پژوهش درپزشکی (مجله پژوهشی دانشکده پزشکی)
دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی
دوره ۳۱، شماره ۱، بهار ۱۳۸۶، صفحات ۷۳ تا ۷۸

مقاله اصلی
(Original Article)

اثر مکمل سازی بورون و کلسیم بر خواص مکانیکی استخوان در موش صحرایی

محمدرضا نقی‌ئی[*]، گیتی ترکمان[**]، محمود مفید[***]

[*] گروه تغذیه، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه ا...(عج)
[**] گروه فیزیوتراپی، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس
[***] گروه آناتومی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه ا...(عج)

چکیده

سابقه و هدف: *هدف از انجام این مطالعه بررسی اثرات مکمل‌سازی بورون(B) و کلسیم(Ca) بر خواص مکانیکی بافت‌های استخوانی و محتوای عناصر استخوان‌های انتخابی در موش صحرایی است.*

روش بررسی: *در این پژوهش تجربی مداخله‌ای، موش‌های بالغ نر نژاد Sprague Dowely به مدت چهار هفته ضمن دسترسی به غذای آزاد در سه گروه تقسیم بندی شده و به ترتیب روزانه ۲mg بورون، ۳۰۰mg کلسیم و ترکیبی از این دو عنصر (۲ mg بورون و ۳۰۰ mg کلسیم) را در آب آشامیدنی دریافت کردند. گروه کنترل از آب آشامیدنی و غذای بدون مکمل استفاده کردند. پس از اتمام کارآزمایی وزن حیوانات ثبت شد و خواص مکانیکی استخوان‌های تیبیا، فمور و پنجمین مهره کمری با استفاده از تستهای خمش سه نقطه‌ای و فشاری تعیین شد. محتوای عناصری این استخوان‌ها نیز به صورت درصد خاکستر محاسبه گردید.*

یافته‌ها: *در اثر مکمل‌سازی با بورون خواص مکانیکی بهتری در استخوان‌ها مشاهده شد. سفتی مهره‌های کمری در همه گروه‌های تجربی روند افزایشی داشت و در گروه کلسیم نسبت به گروه کنترل اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. حداکثراستحکام معنی‌دار در گروه بورون در همه استخوان‌ها بیانگر استحکام بیشتر بود، در حالیکه کمترین استحکام در گروه کلسیم مشاهده شد. این اثر منفی در مهره‌های کمری در حضور بورون با اصلاح همراه بود. بیشترین میانگین انرژی جذب شده تا قله منحنی نیرو- تغییرطول در گروه مکمل‌سازی بورون مشاهده شد که در مقایسه با گروه کلسیم معنی دار بود. انرژی جذب شده (سطح زیر منحنی) تا نقطه شکست منحنی نیرو– تغییر طول در گروه‌ها اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. میزان تغییر طول در نقطه حداکثر استحکام منحنی نیرو- تغییر طول درگروه کلسیم کمترین مقدار را داشت. میزان تغییر طول تا نقطه شکست درگروه‌ها اختلاف معنی داری را نشان نداد. وزن خاکستر استخوان‌ها در بین چهار گروه اختلاف معنی داری نداشت.*

نتیجه‌گیری: *مکمل‌سازی بورون باعث افزایش خواص بیومکانیکی استخوان‌ها در مقایسه با گروه های دیگر شده و کارآمدی این اثر در استخوان های مهره کمری برجسته‌تر است.*

واژگان کلیدی: *بورون، کلسیم، مکمل سازی، خواص مکانیکی استخوان، موش آزمایشگاهی.*

مقدمه

در مطالعات انسانی، اندازه‌گیری تراکم استخوان (BMD) یک شاخص رایج رشد، تکامل و ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان است. انجام فعالیت فیزیکی توام با تحمل وزن، وضعیت تراکم استخوان را بهبود می‌بخشد (۱). جذب یا احتباس عناصر و مواد مغذی و در نهایت مینرالیزاسیون استخوان نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۲). برای بررسی رشد استخوان در انسان، مطالعات عمدتاً به رادیوگرافی‌های غیر تهاجمی (اما پرخطر) یا ارزیابی مارکرهای استخوانی محدود می‌شوند، در حالی که می‌توان با استفاده از مدل های حیوانی و انجام تست‌های مستقیم بیومکانیکی انعکاس بهتری از خواص

آدرس نویسنده مسئول: تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده پزشکی، گروه فیزیوتراپی، گیتی ترکمان
(**email:** torkamg@modares.ac.ir)
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۵/۷/۳۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۵/۱۲/۲۳

[Downloaded from pejouhesh.sbmu.ac.ir on 2026-11-19]

مکانیکی استخوان در مقایسه با اندازه گیری‌های تراکم استخوانی به‌دست آورد (۳).

