پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره نوزدهم شماره ۷۰ خرداد و تیر سال ۱۳۸۸ (۲۵-۱۸)

# تاثیر تمرینات تحمل وزن و مکمل کلسیم براستخوان ترابیکولار و کورتیکال متافیز فوقانی درشت نی- یک مطالعه تجربی در موش‌های عقیم شده

ولی اله دبیدی روشن [۱] نادر تنیده [۲] فرزانه حکمت [۳] طلا جولازاده [۴]

## چکیده

**سابقه و هدف :** شکستگی‌های ناشی از استئوپوروز پس از یائسگی در زنان شایع است و بخش قابل توجهی از مرگ و میر را شامل می‌شود. گرچه سن یک ریسک فاکتور مستقل شکستگی است، اما ریزساختارهای (microarchitectures) استخوان، پیشگویی‌کننده شکستگی‌های بعدی به شمار می‌رود. کلسیم کافی و تمرینات تحمل وزن از قبیل تمرینات مقاومتی و وزنه تمرینی سبب بهبود تکامل اسکلتی می‌شوند، اما اثر مکمل کلسیم و تمرینات دوی استقامتی روی نوارگردان بر این ریز ساختارها کاملا مشخص نشده است. هدف این مطالعه تعیین اثر تمرین دوی استقامتی روی نوارگردان و یا مکمل کلسیم بر زیرساختارهای استخوان ترابیکولار و کورتیکال متافیز فوقانی درشت نی در موش‌های عقیم شده بود.

**مواد و روش ها :** ۴۳ سر موش صحرایی بالغ نژاد Sprague Dawley در این تحقیق آزمایشگاهی شرکت داشتند که ۷ سر موش برای تعیین مقادیر اولیه زیرساختارهای استخوان ترابیکولار و کورتیکال متافیز فوقانی درشت نی کشته شدند و بقیه تحت عمل جراحی عقیم‌سازی قرار گرفتند و پس از ۳ ماه به صورت تصادفی به چهار گروه شامل: گروه‌های پیش آزمون، تمرین دوی استقامتی، مکمل کلسیم و گروه کنترل تقسیم شدند. گروه تمرینی پروتکل دوی پیشرونده را با سرعت ۱۲ تا ۲۰ متر در دقیقه و به مدت ۱۰ تا ۵۹ دقیقه و ۵ جلسه در هفته اجرا کردند. درحالی که گروه کلسیم، روزانه ۳۵ میلی‌گرم کلسیم به ازای هرکیلوگرم وزن بدن را از طریق گاواژ دریافت کردند. پس از ۸ هفته، ریز ساختارهای متافیز بالایی استخوان درشت نی با دستگاه آنالیز تصویر برداری نیمه اتوماتیک مجهز به آکولارمیکرومتر اندازه‌گیری شد.

**یافته ها :** عقیم سازی سبب کاهش معنادار فاصله بافت ترابیکولار، حجم و ضخامت بافت ترابیکولار و کاهش اندک غیرمعنادار حجم و ضخامت بافت کورتیکال شد. آنالیز واریانس یکطرفه نشان داد تفاوت آماری معناداری در فاصله، حجم و ضخامت بافت استخوانی ترابیکولار گروه‌های تمرین استقامتی و کلسیم در مقایسه با گروه کنترل وجود دارد. همچنین بین ضخامت و حجم بافت‌های ترابیکولار و کورتیکال بین دو گروه تمرین استقامتی و کلسیم تفاوت معناداری وجود نداشت.

**استنتاج :** فواید اسکلتی را می‌توان با تغییرات اندک در شیوه زندگی از جمله اجرای فعالیت‌های تحمل وزن و مصرف مکمل کلسیم بدست آورد. به علاوه، انجام تمرینات دوی استقامتی و یا مکمل کلسیم در موش‌های صحرایی عقیم شده می‌تواند اثر مهاری و یا برگرداننده در ریزساختارهای استخوان‌های متحمل وزن داشته باشد.

**واژه‌های کلیدی:** ریزساختارهای استخوان، تمرینات تحمل وزن، پوکی استخوان، موش‌های صحرایی، مکمل کلسیم

## مقدمه

پوکی استخوان مشکل اصلی سلامت استخوان افراد سالمند است. با افزایش طول عمر، میزان شیوع این بیماری نیز افزایش یافته است(۱). این عارضه با بیماری سیستمیک از دست رفتن توده استخوان و خرابی ریزساختارهای

**مولف مسئول: دکتر ولی اله دبیدی روشن**- مازندران: بابلسر، پردیس دانشگاه، دانشکده تربیت بدنی E-mail: vdabidiroshan@yahoo.com
۱. دکترای فیزیولوژی وزرش، استادیار دانشگاه مازندران ۲. عضو هیات علمی دانشگاه علوم پزشکی شیراز، مرکز تحقیقات پزشکی مقایسه ای، دانشکده فارماکولوژی
۳. کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزش دانشگاه شمال ۴. کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزش دانشگاه مازندران
تاریخ دریافت : ۸۸/۱/۱۵ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : ۸۸/۲/۴ تاریخ تصویب : ۸۸/۳/۲۷



www.SID.ir
[ Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-06 ]

