومی بسیار کمتر بوده است^[۱۶]؛ لذا منطقی است که نتایج به دست آمده از گروه

تداومی شدت کمتری نسبت به گروه HIIT داشته باشد. در واقع ورزش یک فعالیت خستگی‌آور است و هنگامی که با شدتی بالاتر از حد توان بدن انجام شود، سبب بیش‌تمرینی خواهد شد؛ در این حالت فرد در افزایش تمرین ناتوان خواهد ماند.^[۱۸] به محض رخ دادن بیش‌تمرینی، همه فعالیت‌های فیزیولوژیکی از جمله رهاسازی هورمون‌ها با تأثیر مثبت (مانند هورمون تستوسترون، هورمون رشد و غیره) کاهش و رهاسازی هورمون‌ها با تأثیرات منفی (مانند کورتیزول) افزایش پیدا می‌کنند. در مجموع به نظر می‌رسد اگر مانند مطالعه افوسی علاوه بر بازهای زمانی، طول دوره اجرای پروتکل تمرینی نیز نامناسب انتخاب شود، سبک تمرینی HIIT نه تنها مثبت نخواهد بود، بلکه به صورت عاملی منفی در تغییر مقدار محتوای معدنی استخوان شرکت خواهد کرد.

تغییرات عامل BMD در گروه HIIT با وجود مثبت بودن تغییرات معنادار نبوده، اما در گروه تمرینات تداومی شاهد تغییرات منفی اما غیرمعنادار بوده‌ایم. دلایل این رخداد را در فرمول به دست آوردن BMD می‌توان جست‌وجو کرد. با توجه به اینکه این فرمول به جهت استاندارد کردن BMC طراحی شده است و مخرج آن در مراحل آزمایشگاهی عدد ثابتی نیست؛ در نتیجه معناداری BMC و معنادار نبودن BMDها به طور ملموسی منطقی خواهد بود، اما این نتایج نشان می‌دهند که اجرای تمرینات تداومی با وجود افزایش محتوای معدنی در سطح معینی از بافت، در حالت استاندارد شده، باعث افزایش نرخ تخریب بافت بوده است.

در گروه تمرینات تداومی نتایج تحقیق با مطالعه اسمیت (۲۰۰۸) و بری و کاهرت (۲۰۰۸) هم‌راستا بوده است.^[۲۰، ۱۹] طبق اصول ذکر شده در بالا، تأثیرگذاری روش تمرینی تداومی در عوامل بیومکانیکی-فیروپولوژیکی، در نهایت این عامل تغییرات متغییر BMD را به صورت غیرمعنادار منفی کرده است. عمده‌ترین موارد تأثیر در این گروه می‌تواند وقوع اتفاقات زنجیره‌ای باشد که سبب افزایش زیاد نرخ تخریب و بازجذب بافت استخوانی نسبت به بازسازی در بافت شده است.

نتیجه‌گیری

تمرینات HIIT دارای نتایج بهتری نسبت به تمرینات تداومی در حصول کیفیت بهتر بافت استخوانی بوده است. این روش تمرینی مانند هر روش تمرینی دیگری در صورت انتخاب نادرست بازه‌های تمرینی، طول مدت تمرین، شدت تمرین و روند اضافه بار تمرینی سبب وقوع بیش‌تمرینی می‌شود. با این حال اثرگذاری این سبک تمرینی از سایر روش‌های شناخته‌شده بیشتر است و در زمان کوتاه‌تری افراد را به نتیجه می‌رساند. با توجه به اینکه تمرینات تناوبی خیلی شدید افزایش محتوای معدنی استخوانی را به همراه داشته‌است؛ لذا پیشنهاد می‌شود این روش تمرینی با رعایت دقیق اصول علمی تمرینی (از قبیل سن، جنس، سابقه فعالیت، دسترسی مناسب به مواد غذایی و غیره) برای پیشگیری در افراد در معرض خطر پوکی استخوان و نیز با انتخاب بازه‌های متناسب برای افراد دچار پوکی استخوان جهت بهبود شرایط فرد ارائه گردد و زیر نظر افراد آموزش دیده به اجرای آنها بپردازند.