از تست‌های استحکام شکنندگی استخوان (Ultimate Strength) و خاکستر استخوان (Bone Ash) اغلب به عنوان معیارهایی برای ارزیابی ارزش مکمل‌های رژیمی گوناگون، به ویژه عناصر استفاده می‌شود. تشکیل توده استخوانی بیشتر در دوران رشد از اثرات ناخواسته ضایعات استخوانی پیشگیری می‌کند (۴). با وجود این که از کلسیم، فسفر و ویتامین D (کله‌کلسیفرول) به عنوان اجزای اصلی مینرالیزاسیون استخوان نام برده می‌شود، اما دیگر مواد مغذی نظیر بورون نیز می‌توانند کاربرد این مواد مغذی را تحت تاثیر قرار دهند. در میان عناصر مطالعه شده برای متابولیسم و استحکام استخوان، بورون (پنجمین عنصر در جدول تناوبی عناصر) دارای خواص مهمی است که از نظر بالینی توجه زیادی را به خود معطوف داشته است و به عنوان عنصر مکمل از عملکرد کلسیم، منیزیم و ویتامین D حمایت می‌کند (۸-۵).

کارآزمایی‌های نسبتاً زیادی که با مکمل‌سازی یا محدود کردن دریافت بورون در انسان انجام شده، نشان داده است که این عنصر به طور حیاتی در متابولیسم استخوان نقش دارد. این حقیقت به خوبی مورد قبول واقع شده است که کلسیم و منیزیوم از اجزای ترکیبی مهم یا بلوک‌های ساختمانی استخوان سالم هستند. به نظر می‌رسد که بورون دفع ادراری کلسیم و منیزیم را کاهش داده و میزان کلسیم یونیزه را افزایش می‌دهد که با تاثیرگذاری برعملکرد کلیه اثر خود را اعمال می‌کند (۹). به علاوه، بورون اثرات تکمیلی و مفید دیگری بر متابولیسم استخوان به جای می‌گذارد که به عنوان یک حامی، عامل پشتیبانی کننده و یا تسهیل کننده برای حفظ انسجام استخوان با تاثیر بر ویتامین D و کلسیم است (۱۰،۶). شواهد دیگری اشاره بر این نکته دارند که خواص ترکیبی وعملکرد استخوان‌ها تحت تاثیر وضعیت بورون قرار دارند (۱۱).

با توجه به اینکه در مطالعات انسانی اثر مکمل‌سازی بورون بر استحکام مکانیکی استخوان فقط به روش‌های غیرمستقیم تصویربرداری و ارزیابی بیومارکرهای استخوانی در خون و ادرار محدود می‌شود، در این مطالعه اثرات مکمل‌سازی بورون و کلسیم بر خواص مکانیکی بافت‌های استخوانی و محتوای عنصری نمونه استخوان‌های انتخابی در موش صحرایی بررسی شد.

مواد و روشها

بیست موش نر بالغ Sprague- Dawley در دامنه وزنی ۱۵±۲۱۹ گرم انتخاب شدند. حیوانات به طورتصادفی در گروه کنترل (A)، شامل چهار موش، و سه گروه تجربی (هر کدام شامل پنج موش) دسته بندی شده وپس از وزن‌کشی اولیه در قفس های پلی کربنات قرار داده شدند. موش‌ها در شرایط کنترل شده نگهداری شدند و در دمای ثابت اتاق و سیکل خاموش- روشن ۱۲:۱۲ ساعت قرار گرفته و به میزان دلخواه از غذای پلت به مدت چهار هفته استفاده کردند. در کارآزمایی‌ها، موش‌های گروه‌های تجربی با بورون و کلسیم افزوده شده به آب آشامیدنی مکمل سازی شدند. ابتدا میزان آب مصرفی همه حیوانات در یک هفته کنترل و ثبت شد. سپس بورون و کلسیم به حجم محاسبه شده اضافه شد. افزودن بورون یا کلسیم به آب آشامیدنی تغییری در دریافت میزان آب ایجاد نکرد وحجم آب مصرفی درگروه های مکمل سازی شده وگروه کنترل یکسان بود. در گروه بورون (B) مقدار ۲ میلی‌گرم بورون در روز، در گروه کلسیم (C) ۳۰۰ میلی‌گرم کلسیم در روز و در گروه ترکیبی (D) ۲ میلی‌گرم بورون به اضافه ۳۰۰ میلی‌گرم کلسیم در روز به ازای هر موش اضافه شد. از اسید بوریک به عنوان منبع بورون و از کربنات کلسیم به عنوان منبع کلسیم استفاده شد. گروه کنترل به آب مقطر آشامیدنی دسترسی داشت. پس از مدت زمان چهار هفته، حیوانات در تمامی گروه‌ها بیهوش و پس از وزن‌کشی کشته شدند.