بافت استخوان (Bone microarchitecture) از قبیل ضخامت و حجم استخوان ترابیکولار (Trabecular bone) و استخوان کورتیکال (Cortical bone) و یا فاصله بافت ترابیکولار (Trabecular separation) مشخص می‌شود که طی آن شکستگی استخوان و یا استعداد شکستگی‌های استخوانی افزایش می‌یابد و در نتیجه سبب افزایش هزینه خانواده و جامعه می‌شود. هرچند سن یک عامل خطر مستقل برای شکستگی استخوان است، اما ریزساختارهای اشاره شده بافت استخوان که در طی فرایند پوکی استخوان از دست می‌روند، یکی از قوی ترین پیشگویی کننده‌های شکستگی‌های بعدی به شمار می‌روند. دانشمندان معتقدند تعیین این قبیل شاخص‌های استخوانی برای بررسی اولیه پوکی استخوان و دیگر بیماری‌های استخوانی مهم است(۲). مطالعات انجام شده حاکی ازآن است که می‌توان استحکام وقدرت نهایی استخوان را از طریق تعیین چگالی بافت‌های استخوانی ترابیکولار و کورتیکال مشخص می‌نمود(۵-۲). به علاوه، پژوهش‌های حاکی از ارتباط معکوس سن و ریزساختارهای بافت استخوانی ترابیکولار و کورتیکال است، به گونه‌ای که با افزایش سن، ضخامت و حجم بافت‌های استخوانی ترابیکولار و کورتیکال کاهش می‌یابد(۶)، در حالی که با افزایش سن از کودکی تا جوانی به تدریج فاصله بافت ترابیکولار افزایش می‌یابد(۴).

بنابراین هرگونه راهکاری که سبب حفظ و یا تخفیف روند کاهشی چگالی استخوان در این دوره شود، به عنوان یک استراتژی مفید در کاهش خطر پوکی استخوان در این دوران مهم است. ورزش و کلسیم از عوامل محیطی قابل تغییر شناخته شده‌اند که نقش تعیین کننده‌ای در حداکثر توده استخوانی دارند. برخی محققان جامعه پزشکی تاثیر تغییرات فصلی و یا بلوغ(۷) و همچنین کلسیم و یا ویتامین D را بر بافت‌های استخوانی ترابیکولار و کورتیکال بررسی کرده‌اند(۸). Arens و همکاران(۱) تغییرات فصلی ضخامت و فاصله استخوان ترابیکولار و همچنین ضخامت استخوان کورتیکال را در استخوان‌های رادیوس راست و چپ گوسفند ارزیابی کردند و بالاترین و کمترین مقادیر آن را به ترتیب در فصل‌های تابستان و زمستان گزارش دادند. Strom و همکاران(۹) نیز با تائید تغییرات فصلی این شاخص‌ها گزارش دادند مکمل کلسیم می‌تواند از کاهش این شاخص‌ها در زمستان و بهار پیشگیری نماید.

سطح وسیع موجود در شبکه ترابیکولار در متافیز نیز ناحیه وسیعی را برای سلول‌های تشکیل دهنده و جذب‌کننده استخوان برای اتصال به عضله فراهم می‌کند(۱). مطالعات انجام شده نشان می‌دهد متافیز فوقانی استخوان درشت نی نیز همانند مهره‌ها حاوی مقادیر قابل توجه بافت استخوانی ترابیکولار است که در اثر ایجاد شرایط لازم از قبیل یائسگی به میزان زیادی در معرض پوکی استخوان قرار می‌گیرد(۱۰). از اینرو بررسی اثر مکمل کلسیم و تمرینات تحمل وزن بر ریزساختارهای بافت استخوانی کورتیکال و ترابیکولار در ناحیه متافیز فوقانی درشت نی که غنی از هر دو نوع بافت کورتیکال و به ویژه ترابیکولار است، می‌تواند اطلاعات مفیدی در خصوص اثر محرک‌های آنابولیک و کاتابولیک بر ریزساختارهای استخوانی این نواحی در دسترس قرار دهد. بسیاری از محققان تاثیر تمرینات مقاومتی را بر چگالی استخوان مورد بررسی قرار دادند (۱۱) و در این راستا، تحقیقات بسیار اندکی در خصوص اثر ورزش استقامتی بر ریز ساختارهای بافت استخوانی ترابیکولار و کورتیکال انجام شده که می‌توان به تحقیق Huang و همکاران(۱۲) اشاره داشت. این محققان در پژوهشی اثر دو روش تمرینی با و بدون تحمل وزن را بر کالسیفیه شدن و ویژگی‌های مکانیکی استخوان‌های ران و درشت نی بررسی کرده و علیرغم عدم مشاهده تغییر قابل توجه در حجم و ضخامت بافت استخوانی کورتیکال استخوان‌های ران و درشت نی، بهبود ویژگی‌های مکانیکی در استخوان‌های مذکور ملاحظه کردند. ورزش در طی رشد، فرایند شکل‌گیری (Modeling) استخوان را به طور موضعی در نواحی تحت بارگیری از قبیل

