

Original Article

Bone biochemical marker response to a plyometric exercise session with and without blood flow restriction in inactive adolescent females

Fatemeh Fakhri¹, **Abdolhamid Habibi**¹, **Mohsen Ghanbarzadeh**¹,
Rouhollah Ranjbar¹

ABSTRACT

Background and Aims: Physical activity and blood flow restriction (BFR) training can affect bone metabolism. This study aimed to investigate the effect of a plyometric exercise session with and without blood flow restriction on bone metabolism markers, such as bone alkaline phosphatase (BALP) and C-terminal telopeptide of type I collagen (CTX), as the markers of bone formation and destruction, respectively, among inactive adolescent females.

Materials and Methods: This study was conducted using a quasi-experimental design with pretest-posttest. The participants (n=48) were randomly divided into four groups of high-intensity training (n=12), low-intensity training (n=12), low-intensity training+restricted blood flow (n=12), and control (n=12). The training protocol included 68 jumping movements. The intensity of the exercise was less than two and more than four times the body weight for low intensity groups with and without obstruction and the high-intensity group, respectively. Blood samples were taken before and immediately after the exercise to evaluate BALP and CTX. Data analysis was performed using dependent t-test and one-way ANOVA. A p-value of ≤ 0.05 was considered statistically significant.

Results: A significant decrease was observed in CTX serum levels in high-intensity exercise group ($P=0.04$) and low-intensity exercise group with limited blood flow ($P=0.03$), compared to those in the pre-test. However, there was no significant within-group and intergroup changes in serum levels of bone formation marker ($P \geq 0.05$).

Conclusion: According to the results, a low-intensity plyometric exercise session with blood BFR can be as effective as high-intensity plyometric exercises in altering bone metabolism (reducing bone absorption marker).

Keywords: Blood Flow Restriction, Bone Metabolism, Plyometric Training



Citation: Fakhri F, Habibi A, Ghanbarzadeh M, Ranjbar R. [Bone biochemical markers response to a plyometric exercise session with and without blood flow restriction in inactive girls]. J Birjand Univ Med Sci. 2021; 28(1): 24-31. [Persian]

DOI <http://doi.org/10.32592/JBirjandUnivMedSci.2021.28.1.102>

Received: August 31, 2020

Accepted: November 9, 2020

¹ Department of Exercise Physiology, Faculty of Sports Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Corresponding author: Department of Exercise Physiology, Faculty of Sports Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Tel: +989175363741, E-mail: fakhri.fatemeh@gmail.com

پاسخ مارک‌های بیوشیمیایی متابولیسم استخوان به یک جلسه تمرین پلايومتریک با و بدون محدودیت جریان خون در دختران غیرفعال

فاطمه فخری^۱، عبدالحمید حبیبی^۱، محسن قنبرزاده^۱، روح الله رنجبر^۱

چکیده

زمینه و هدف: فعالیت بدنی و تمرینات محدودیت جریان خون می‌تواند متابولیسم استخوان را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر یک جلسه تمرین پلايومتریک با و بدون محدودیت جریان خون بر نشانگرهای متابولیسم استخوان از جمله آلکالین فسفاتاز استخوانی (BALP) و C تلوپپتید کلاژن نوع ۱ (CTX) به ترتیب به‌عنوان مارک‌های تشکیل و تخریب استخوان در دختران غیرفعال بود.

روش تحقیق: پژوهش حاضر نیمه‌تجربی با طرح پیش-پس‌آزمون بود. آزمودنی‌ها ۴۸ دانشجوی دختر غیرفعال بودند که به‌طور تصادفی به ۴ گروه تمرین با شدت زیاد (۱۲ نفر)، گروه شدت کم (۱۲ نفر)، گروه شدت کم+ محدودیت جریان خون (۱۲ نفر) و کنترل (۱۲ نفر) تقسیم شدند. پروتکل تمرین شامل ۶۸ حرکت پرشی بود. شدت تمرین برای گروه‌های شدت کم با و بدون انسداد کمتر از ۲ برابر وزن بدن و در گروه شدت زیاد بیش از ۴ برابر وزن در نظر گرفته شد. نمونه خونی قبل و بلافاصله پس از تمرین برای ارزیابی BALP و CTX گرفته شد. تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری تی‌وابسته و تحلیل واریانس یک‌راهه در سطح $P \leq 0.05$ انجام شد.