تشکر و قدردانی

تقدیر و تشکر از دکتر شاهین انصاری، بیمارستان انصاری نارمک تهران و دکتر ایوب بابایی که کمال مساعدت و همکاری را برای انجام تحقیق حاضر مبذول فرمودند.

منابع

1. Kanis JA, Melton LJ, Christiansen C, Johnston CC, Khaltav N. The diagnosis of osteoporosis. *Journal of bone and mineral research*. 1994;9(8):1137-41.
2. Court-Brown CM, McBirnie J, Wilson G. Adult ankle fractures—an increasing problem? *Acta orthopaedica Scandinavica*. 1998;69(1):43-7
3. Howe TE, Shea B, Dawson LJ, Downie F, Murray A, Ross C, et al. Exercise for preventing and treating osteoporosis in postmenopausal women. *The Cochrane Library*. 2011.
4. Lane NE. Epidemiology, etiology, and diagnosis of osteoporosis. *American journal of obstetrics and gynecology*. 2006;194(2):S3-S11.
5. Nikander R, Sievänen H, Heinonen A, Daly RM, Uusi-Rasi K, Kannus P. Targeted exercise against osteoporosis: a systematic review and meta-analysis for optimising bone strength throughout life. *BMC medicine*. 2010;8
6. Afousi Alireza, Chivaneh Siroos, Ga'ini Abbasali, Javidi Mohsen, Fallahi Ali Asghar. Extremely useful or harmful periodic exercises: An examination of changes in bone density after a period of intense periodic exercise program in adult male Wistar rats.[in persian]
7. Rozenberg S, Vandromme J, Ayata NB, Filippidis M, Kroll M. Osteoporosis management. *Int J Fertil Women Med*. 1999;44(5):241-49.
8. Iwamoto J, Sato Y, Takeda T, Matsumoto H. Role of sport and exercise in the maintenance of female bone health. *Bone Miner Metab*. 2009;27(5):530-37.
9. MF. Mechanical effects on the skeleton: are there clinical implications. *Osteoporos Int*. 2001;12(1):77-83.

10. Huang TH, Chang FL, Lin SC, Liu SH, Hsieh SS, Yang RS. Endurance treadmill running training benefits the biomaterial quality of bone in growing male Wistar rats. *J Bone Miner Metab.* 2008;26(4):350-57.
11. Stewart AD, J. H. Total and regional bone density in male runners, cyclists and controls. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(8):1373-7.
12. Taaffe DR, Robinson TL, Snow CM, Marcus R. High impact exercise promotes bone gain in well-trained female athletes. *J Bone Miner Res.* 1997;12(2):255-60.
13. Joo YI, Sone T, Fukunaga M, Lim SG, Onodera S. Effects of endurance exercise on three-dimensional trabecular bone microarchitecture in young growing rats. *Bone.* 2003;33(4):485-93.
14. Notami T, Lee SG, Okimoto N, Okazaki Y, Takamoto T, Nakamura T, et al. Effects of resistance exercise training on mass, strength, and turnover of bone in growing rats. *Eur J Appl Physiol.* 2000;82(4):268-74.
15. New SA, Robins SP, Campbell MK, Martin JC, Garton MJ, Bolton-Smith C, et al. Dietary influences on bone mass and bone metabolism: further evidence of a positive link between fruit and vegetable consumption and bone health? *The American journal of clinical nutrition.* 2000;71(1):142-51.
16. Iwamoto J, Shimamura C, Takeda T, Abe H, Ichimura S, Sato Y, et al. Effects of treadmill exercise on bone mass, bone metabolism, and calciotropic hormones in young growing rats. *Journal of bone and mineral metabolism.* 2004;22(1):26-31
17. Huang TH, Chang FL, Lin SC, Liu SH, Hsieh SS, Yang RS. Endurance treadmill running training benefits the biomaterial quality of bone in growing male Wistar rats. *J Bone Miner Metab.* 2008;26(4):350-57.
18. Bell LM, Ingle L. Psycho-physiological markers of overreaching and overtraining in endurance sports: a review of the evidence. *Medicina Sportiva.* 2013;17(2):81-97.
19. Barry DW, Kohrt WM. BMD decreases over the course of a year in competitive male cyclists. *Journal of Bone and Mineral Research.* 2008;23(4):484-91.
20. Smith MJ. Sprint Interval Training - "It's a HIIT!": Colorado State University; 2008.