Archive of SID
[ Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-06 ]
www.SID.ir

متافیز استخوان‌های بلند تحت تاثیر قرار می‌دهد(۱۳)، در حالی که اعتقاد بر این است که کلسیم به طور سیستماتیک در شکل‌گیری مجدد (Remodeling) استخوان نقش دارد. علیرغم عمل از طریق سازوکارهای مختلف، شواهد رو به رشدی نشان می‌دهند که ورزش و کلسیم ممکن نیست به صورت مستقل از هم عمل کنند(۱۴). مصرف اندک کلسیم از طریق تغذیه ممکن است پاسخ سازشی استخوان به بارگیری ناشی از ورزش را به حداقل برساند. در مقابل، مصرف مقادیر زیاد کلسیم ممکن است اثر ورزش در نواحی تحت بار را افزایش دهد(۱۵). لذا در پژوهش حاضر اثر تمرینات تحمل وزن همراه با مکمل کلسیم بر ریز ساختارهای استخوان متافیز بالایی استخوان درشت نی در موش‌های عقیم شده بررسی شد.

## مواد و روش ها

در این پژوهش آزمایشگاهی، مجموعا ۴۳ سر موش صحرایی ماده بالغ نژاد Sprague Dawley با دامنه وزنی ۲۰۰ تا ۲۵۰ گرم، نمونه پژوهش را تشکیل می‌دادند که از بین آنها ۷ سر موش به صورت تصادفی برای تعیین میزان طبیعی و اولیه ریزساختارهای بافت‌های استخوانی کورتیکال و ترابیکولار اپیفیز بالایی استخوان درشت نی قبل از عمل جراحی انتخاب شدند. سپس، سایر موش‌ها تحت عمل جراحی عقیم‌سازی (خارج سازی رحم و تخمدان) قرار گرفتند و پس از ۳ ماه قرارگیری در قفس (برای ایجاد شرایط لازم جهت کاهش چگالی استخوان) به صورت تصادفی به چهار گروه شامل: گروه‌های پایه پس از عقیم‌سازی (پیش آزمون)، تمرین دوی استقامتی فزاینده، مکمل کلسیم و سرانجام گروه کنترل (هریک شامل ۹ سر موش) تقسیم شدند.

برنامه تمرین استقامتی تحقیق حاضر نیز شامل دویدن روی نوارگردان ۶ کاناله بود که به مدت ۸ هفته انجام شد. آزمودنی‌ها هر هفته ۵ جلسه تمرین کردند. مدت جلسات تمرین ۱۰ تا ۵۹ دقیقه و سرعت نیز ۱۲ تا ۲۰ دقیقه بود. این پروتکل با توجه به هزینه انرژی طراحی شده و شدت آن نیز پیشرونده بوده، به گونه‌ای که شدت آن در اولین جلسه تمرینی معادل ۵۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی و در آخرین جلسه تمرینی نیز تقریبا ۷۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی بوده است(۱۶). به علاوه، آزمودنی‌های گروه کلسیم نیز به مدت ۸ هفته، ۵ روز در هفته، روزی ۳ بار (صبح، ظهر و شب) و در مجموع ۳۵ میلی‌گرم کلسیم محلول را به ازای هر کیلوگرم وزن بدن (با توجه به وزن‌کشی هفتگی) از طریق دهانی و با استفاده از گاواژ دریافت کردند.

برای عمل جراحی ابتدا موش‌ها با مخلوطی از کتامین و زایلازین(مقدار ۸۰ به ۱۰میلی‌گرم، کتامین به زایلازین، به ازای هرکیلوگرم وزن بدن) بیهوش شدند. سپس برشی به اندازه ۳ سانتی‌متر روی خط سفید وسط شکم (لینه آ آلبا) از قسمت کلیه به پائین داده شد. پس از آن رحم و تخمدان بیرون آورده شد و محل قطع رحم ابتدا گره و بعد با قیچی چیده شد. آنگاه برش مربوطه با بخیه ساده تکی دوخته شد. برای جلوگیری از عفونت، مقدار ۲۲۰۰ میلی‌گرم IU/Kg/Single dose پنی‌سیلین و استروپتومایسین مخلوط شده و به مدت ۳ روز و هر روز نیز یک نوبت به عضله درشت نی خلفی موش‌ها تزریق شد. به علاوه، پس از جراحی یکبار و به مقدری از اسپری OTC در محل بخیه استفاده شد تا ناحیه مربوطه به رنگ بنفش تغییر یابد. پس از کشتن حیوانات، استخوان درشت نی پای راست بیرون کشیده شد. برای اندازه‌گیری ریزساختارهای بافت‌های ترابیکولار و کورتیکال متافیز بالایی درشت نی، ابتدا برش‌های بافتی استخوان از متافیز بالایی استخوان درشت نی پای راست و به فاصله ۱ تا ۴ میلی‌متر در بخش تحتانی صفحه رشدی تهیه شد و پس از آماده‌سازی نمونه‌های بافت به روشی که توسط هووارت و همکاران (۲) توصیف شد، با استفاده از دستگاه آنالیز تصویر برداری نیمه اتوماتیک (Semi automated image analysis system) مجهز به