یافته‌ها: در پژوهش حاضر کاهش معنی‌داری در سطوح سرمی CTX در گروه تمرین با شدت زیاد ($P=0.04$) و گروه تمرین با شدت کم همراه با محدودیت جریان خون ($P=0.03$) نسبت به پیش‌آزمون مشاهده شد. هرچند هیچ تغییر معنی‌دار درون و بین گروهی در سطوح سرمی مارکر تشکیل‌دهنده استخوانی (BALP) وجود نداشت ($P \geq 0.05$).
نتیجه‌گیری: یک جلسه تمرین پلايومتریک با شدت کم به‌همراه محدودیت جریان خون می‌تواند به‌اندازه تمرینات پلايومتریک با شدت زیاد در تغییرات متابولیسم استخوان (کاهش مارکر جذب استخوان) مؤثر واقع شود.

واژه‌های کلیدی: محدودیت جریان خون، متابولیسم استخوان، تمرینات پلايومتریک

مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی بیرجند. ۱۴۰۰؛ ۲۸(۱): ۲۴-۳۱.

دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۰ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۹

^۱ گروه فیزیولوژی ورزش، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

نویسنده مسئول: گروه فیزیولوژی ورزش، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

آدرس: اهواز- دانشگاه شهید چمران اهواز- دانشکده علوم ورزشی

تلفن: ۰۹۱۷۵۳۶۳۷۴۱ پست الکترونیکی: fatemeh@gmail.com

مقدمه

استئوپروز و خطر شکستگی در میان افراد کم تحرک رواج دارد (۱). در حالی که اجرای فعالیت بدنی با افزایش تراکم توده استخوانی مرتبط است (۲، ۳). کم تحرکی و رژیم غذایی نامناسب ریسک فاکتورهای قابل تغییر استئوپروز هستند. چنانچه سبک زندگی فعال و رژیم مناسب برای افزایش سلامتی استخوان افراد جامعه پیشنهاد شده است (۴). تأثیر کوتاه مدت مداخلاتی نظیر فعالیت بدنی و رژیم غذایی بر متابولیسم و نوسازی استخوان توسط مارکرهای تشکیل و جذب استخوان ارزیابی می شود. از جمله نشانگرهای تشکیل استخوان، آلکالین فسفاتاز استخوانی (BALP¹) است که یک گلیکوپروتئین تترامریک می باشد. سلول های استئوبلاست استخوانی، منشأ عظیمی از آلکالین فسفاتاز هستند و سطوح سرمی آنها منعکس کننده فعالیت استئوبلاستیکی می باشد. همچنین C تلویپتید کلاژن نوع ۱ (CTX²) یک نشانگر میزان تحلیل و جذب استخوان است که منعکس کننده تخریب کلاژن نوع ۱ توسط استئوکلاست هاست و برای اندازه گیری میزان بازسازی استخوان مورد استفاده قرار می گیرد (۵). پاسخ های نشانگرهای استخوان به تمرین سریع تر از پاسخ های تراکم استخوان (BMD³) به تمرین است. بنابراین، از این نشانگرها برای تعیین وضعیت نوسازی استخوان و اثربخشی برنامه های آموزشی برای بهبود متابولیسم استخوان استفاده می شود.

در میان انواع مختلف ورزشها تمرینات با ضریب نفوذ بالا (High impact) مؤثرترین ورزش برای افزایش حجم استخوان و تغییرات متابولیسم استخوان است (۶). تمرینات پرشی پلايومتریک به عنوان یک تمرین با ضریب نفوذ بالا در موشها منجر به بیان فاکتور رونویسی کلیدی مرتبط با تمایز استئوبلاستها (Runx₂) در سلول های دودمانی استئوبلاستها و افزایش بیان پروتئین های ماتریکس استخوان و تمایز استئوبلاستها می گردد (۷). کالج پزشکی ورزشی امریکا برای افزایش سلامت استخوانها، تمرینات مقاومتی با شدت متوسط و زیاد و تمرینات با ضریب نفوذ بالا مانند