Archive of SID

[ Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-06 ]



www.SID.ir

آکولارمیکرومتر مورد بررسی قرار گرفت. برای اندازه‌گیری میزان کلسیم، ابتدا استخوان درشت نی چپ به خاکستر تبدیل شد. برای خاکسترکردن استخوان از کوره الکتریکی استفاده شد. برای این کار پس از جدا کردن استخوان از پوست و گوشت و فاسیا، در بوت‌های چینی نسوز (پورسلینگ) ریخته و روی شعله آتش قرار داده شد و بعد از سوزاندن استخوان، درون کوره قرار گرفتند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد. سپس استخوان‌های سوخته شده آسیاب شد و پودر خاکستر استخوان بعد از وزن شدن، جهت اندازه‌گیری میزان کلسیم در دستگاه اتمیک مدل varien-plus 20 قرار داده شد. وزن استخوان‌ها قبل و بعد از خاکستر کردن با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان کلسیم، مقدار ۰/۰۵ گرم از خاکستر استخوان را در ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۳ نرمال حل شد تا حجم ۵۰ سی‌سی با آب دایونیزه (آب بدون یون) رقیق شد و سپس براساس محدوده عملکرد استانداردکلسیم، میزان کلسیم موجود در استخوان خوانده شد. برای تهیه اسید ۳ نرمال، ۲۵ میلی لیتر اسید کلریدریک ۳۷ درصد را با پیپت برداشته شد در بالن ژوژه با آب دایونیزه به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد. از آزمون‌های t وابسته و آنالیز واریانس یکطرفه به ترتیب برای بررسی تغییرات درون گروهی و بین گروهی در سطح $P\leq ۰/۰۵$ استفاده شد.

## یافته ها

تفاوت آماری معنی‌داری در میزان وزن و سن آزمودنی‌ها در ابتدای پژوهش وجود نداشت. نتایج مطالعه اولیه در خصوص تاثیر عقیم‌سازی بر بافت‌های استخوانی کورتیکال و ترابیکولار متافیز فوقانی استخوان درشت نی نشان داد فاصله بافت ترابیکولاری، حجم و ضخامت بافت ترابیکولار پس از ۳ ماه کاهش معنادار داشته، در حالیکه حجم و ضخامت بافت کورتیکال کاهش اندکی داشته و این کاهش معنی دار نبوده است.

به علاوه، افزایش معنی‌داری در میزان رسوب کلسیم در استخوان درشت نی پای چپ (از ۴۶۴ در قبل از دریافت مکمل به ۵۲۷ ذره در میلیون(ppm) در پس از دوره مکمل‌گیری) مشاهده شد.

نتایج مطالعه اصلی با استفاده از آزمون t وابسته نشان داد مکمل‌گیری کلسیم فقط سبب افزایش معنی‌دار حجم کورتیکال می‌شود و ۸ هفته تمرین دوی استقامتی فزاینده نیز منجر به افزایش معنی‌دار فاصله بافت ترابیکولار و حجم و ضخامت هر دو بافت کورتیکال و ترابیکولار شد، در حالی که روند کاهشی ناشی از عقیم‌سازی بر میزان این شاخص‌ها در گروه کنترل ادامه داشته و این کاهش فقط در خصوص فاصله و ضخامت بافت استخوانی ترابیکولار معنی‌دار بود. با این وجود، آنالیز واریانس یکطرفه نشان داد بین ضخامت و حجم بافت‌های ترابیکولار و کورتیکال دو گروه تمرین استقامتی و کلسیم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. همچنین تفاوت آماری معنی‌داری در فاصله، حجم و ضخامت بافت استخوانی ترابیکولار گروه‌های تمرین استقامتی و کلسیم در مقایسه با گروه کنترل مشاهده شد( جدول شماره ۱).

## بحث

یائسگی یا منوپوز، رخدادی مهم در فرایند زندگی زنان است، زیرا تغییرات هورمونی موثر و قوی یائسگی سبب تغییرات ثابت و دائمی در زنان می‌شود و این تغییرات زنان را مستعد بیماری‌های مختلفی نظیر استئوپروز و افزایش شکستگی استخوان می‌کند(۱۷). مهمترین یافته این تحقیق تاثیر ورزش استقامتی و مکمل کلسیم در مهار کاهش ناشی از عقیم سازی بر ریزساختارهای بافت استخوانی کورتیکال و به ویژه ترابیکولار متافیز فوقانی استخوان درشت نی و اثرات بازگرداننده آن بر این پارامترها بوده است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد، ۸ هفته تمرین دوی استقامتی روی نوارگردان منجر به افزایش معنادار فاصله بافت

Archive of SID

[ Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-06 ]


www.SID.ir

**جدول شماره ۱ :** تغییرات بافت های استخوانی ترابیکولار و کورتیکال متافیز فوقانی درشت نی موش های صحرایی ✹

| شاخص | گروه / مرحله | تمرین استقامتی | مکمل کلسیم | کنترل |
|---|---|---|---|---|
| وزن (گرم) | پیش آزمون | ۲/۴±۲۴۹/۲ | ۵±۲۴۶/۵ | ۶/۶±۲۴۸ |
| | پس آزمون | ✝#⁂ ۸/۵±۳۰۵/۵ | ✝#۶/۸±۲۹۲/۵ | ✝۷±۲۷۹/۸۶ |
| ضخامت استخوان کورتیکال (میکرون) | پیش آزمون | ۳/۰۱±۳۲/۵۰ | ۳/۰۱±۳۲/۵۰ | ۳/۰۱±۳۲/۵۰ |
| | پس آزمون | ✝⁂ ۶/۸۷±۴۳/۳۳ | ۹/۶۱±۳۶/۴۴ | ۴/۸۲±۳۱/۵۵ |
| حجم استخوان کورتیکال (٪) | پیش آزمون | ۵/۸۴±۲۰/۸۳ | ۵/۸۴±۲۰/۸۳ | ۵/۸۴±۲۰/۸۳ |
| | پس آزمون | ✝۶/۵۸±۳۰/۸۸ | ✝۲/۳۱±۲۸/۷۵ | ۴/۶۱±۲۱/۵۵ |
| ضخامت استخوان ترابیکولار ( میکرون) | پیش آزمون | ۱/۳۶±۷/۶۶ | ۱/۳۶±۷/۶۶ | ۱/۳۶±۷/۶۶ |
| | پس آزمون | ✝#۳/۶۷±۱۱/۶۶ | #۱/۶۴±۹/۸۷ | ✝۱/۲۲±۵/۱۱ |
| حجم استخوان ترابیکولار (٪) | پیش آزمون | ۵/۸۴±۷۲/۱۶ | ۵/۸۴±۷۲/۱۶ | ۵/۸۴±۷۲/۱۶ |
| | پس آزمون | ✝#۵/۰۶±۷۹/۷۷ | #۲/۵۰±۷۶/۳۳ | ۳/۹۰±۷۰/۵۵ |
| فاصله بافت ترابیکولار (میکرون) | پیش آزمون | ۳/۷۱±۱۷/۸۳ | ۳/۷۱±۱۷/۸۳ | ۳/۷۱±۱۷/۸۳ |
| | پس آزمون | ✝⁂ ۸/۶۳±۳۰/۸۸ | #۴/۶۸±۲۳/۷۵ | ✝۱/۵۳±۱۱/۸۸ |

✹ *داده ها به صورت میانگین±انحراف معیار گزارش شدند.* *#نشانه اختلاف معنادار در مقایسه با گروه کنترل*

✝*نشانه اختلاف معناداری در مقایسه با مرحله پیش آزمون* ⁂ *نشانه اختلاف معناداری ئر مقایسه با گروه کلسیم*

ترابیکولار و حجم و ضخامت هر دو نوع بافت استخوانی کورتیکال به ویژه ترابیکولار شد، در حالی که روند کاهشی ناشی از عقیم‌سازی بر میزان این شاخص‌ها در گروه کنترل ادامه داشت که البته این کاهش فقط در خصوص فاصله و ضخامت بافت استخوانی ترابیکولار معنادار بود. پژوهش‌های انجام شده حاکی از آن است که تمرین اثر مثبتی بر ساختار استخوان دارد(۴،۱۰) و نیز مشخص شده که ورزش‌های تحمل وزن مزایایی در زمینه افزایش چگالی مواد معدنی در انسان‌ها (۱۹) و حیوانات(۱۸،۱۹) دارد. گزارش برخی محققان دیگر نیز حاکی از آن است که تماس با زمین و همچنین انقباض عضلانی به لحاظ مکانیکی باعث اعمال بار (استرس) روی استخوان و در نتیجه تغییر شکل (استرین) استخوان می‌شوند. از آنجا که استخوان‌ها نمی‌توانند علت کشش عضلانی را حس کنند، لذا این احتمال وجود دارد کشش‌های ناشی از انقباضات عضلانی روی استخوان به اندازه نیروی عکس‌العمل زمین در حفظ هموستاز استخوان اثربخش باشد(۱۹). هرچند مشخص شده ویژگی‌های ویژه بارگیری از قبیل: تعداد، میزان، جهت و بزرگی چرخه بارگیری برای سازگاری استخوان ضروری هستند(۱۲)، اما به طور کلی استرس مکانیکی بر استخوان باعث تغییر شکل انواع بافت استخوانی در درون استخوان(استرین) می‌شود که استخوان را تحریک می‌کند تا با شکل‌گیری مجدد با این نیازهای جدید سازش یابد و سرانجام باعث مقاومت در برابر شکستگی استخوان شود(۱۹). نتیجه پژوهش حاضر نشان داد تمرین علاوه بر مهار تغییرات منفی ناشی از عقیم‌سازی بر توده استخوان متافیز فوقانی درشت نی و به خصوص بر تفکیک و ضخامت بافت ترابیکولار، باعث بهبود این شاخص‌ها نیز شده، به گونه‌ای که این تغییرات در مقایسه با گروه کنترل معنادار بوده است.