پرشها را توصیه می کند (۸) اما بسیاری از افراد تحمل فشار مکانیکی ناشی از تمرینات مقاومتی بر مفاصل را ندارند (۹). همچنین ورزش با شدت زیاد منجر به واماندگی عضلانی زودرس می گردد (۱۰). از طرفی فعالیت بدنی با شدت کم به ندرت منجر به تغییر متابولیسم و افزایش تراکم استخوان می گردد در حالی که فعالیت بدنی با شدت های بالا منجر به بهبود متابولیسم استخوان و ایجاد سازگاری های مطلوبی می گردد (۱۱). بنابراین برای رفع نقطه ضعف بالقوه تمرینات با شدت کم در افزایش تراکم و سازگاری استخوان، تمرینات ترکیبی با محدودیت جریان خون که به عنوان تمرینات کاتسو شناخته شده، توصیه می گردد. در این تمرینات فشار کاف پنوماتیک بر روی پاها اعمال می شود که در هنگام باد شدن منجر به کاهش جریان وریدی و تجمع جریان وریدی در پاها می گردد. این تغییرات موقت در جریان خون منجر به تغییرات فیزیولوژیکی در استخوانها می گردد که احتمالاً از طریق فعال سازی مسیر عامل القایی هیپوکسی و فعال شدن فاکتور رشد آندوتلیال عروقی و یا از طریق افزایش فشار اینترامدولاری مایع بینابینی درون استخوان بر سلامت استخوان تأثیرگذار است (۱۲، ۱۳). چنانچه برخی مطالعات با آنالیز آلکالین فسفاتاز استخوانی و آمینوتلویپتیدها به ترتیب به عنوان مارکرهای تشکیل و تخریب استخوان دریافتند که محدودیت جریان خون متابولیسم استخوان را شتاب می بخشد (۱۵)، (۱۴). بنابراین از آنجا که تحقیقی تأثیر تمرینات پلايومتریک با شدت کم به همراه محدودیت جریان خون را در افراد غیرفعال (به ویژه در زنان که بیش از مردان در معرض ابتلا به پوکی استخوان هستند) مورد بررسی قرار نداده اند، بنابراین هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر تمرینات حاد پلايومتریک با و بدون محدودیت جریان خون بر سطوح سرمی نشانگرهای تشکیل و تخریب استخوان از جمله BALP و CTx بود.

روش تحقیق

پژوهش حاضر به روش نیمه تجربی و از نوع کاربردی با طرح پیش آزمون - پس آزمون و دارای کد اخلاق EE/97.24.3.70342/scu.ac.ir از دانشگاه شهید چمران اهواز

¹ Bone specific alkaline phosphatase

² C terminal telopeptides of type 1 collagen

³ Bone Mineral Density

بسته شد و با فشاری معادل ۱۶۰ میلیمتر جیوه به انجام ست‌های تمرین می‌پرداختند و در زمان استراحت یک دقیقه ای بین ست‌ها فشار کاف به ۵۰ میلیمتر جیوه کاهش داده می‌شد. شدت تمرین براساس نیروی واکنش زمین ارزیابی شد بدین صورت که نیروی کمتر از ۲ برابر وزن بدن، تمرینی با شدت کم و نیروی بیش از ۴ برابر وزن بدن، تمرینی با شدت زیاد برای بارگذاری استخوان در نظر گرفته شد (۱۱). از این رو آزمودنی‌ها برای تعیین میزان نیروی اعمال شده بر بدن، ابتدا پرش‌ها را بر دستگاه فورس‌پلیت یا صفحه نیروسنج^۱ (ساخت ایران، شرکت دانش سالار ایرانیان) انجام دادند سپس براساس مقیاس درک فشار ۰-۱۰ بورگ (۱۶، ۱۷) گروه‌ها، تمرینات خود را بر تخته استپ‌هایی به ارتفاع ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری به ترتیب در گروه‌های تمرین پلایومتریک با شدت کم با و بدون محدودیت جریان خون و در گروه تمرین با شدت زیاد اجرا کردند.

خونگیری از آزمودنی‌ها قبل از شروع جلسه تمرینی و بلافاصله پس از تمرینات انجام شد و از آزمودنی‌ها مقدار ۱۰ میلی‌لیتر خون جهت اندازه‌گیری BALP و CTx گرفته شد. در پژوهش حاضر سطوح سرمی BALP و CTx به روش الیزا با استفاده از کیت تجاری Zell Bio ساخت کشور آلمان با ضریب تغییرات درون اندازه‌گیری به ترتیب ۵/۰ IU/L و ۰/۱ ng/mL اندازه‌گیری شد.

روش تجزیه و تحلیل آماری

داده‌ها پس از جمع‌آوری توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ پردازش و تحلیل شدند. طبیعی بودن توزیع داده‌ها توسط آزمون شاپیروویلیک بررسی شد. از آنجایی که داده‌ها طبیعی بود برای بررسی تغییرات درون‌گروهی از آزمون t وابسته و برای بررسی تغییرات بین گروهی از آزمون تحلیل واریانس یک راهه با $P \leq 0/05$ استفاده شد.