کاهش حجم و ضخامت بافت کورتیکال و به ویژه ترابیکولار در گروه کنترل در پژوهش حاضر را می‌توان به تغییرات پوکی استخوانی نوع اول که ناشی از کمبود استروژن است، نسبت داد. با این وجود، عدم کاهش قابل توجه این شاخص‌ها در این گروه را احتمالا می‌توان به سن آزمودنی‌ها، تغییرات فعالیت هورمون‌های درگیر در متابولیسم استخوان و همچنین ترشح اندک هورمون‌های کورتیکواستروئیدی مترشحه از قشر فوق کلیوی موسوم به گنادوکورتیکوئیدها نسبت داد. از سوی دیگر، محققان زیادی گزارش دادند، سازگاری ناشی از بارگیری مکانیکی در حجم بافت استخوانی

Archive of SID

[ Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-06 ]



www.SID.ir

کورتیکال بسیار کمتر از بافت ترابیکولار است(۲۰). به خاطر تفاوت های ساختاری، نسبت سطح به حجم در بافت استخوانی ترابیکولار بسیار بیشتر از بافت کورتیکال است(۱۸،۱۹،۲۱). به علاوه، سرعت برگشت[1] آن در مقایسه با بافت استخوانی کورتیکال بالا است(۶،۱۳). همچنین مشخص شده جریان خون بیشتر بافت ترابیکولار سبب فعالیت بالاتر متابولیکی آن شده (۶) و در پاسخ به بارگیری، هورمون و یا داروها نیز پاسخ بهتری دارد(۱۹). لذا پاسخ پذیری بهتر بافت ترابیکولار متافیز بالایی استخوان درشت نی در پژوهش حاضر را می توان به این موارد نسبت داد.

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد متافیز فوقانی استخوان درشت نی نیز همانند مهره‌ها حاوی مقادیر قابل توجه بافت استخوانی ترابیکولار است که در اثر ایجاد شرایط لازم از قبیل یائسگی به میزان زیادی در معرض پوکی استخوان قرار می‌گیرد(۱۰). لذا چگالی ناحیه‌ای مواد معدنی استخوان موضوع دیگری است که احتمالا تا حدی می‌تواند به توجیه تفاوت پاسخ انواع بافت‌های استخوانی در تحقیق حاضر و برخی تحقیقات دیگر کمک نماید. برخی پژوهشگران گزارش دادند اثر استخوان سازی ناشی از ورزش در نواحی مختلف بدن متفاوت است(۲۱). احتمالا چند سازوکار در وقوع اینگونه تغییرات ناحیه‌ای درحساسیت مکانیکی استخوان نقش دارند. جریان خون در ناحیه متافیز استخوان ران و درشت نی موش سوری، موش صحرایی و سگ‌ها ۵۰ تا ۱۰۰ برابر بیشتر از مقدار آن در تنه (دیافیز) این استخوان‌ها است(۲۱). فشار مایع بینابینی از بخش فوقانی به تحتانی اندام ویژه افزایش می‌یابد و این موضوع می‌تواند پاسخ بافت استخوان را به محرک‌های آنابولیکی و کاتابولیکی تحت تاثیر قرار دهد. همچنین سطح وسیع موجود در شبکه ترابیکولار در نواحی متافیز نیز ناحیه وسیع‌تری را برای سلول‌های تشکیل دهنده و جذب‌کننده استخوان برای اتصال به عضله فراهم می‌کند. به علاوه، بافت استخوانی ترابیکولار که از طریق فرایند استخوان‌سازی درون غضروفی (Intracartilagenous ossification) در ناحیه مجاور صفحه رشدی یعنی متافیز تشکیل می‌شوند، به درون قشر حاوی بافت کورتیکال متداخل می‌شوند. در مقابل، استخوان کورتیکال موجود در دیافیز استخوان‌های بلند اساسا از طریق فرایند استخوان سازی درون غشایی (Intramembranous ossification) تشکیل می‌شوند. بنابراین، تفاوت در تنظیم وراثتی رشد و تکامل استخوان احتمالا موجب ایجاد تفاوت در حساسیت مکانیکی در نواحی مختلف استخوان می‌شوند(۲۱). به طور کلی، مکانیزم‌های فیزیکی و بیولوژیکی که سازگاری استخوان به بار روی آن را کنترل می‌کنند، پیچیده‌اند و شامل تعامل مسیرهایی است که درآن گرانش، انقباض‌های عضلانی و فعالیت بدنی درگیرند. به علاوه، یک مولفه وراثتی نیز وجود دارد که حساسیت دستگاه عضلانی اسکلتی به سیگنال‌های مکانیکی را مشخص می‌کند(۱۰).