یافته‌ها

مشخصات فردی افراد مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. نتایج آماری مربوط به تغییرات آنترپومتریکی و ترکیب بدن، هیچ تغییر معنی‌دار بین گروهی (بر اساس آزمون تحلیل واریانس

بود که به بررسی تأثیر یک جلسه تمرین پلایومتریک با و بدون محدودیت جریان خون بر مارکرهای بیوشیمیایی متابولیسم استخوان پرداخت. جامعه آماری این پژوهش را دانشجویان دختر دانشگاه شهید چمران اهواز که فعالیت ورزشی منظم نداشتند تشکیل می‌داد که از طریق اطلاعیه از آن‌ها دعوت به عمل آمد. آزمودنی‌ها ۴۸ دانشجوی دختر با میانگین سنی ($1/037 \pm 22/96$) سال و BMI ($22/71 \pm 0/75$) کیلوگرم بر متر مربع بودند که قبل از ورود به تحقیق توسط پزشک (از نظر سلامت عمومی، سلامت قلبی-عروقی، فشارخون و هر بیماری دیگری) معاینه شدند و براساس اطلاعات و پرسشنامه‌های تکمیل شده به‌طور تصادفی در گروه تمرین پلایومتریک با شدت زیاد (۱۲ نفر)، گروه پلایومتریک با شدت کم (۱۲ نفر)، پلایومتریک با شدت کم به همراه محدودیت جریان خون (۱۲ نفر) و گروه کنترل (۱۲ نفر) قرار گرفتند. قبل از شروع دوره تمرینی، به منظور آمادگی و آشنایی با برنامه تمرینی در سالن ورزشی دانشگاه حضور یافتند. همچنین با تکمیل فرم‌های پرسش‌نامه پزشکی و آمادگی شرکت در فعالیت بدنی و رضایت کتبی همراه با تعهدات اخلاقی متقابل محقق و آزمودنی‌ها و با توجه به شرایط گزینش داوطلبان که خود شامل عدم مصرف دارو، الکل، سیگار، عدم ابتلا به استئوپنی و استئوپورز، التهاب مفصلی، بیماری‌های دیابت، تیروئید، بیماری‌های قلبی تنفسی و بی‌نظمی قاعدگی (آمنوره) بود، آمادگی خود را جهت شرکت در پروتکل تمرین اعلام نمودند و سنجش‌های آنترپومتریکی و ترکیب بدن از آزمودنی‌ها صورت گرفت.

برنامه تمرین

برنامه تمرین شامل ۱۰ دقیقه گرم کردن، برنامه تمرین اصلی و ۱۰ دقیقه سرد کردن بود. برنامه تمرین اصلی از چهار حرکت پرشی از جمله پرش عمقی (۳ ست ۶ تکراری)، استپ جامپ (۳ ست ۶ تکراری)، پرش جفت پا به جلو (۲ ست ۸ تکراری)، پرش جفت پا به پهلو (۲ ست ۸ تکراری) تشکیل شده بود. استراحت بین ست‌ها یک دقیقه بود. در گروه محدودیت جریان خون قبل از تمرین اصلی ابتدا قسمت فوقانی پروگزیمال هر دو ران با یک کاف تورنیکت پنوماتیک

¹ Force Plate

BALP در هیچ‌یک از گروه‌ها نسبت به سطوح پایه مشاهده نشد ($P \geq 0.05$). همچنین برای بررسی تغییرات بین‌گروهی پس از اینکه مشاهده شد در مقادیر پیش‌آزمون تفاوت معنی‌داری وجود ندارد از آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه استفاده شد و بر اساس این آزمون تغییرات معنی‌داری در سطوح سرمی BALP و CTx بین گروه‌ها وجود نداشت ($P \geq 0.05$).