در این تحقیق مشخص شد، مصرف ۸ هفته مکمل کلسیم باعث افزایش غیر معنادار ضخامت و حجم بافت استخوانی کورتیکال و افزایش معنی‌دار فاصله، ضخامت و حجم بافت استخوانی ترابیکولار در مقایسه با گروه کنترل شد. مطالعات نشان دادند ورزش در طی رشد، فرایند شکل‌گیری استخوان را به طور موضعی در نواحی تحت بارگیری تحت تاثیر قرار می‌دهد، در حالی که اعتقاد بر این است که کلسیم به طور سیستماتیک در شکل‌گیری مجدد استخوان عمل می‌کند. از اینرو به نظر می‌رسد ورزش و کلسیم در فرایند استخوان سازی به هم وابسته‌اند(۱۴). برخی گزارش‌های پژوهشی حاکی از آن است که ورزش استقامتی با شدت متوسط سبب افزایش نشانه‌های برگشت کلاژن استخوان و تغییر هموستاز کلسیم در افراد بالغ جوان و زنان سالمند می‌شود(۱۳). مصرف اندک کلسیم از طریق تغذیه ممکن است پاسخ سازشی استخوان به بارگیری ناشی از ورزش را به حداقل برساند. در مقابل، مصرف مقادیر زیاد کلسیم ممکن است اثر ورزش در نواحی تحت بار را افزایش

Archive of SID
[ Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-06 ]
www.SID.ir

دهد. اینکه چرا مکمل کلسیم بافت استخوانی کورتیکال را در پژوهش حاضر به طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار نداده، اما بر بافت ترابیکولار اثرگذار بوده کاملا مشخص نیست. با این وجود، مشخص شده مکمل گیری کلسیم سرعت شکل‌گیری مجدد (Remodeling) استخوان را کاهش می‌دهد و بازجذب استخوان را در بافت استخوانی ترابیکولار تحت تاثیر قرار می‌دهد و به نظر نمی‌رسد بر شکل‌گیری(Modeling) استخوان موثر باشد(۳). با توجه به مکانیزم‌های مختلف تسهیل کننده پاسخ استخوان سازی به ورزش و کلسیم، هنوز مشخص نیست آیا عملکرد ترکیبی فعالیت بدنی و کلسیم تغذیه‌ای می‌تواند باعث ایجاد اثر اضافی و یا کمکی بر استخوان شود؟ همچنین اینکه آیا این میزان بهبود ضخامت و حجم بافت‌های استخوانی کورتیکال و ترابیکولار در طی دوره طولانی حفظ می‌شود؟ نیز مشخص نیست و مطالعات بیشتری برای بررسی اهمیت انجام ورزش در طی رشد به منظور بهبود بلند مدت سلامت استخوان مورد نیاز است.

به طور خلاصه، با توجه نتایج این پژوهش می‌توان گفت عقیم‌سازی موش‌های صحرایی با کاهش ویژگی‌های مورفولوژی هر دو نوع بافت استخوانی کورتیکال و به ویژه ترابیکولار در استخوان‌های متحمل وزن بدن همراه است و انجام تمرینات دوی استقامتی فزاینده روی نوارگردان و یا مکمل کلسیم می‌تواند اثر مهاری و یا برگرداننده در میزان این شاخص‌ها داشته باشد. از اینرو، فواید اسکلتی را می توان با تغییرات اندک در شیوه زندگی شامل اجرای فعالیت‌های تحمل وزن و مکمل کلسیم بدست آورد. هرچند در این پژوهش به برخی سئوالات در زمینه ساختار استخوان پاسخ داده شد، اما هنوز سئوالات فراوانی در این راستا وجود دارد که نیاز به بررسی دارد. چگونه می توان فواید حاصله با ورزش را در دوره طولانی‌تر به میزان بیشتری بهبود بخشید و اینکه آیا در صورت کاهش و یا توقف ورزش فواید حاصله حفظ خواهد شد؟

## References


1. Arens D, Ilonka S, Mauro A, Peter S, Erich S, Marcus E. Seasonal changes in bone metabolism in sheep. Veterinary J 2007; 174: 585-591.
2. Haworth C.S, Kevin W.A, James J.E, Peter L.S, Philip S.H, Paul W.B, et al. Bone Histomorphometry in Adult Patients With Cystic Fibrosis. Chest 2000; 118: 434-439.
3. Zittermann A, Sabatschus O, Jantzen S, Platen P, Danz A, Dimitriou T, et al. Exercise-trained young men have higher calcium absorption rates and plasma calcitriol levels compared with age-matched sedentary controls. Calcif Tissue Int 2000; 67: 215-219.
4. Fürst A, Meier D, Michel S, Schmidlin A, Held L, Laib A. Effect of age on bone mineral density and micro architecture in the radius and tibia of horses: An Xtreme computed tomographic study. BMC Vet Res 2008; 4(3): 1-12.
5. Recker R, Bare S, Smith S, Varela A, Miller M, Morris S, et al. Cancellous and cortical bone architecture and turnover at the iliac crest of postmenopausal osteoporotic women treated with parathyroid hormone 1-84. Bone 2009; 44(1): 113-119.
6. Vondracek SF, Hansen LB, McDermott MT. Osteoporosis risk in premenopausal women. Pharmacotherapy 2009; 29(3): 305-317.
7. Yingling VR, Yongqing X, Theodore R, Mitchell S, Karen K, Rumena M. The effect of a short-term delay of puberty on trabecular bone mass and structure in female rats: A texture-based and histomorphometric analysis. Bone 2007; 40(2): 419-424.


Archive of SID

[ Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-06 ]



www.SID.ir

8. Narattaphol C, Kukiat T, Kanogwun T, Wasana S, Supaporn P, Nateetip K. High-calcium diet modulates effects of long-term prolactin exposure on the cortical bone calcium content in ovariectomized rats. Am J Physiol Endocrinol Metab 2007; 292: E443-E452.
9. Storm DR, Eileen S, Katherine M, Donald V, Christine P, Cathy K, et al. Calcium supplementation Prevents Seasonal Bone Loss and Changes in Biochemical Markers of Bone Turnover in Elderly New England Women: A Randomized Placebo-Controlled Trial. J Clin Endoc Metabolism 1998; 88(11): 3817-3825.
10. Sehmisch S, Galal R, Kolios L, Tezval M, Dullin C, Zimmer S, et al. Effects of low-magnitude,high-frequency mechanical stimulation in the rat osteopenia model. Osteoporos Int 2009; 10(198): 892-893.
11. Renno Ana CM, Anna Raquel S, Gomes S. Effects of a progressive loading exercise program on the bone and skeletal muscle properties of female osteopenic rats. Exper Gerontol 2007; 24: 517-522.
12. Huang TH, Lin SC, Chang FL, Hsieh SS, Liu SH, Yang RS. Effects of different exercise modes on mineralization, structure, and biomechanical properties of growing bone. J Appl Physiol 2003; 95: 300-307.
13. Yeh J.K, Niu Q, Evans GF, Iwamoto J, Aloia JF. Effect of circular motion exercise on bone modeling and bone mass in young rats: An animal model of isometric exercise. J Musculoskel Neuron Interact 2001; 1(3): 235-240.
14. Bass SL, Geraldine N, Leanne S, Sandra I, Robin D, Esther MB, et al. Exercise and Calcium Combined Results in a Greater Osteogenic Effect Than Either Factor Alone: A Blinded Randomized Placebo-Controlled Trial in Boys. J Bone Mineral Res 2007; 22(3): 458-464.
15. Welch JM, Weaver CM. Calcium and exercise affect the growing skeleton. Nutr Rev 2005; 63(11): 361-73.
16. Lower JM, Powers SK, Hammernj Martin AD. Oxygen cost of treadmill running in 24-month- old fischer-344 rats. Med Sci Sports Exerc 1993; 25(11): 1259-1264.
17. Abdoullahi F, Shabanchani B, Zarghami M. Study of menopausal age in women living in Mazandaran province in 2002. J Mazand Uni Med Sci 2004; 14(42): 61-68(Persian).
18. Peng ZQ, Vaananen HK, Tuukkanen J. Ovariectomy- induced bone loss can be affected by different intensities of treadmill running exercise in rats. Calcif Tissue Int 1999; 60(5): 441-448.
19. Warner SE, Shea JE, Miller SC, Shaw JM. Adaptations in Cortical and Trabecular Bone in Response to Mechanical Loading with and without Weight Bearing. Calcif Tissue Int 2006; 79: 395-403.
20. Fritton JC, Myers ER, Wright TM, van der Meulen MC. Loading induces site-specific increases in mineral content assessed by microcomputed tomography of the mouse tibia. Bone 2005; 36: 1030-1038.
21. Hamrick MW, Skedros JG, Pennington C, McNeil PL. Increased osteogenic response to exercise in metaphyseal versus diaphyseal cortical bone: J Musculoskel Neuron Interact 2006; 6(3): 258-263.

Archive of SID

[ Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-06 ]


www.SID.ir