یک راهه) را در شاخص‌های سن، وزن، قد و شاخص توده بدنی نشان نداد ($P \geq 0.05$). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمون t وابسته (جدول ۲)، کاهش معنی‌داری در سطوح سرمی مارکر جذب استخوان (CTx) در گروه شدت زیاد نسبت به سطح پایه ($P = 0.04$) و گروه تمرین+محدودیت جریان خون نسبت به پیش‌آزمون ($P = 0.03$) مشاهده شد. اما تغییرات معنی‌داری در سطوح سرمی

جدول ۱- مقایسه معیار شاخص‌های آنتروپومتریکی در چهار گروه

گروه‌ها	(انحراف معیار \pm میانگین) سن (سال)	(انحراف معیار \pm میانگین) قد (cm)	(انحراف معیار \pm میانگین) وزن (kg)	(انحراف معیار \pm میانگین) شاخص توده بدن (kg/m^2)
پلايومتریك با شدت زیاد	۲۴/۳۳ \pm ۰/۸۶	۱۶۰ \pm ۲/۷۱	۵۹/۳۴ \pm ۳/۲۶	۲۳/۰۷ \pm ۱/۴۳
پلايومتریك با شدت کم+انسداد	۲۴/۸۸ \pm ۰/۸	۱۵۹/۸۸ \pm ۱/۳۳	۵۵/۷۳ \pm ۱/۳۸۸	۲۱/۸۴ \pm ۰/۶۹
پلايومتریك با شدت کم	۲۲/۶۴ \pm ۱/۱۵	۱۵۶/۲ \pm ۱/۱۵	۵۷/۰۲ \pm ۰/۲۵	۲۳/۲۳ \pm ۰/۱۸
کنترل	۲۴ \pm ۱/۳۴	۱۵۷/۶۶ \pm ۱/۲۰	۵۶/۵۳ \pm ۲/۱۴	۲۲/۷۱ \pm ۰/۷
P.value نتایج مقایسه بین‌گروهی	۰/۲۷	۰/۱۴	۰/۴۹	۰/۰۷

سطح معنی‌داری ($P \leq 0.05$) در نظر گرفته شد.

جدول ۲- نتایج آزمون t وابسته و تحلیل واریانس یک راهه در چهار گروه

متغیرها	گروه	انحراف معیار \pm میانگین		P بین‌گروهی
		پیش‌آزمون	پس‌آزمون	
BALP (Iu/L)	پلايومتریك با شدت کم با انسداد	۱۱۰/۰۴ \pm ۱۳/۴	۱۰۸/۹۲ \pm ۱۳/۵	۰/۲۲
	پلايومتریك با شدت زیاد	۱۰۷/۵۳ \pm ۱۵/۲	۱۰۷/۰۷ \pm ۱۵	۰/۳۵
	پلايومتریك با شدت کم	۱۰۵/۶۳ \pm ۱۱/۲۵	۱۰۶/۱ \pm ۱۱/۳۴	۰/۱۹
	کنترل	۱۰۴/۷۲ \pm ۱۶/۴۳	۱۰۴/۹۴ \pm ۱۶/۳۲	۰/۳۴
CTX (ng/mL)	پلايومتریك با شدت کم با انسداد	۲/۶۵ \pm ۰/۱۵	۲/۳ \pm ۰/۱۷	* ۰/۰۳
	پلايومتریك با شدت بالا	۲/۸۳ \pm ۰/۱۶	۲/۵۳ \pm ۰/۱۵	* ۰/۰۴
	پلايومتریك با شدت کم	۲/۵۵ \pm ۰/۰۸	۲/۶ \pm ۰/۰۹	۰/۳۶
	کنترل	۲/۵۳ \pm ۰/۱۶	۲/۵۵ \pm ۰/۱۹	۰/۳۹

* نتایج P درون گروهی براساس آزمون t وابسته سطح معنی‌داری ($P \leq 0.05$) در نظر گرفته شد.

بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان داد یک جلسه تمرین پلايومتریك همراه با محدودیت جریان خون و تمرین پلايومتریك با شدت زیاد منجر به کاهش معنی‌دار سطوح سرمی مارکر جذب استخوان (CTx) می‌گردد. درحالی‌که در سطوح مارکر تشکیل استخوان (BALP) دختران جوان تغییری مشاهده نشد. نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیق Sherk و همکاران (۱۸) و Gombos و همکاران (۱۹) که کاهش معنی‌داری را در سطوح سرمی CTx گزارش کردند همسو است و با نتایج تحقیق Morgan و همکاران (۲۰) ناهمسو است. از جمله دلایل ناهمخوانی می‌توان ذکر کرد که سطوح پایه مارکرهای بیوشیمیایی استخوان مهم است بنابراین از آنجا که نمونه‌های تحقیق مذکور زنان فعال بودند که دارای سطوح پایه بالای این مارکرها هستند بنابراین می‌تواند از دلایل ناهمخوانی نتایج باشد. Kish و همکاران (۲۱) و Rogers و همکاران (۲۲) نیز هیچ تغییری را در سطوح سرمی BALP و CTx پس از تمرینات مقاومتی گزارش نکرد (۲۰). در تحقیقی دیگر نیز افزایش معنی‌دار سطوح آلکالین فسفاتاز نشان داده شد (۲۳) که با نتایج تحقیق حاضر ناهمسو است. به طور کلی یافته‌های ضد و نقیض مطالعه‌هایی که به بررسی اثرات تمرینات ورزشی بر متابولیسم استخوان پرداخته‌اند نشان می‌دهد که عوامل متعددی مانند نوع فعالیت ورزشی، سن و جنس آزمودنی‌ها ممکن است پاسخ شاخص‌های متابولیسم استخوان به تمرینات را تحت تأثیر قرار دهد. علاوه بر این به نظر می‌رسد عوامل دیگری مانند ویژگی‌های ژنتیکی، تغذیه و وضعیت هورمونی آزمودنی‌ها، اثرات فعالیت ورزشی بر بافت استخوان را میانجی کند (۲۴-۲۶).

ساختار استخوان توسط یک سیستم بازخوردی حفظ می‌شود، بنابراین یک افزایش فشار دینامیکی و مکانیکی منجر به تحریک سلول‌های استخوانی می‌شود که رشد و توسعه استخوانی را به همراه دارد. این تئوری به نام نظریه وضعیت مکانیکی شناخته شده است. براساس این نظریه فشار مکانیکی برای دستیابی به تشکیل استخوان باید در سطح خاصی باشد که میزان تشکیل استخوان از میزان جذب در فرآیند نوسازی استخوان پیشی بگیرد که به این فشار مکانیکی

حداقل آستانه مؤثر گفته می‌شود (۲۱).

نتایج تحقیق حاضر همچنین نشان داده است که اجرای تمرینات پلايومتریك با محدودیت جریان خون منجر به کاهش معنی‌دار سطوح سرمی CTx می‌گردد که با نتایج پژوهش Bemben و همکاران (۱۴) همسو و با نتایج تحقیق Kim و همکاران (۲۷) و Beekly و همکاران (۲۸) ناهمسو است. از آنجا که در تحقیق حاضر تأثیرات حاد تمرینات بررسی شده است و در دو مطالعه مذکور تأثیر کوتاه مدت مداخلات مورد ارزیابی قرار گرفته است می‌تواند از جمله دلایل ناهمخوانی نتایج باشد. همچنین تحقیقات نشان داده‌اند که در فرآیند نوسازی استخوان مرحله جذب استخوان بر مرحله تشکیل استخوانی مقدم است، بنابراین نشانگرهای جذب استخوان می‌توانند خیلی سریع‌تر از نشانگر تشکیل استخوان به محرک یا فعالیت بدنی پاسخ دهند. این الگوی پاسخ‌دهی در تحقیقات به خوبی مستند شده است. زیرا نشانگرهای جذب می‌توانند سریع‌تر به درمان‌های دارویی پاسخ دهند و به دنبال آن تغییر در نشانگرهای تشکیل استخوان مشاهده شده است (۱۴).

مطالعات گذشته نشان داده‌اند فیزیولوژی گردش خون استخوان و نقش آن در معدنی‌سازی استخوان و ترمیم شکستگی اهمیت قابل توجهی برای سلامت استخوان‌ها دارد. رگ‌های خونی واقع در واحدهای استخوانی (BSU)^۱ نقش مهمی در جفت فرآیند نوسازی استخوان دارد (۲۹). شواهد اخیر نشان داده‌اند عروق خونی از طریق ترشح مواد وازودیلاتور عروق و عوامل تنظیم‌کننده موضعی (نظیر: اینترلوکین ۶، اندوتلین ۱، نیتریک اکساید) که تعدیل‌کننده فعالیت استخوان هستند، نقش مهمی در استئوژنز دارند (۲۹، ۳۰). این عوامل ممکن است سلول‌های استئوبلاست استخوانی را به کار گیرد و فعالیت استئوکلاستی را به‌طور مستقیم مهار کند (۲۹). از آنجا که تمرینات محدودیت جریان خون کاتسو، جریان خون اندام‌های تحتانی را محدود می‌کند، ممکن است عملکردهای ترشحی سلول‌های اندوتلیال عروقی تحت تأثیر قرار گیرد و باعث تغییر در جفت فرآیند جذب و تشکیل استخوان گردد. همچنین این تمرینات باعث کاهش اکسیژن‌رسانی به ماهیچه‌ها و افزایش سطح لاکتات

¹ Bone structural units

خون می‌شود. چنانچه تغییرات در pH و هیپوکسی، شرایط فیزیولوژیکی است که فعالیت استئوکلاستی را تنظیم می‌کند (۱۴)، (۳۰).

نتیجه گیری

یک جلسه تمرین پلايومتریک با شدت کم به همراه محدودیت جریان خون می‌تواند به اندازه تمرینات پلايومتریک با شدت زیاد در تغییرات متابولیسم استخوان (کاهش مارکر جذب استخوان) مؤثر واقع شود.

تقدیر و تشکر

مقاله حاضر برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیولوژی ورزشی (کد ۹۵۴۲۶۵۰) دانشگاه شهید چمران اهواز می‌باشد. بدین‌وسیله نویسندگان مقاله از کلیه افرادی که در این پژوهش همکاری داشته‌اند تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آورند.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

منابع:

- 1- Koedijk JB, van Rijswijk J, Oranje WA, van den Bergh JP, Bours SP, Savelberg HH, Schaper NC. Sedentary behaviour and bone health in children, adolescents and young adults: a systematic review. *Osteoporos Int.* 2017; 28(9): 2507-19. DOI: 10.1007/s00198-017-4076-2
- 2- Rauch F, Bailey DA, Baxter-Jones A, Mirwald R, Faulkner R. The 'muscle-bone unit' during the pubertal growth spurt. *Bone.* 2004; 34(5):771-5. DOI: 10.1016/j.bone.2004.01.022
- 3- Chastin SF, Mandrichenko O, Helbostadt JL, Skelton DA. Associations between objectively-measured sedentary behaviour and physical activity with bone mineral density in adults and older adults, the nhanes study. *Bone.* 2014; 64: 254-62. DOI:10.1016/j.bone.2014.04.009
- 4- Korpi-Steiner N, Milhorn D, Hammett-Stabler C. Osteoporosis in men. *Clin Biochem.* 2014; 47(10-11): 950-9. DOI: 10.1016/j.clinbiochem.2014.03.026
- 5- Ghasemalipour H, Eizadi M. The Effect of Aerobic Training on Some Bone Formation Markers (Osteocalcin, Alkaline Phosphatase) in Asthma Treated with Inhaled Corticosteroids. *Zahedan J Res Med Sci.* 2018; 20(1): e58477. DOI: 10.5812/zjrms.58477.
- 6- Notomi T, Okazaki Y, Okimoto N, Saitoh S, Nakamura T, Suzuki M, et al. A comparison of resistance and aerobic training for mass, strength and turnover of bone in growing rats. *Eur J Appl Physiol.* 2000; 83(6): 469-74. DOI: 10.1007/s004210000316
- 7- Komori T. Regulation of skeletal development by the Runx family of transcription factors. *J Cell Biochem.* 2005 Jun 1; 95(3): 445-53. DOI: 10.1002/jcb.20420
- 8- Bittar ST, Pfeiffer PS, Santos HH, Cirilo- Sousa MS. Effects of blood flow restriction exercises on bone metabolism: a systematic review. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2018; 38(6): 930-5. DOI: 10.1111/cpf.12512
- 9- Porsesh MA, Habibi AH, Ahmadi Barati S, Fatemi SR. Comparison of the Effect of 6 Weeks Resistance Training with and without Vascular Occlusion, on Serum Levels of CRP and LDH in Active Girls. *J Shahid Sadoughi Univ Med Sci.* 2016; 24(9): 706-15. [Persian]
- 10- Bloomfield SA, Little KD, Nelson ME, Yingling VR. American College of Sports Medicine position stand: physical activity and bone health. *Med Sci Sports Exerc.* 2004; 36(11): 1985-96. DOI: 10.1249/01.mss.0000142662.21767.58
- 11- Witzke KA, Snow CM. Effects of polymetric jump training on bone mass in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc.* 2000 Jun 1; 32(6): 1051-7. DOI: 10.1097/00005768-200006000-00003
- 12- Loenneke JP, Young KC, Fahs CA, Rossow LM, Bembem DA, Bembem MG, et al. Blood flow restriction: rationale for improving bone. *Med Hypotheses.* 2012; 78(4): 523-7. DOI: 10.1016/j.mehy.2012.01.024

- 13- Parfitt AM. The mechanism of coupling: a role for the vasculature. *Bone*. 2000; 26(4): 319-23. DOI: 10.1016/S8756-3282(00)80937-0.
- 14- DA B, IJ P, Abe T, Sato Y, MG B. Effects of a single bout of low intensity KAATSU resistance training on markers of bone turnover in young men. *Int J KAATSU Train Res*. 2007; 3(2): 21-6.
- 15- Sato Y, Ishii N, Nakajima T, Abe T. KAATSU training theoretical and practical perspectives. *goudan co*. 2007.
- 16- Asadi A. Monitoring plyometric exercise intensity using rating of perceived exertion scale. *Phys. Act. Rev*. 2014(2):10-5.
- 17- Singh F, Foster C, Tod D, McGuigan MR. Monitoring different types of resistance training using session rating of perceived exertion. *Int J Sports Physiol Perform*. 2007; 2(1): 34-45. DOI: 10.1123/ijssp.2.1.34
- 18- Sherk VD, Chrisman C, Smith J, Young KC, Singh H, Bemben MG, et al. Acute bone marker responses to whole-body vibration and resistance exercise in young women. *J Clin Densitom*. 2013 Jan 1; 16(1): 104-9. DOI: 10.1016/j.jocd.2012.07.009
- 19- Gombos GC, Bajsz V, Pék E, Schmidt B, Sió E, Molics B, et al. Direct effects of physical training on markers of bone metabolism and serum sclerostin concentrations in older adults with low bone mass. *BMC Musculoskelet Disord*. 2016; 17(1): 254. DOI: 10.1186/s12891-016-1109-5
- 20- Morgan AL, Weiss J, Kelley ET. Bone turnover response to acute exercise with varying impact levels: a preliminary investigation. *Int J Exerc Sci*. 2015; 8(2): 6.
- 21- Kish K, Mezil Y, Ward WE, Klentrou P, Falk B. Effects of plyometric exercise session on markers of bone turnover in boys and young men. *Eur J Appl Physiol*. 2015 Oct 1; 115(10): 2115-24. DOI: 10.1007/s00421-015-3191-z
- 22- Rogers RS, Dawson AW, Wang Z, Thyfault JP, Hinton PS. Acute response of plasma markers of bone turnover to a single bout of resistance training or plyometrics. *J Appl Physiol*. 2011 Nov; 111(5): 1353-60. DOI: 10.1152/jappphysiol.00333.2011
- 23- Rahmanian M J, Ghanbarzadeh M, Shakerian S. Acute Effects of Plyometric Exercises Performed on Land and in Water on the Parameters of Bone Metabolism in Middle-Aged Males. *Ann Mil Health Sci Res*. 2017; 15(1): e57232. DOI: 10.5812/amh.57232.
- 24- Ghorbanian B, Barani A. Study the Effect of Exercise on Bone Markers, Glycemic and Anthropometric Indices in Postmenopausal Women with Diabetes. *J Arak Uni Med Sci*. 2017; 20(1): 107-17. [Persian]
- 25- Lester ME, Urso ML, Evans RK, Pierce JR, Spiering BA, Maresh CM, Hatfield DL, Kraemer WJ, Nindl BC. Influence of exercise mode and osteogenic index on bone biomarker responses during short-term physical training. *Bone*. 2009; 45(4): 768-76. DOI: 10.1016/j.bone.2009.06.001
- 26- Vainionpää A, Korpelainen R, Väänänen HK, Haapalahti J, Jämsä T, Leppäluoto J, et al. Effect of impact exercise on bone metabolism. *Osteoporos Int*. 2009; 20(10): 1725-33. DOI: 10.1007/s00198-009-0881-6
- 27- Kim S, Sherk VD, Bemben MG, Bemben DA. Effects of short term low intensity resistance training with blood flow restriction on bone markers and muscle cross-sectional area in young men. *Int J Exerc Sci*. 2012; 5(2): 6.
- 28- Sato Y, Abe T. KAATSU-walk training increases serum bone-specific alkaline phosphatase in young men. *Int J KAATSU Train Res*. 2005; 1(2): 77-81. DOI: 10.3806/ijktr.1.77
- 29- Parfitt AM. The mechanism of coupling: a role for the vasculature. *Bone*. 2000; 26(4): 319-23. DOI: 10.1016/S8756-3282(00)80937-0
- 30- McCarthy I. The physiology of bone blood flow: a review. *JBJS*. 2006; 88(suppl_3): 4-9. DOI: 10.2106/JBJS.F.00890