برای مطالعه خواص مکانیکی استخوان، استخوان‌های تیبیا، فمور و پنجمین مهره کمری موش‌ها جدا شد. پس از تمیزکردن بافت‌های نرم، نمونه‌ها در محلول سالین ٪۰/۹ تا زمان ارزیابی نگهداری شدند. خواص مکانیکی پنجمین مهره کمری با انجام تست فشاری (The axial compression test) و خواص مکانیکی نمونه های تیبیا و فمور چپ با تست خمش سه نقطه‌ای (The three-point bending test) بررسی شد. آزمون‌های مکانیکی با استفاده ازدستگاه Zwick materials testing- machine Z2.5, Germany انجام گرفت. برای تست خمش سه نقطه‌ای فاصله دو تکیه‌گاه ۲۰ میلی‌متر و سرعت آزمون ۱ میلی‌متر در دقیقه بود. سرعت انجام تست فشاری نیز ۱ میلی‌متر در دقیقه بود. پس از انجام تست‌ها، منحنی‌های نیرو – تغییر شکل و استرس- استرین ترسیم شد. سپس پارامترهای مکانیکی شامل سفتی (شیب قسمت خطی منحنی نیرو- تغییر شکل)، حداکثر استحکام تحمل شده، استحکام استخوان در نقطه شکست، میزان تغییرشکل استخوان در قله

[Downloaded from pejouhesh.sbmu.ac.ir on 2026-11-19]

منحنی و نقطه شکست وانرژی جذب شده یا کار انجام شده تا قله منحنی و نقطه شکست محاسبه گردید. انرژی‌های جذب شده به صورت مساحت زیر منحنی نیرو- تغییرطول در دو نقطه قله منحنی و نقطه شکست محاسبه شد (۳، ۱۲). درصد خاکستر برای محاسبه محتوای عناصر بر اساس روش Chakkalakal و همکاران (۱۹۹۱) تعیین شد (۱۲). نمونه‌ها در ظروف چینی در دمای ۱۱۰ درجه‌سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند، سپس وزن شده و در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خاکستر شدند. وزن خاکستر به صورت درصدی از وزن خشک محاسبه شد.

آنالیز داده ها با استفاده از آمار توصیفی برای تعیین میانگین و فاصله اطمینان ۹۵٪ برای هر متغیر انجام گرفت. جهت آنالیز تغییرات گروه‌های آماری از آزمون‌های غیرپارامتری Mann- Whitney U و Kruscal-Wallis استفاده شد. $p<۰/۰۵$ معنی‌دار در نظر گرفته شد. داده‌های نمونه‌های مهره کمری در گروه چهارم (D) از چهار نمونه استخوان استخراج شد .

یافته‌ها

تغییرات مشاهده شده در وزن بدن موش‌ها طی پروتکل چهار هفته‌ای در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول۱- تغییرات در وزن حیوانات پس از چهار هفته

	گروه‌ها*			
	A (n=۴)	**B** (n=۵)	**C** (n=۵)	**D** (n=۵)
قبل از آزمایش (گرم)	۲۲۱±۱۹	۲۲۶±۴۰	۲۱۴±۱۲	۲۱۷±۲۲
بعد از آزمایش (گرم)	۲۷۰±۱۶	۲۹۷±۱۶	۲۵۸±۱۵	۲۶۹±۴۱

* **A**: کنترل، **B:** بورون، C: کلسیم، **D:** بورون+کلسیم

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، نتایج به دست آمده از تست‌های بیومکانیکی بیانگر قدرت و استحکام مکانیکی بیشتر استخوان‌ها در گروه مکمل‌سازی با بورون است. سفتی استخوان‌های تیبیا، فمور و مهره کمری در گروه بورون بیشتر از سایر گروه‌ها بود، هر چند اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. سفتی مهره کمری درگروه کلسیم نسبت به گروه کنترل افزایش معنی‌داری را نشان داد ($P<۰/۰۵$). میانگین حداکثر استحکام استخوان‌های تیبیا، فمور و مهره کمری در گروه بورون بیشتر از میانگین گروه‌های دیگر بود که این نکته نشان دهنده قدرت مکانیکی یا استحکام بیشتر این استخوان‌ها در مکمل‌سازی با بورون بود. استحکام کمتر استخوان در گروه کلسیم بیانگر این است که مقادیر زیاد کلسیم دریافتی می‌تواند استخوان‌های اسفنجی نظیر مهره‌های کمری را مستعد به صدمات بیشتر یا به عبارتی استحکام کمتر نماید. این اثر منفی در گروه چهارم (کلسیم+بورون) در حضور بورون دیده نشد که اشاره بر نقش حفاظتی بورون در مقابل اثرات سوء مصرف کلسیم زیاد بر استخوان دارد.

آنالیز آماری نشان داد که گروه مکمل سازی شده با بورون در هر سه منطقه استخوانی دارای بیشترین میانگین انرژی جذب شده تا قله منحنی در مقایسه با گروه های دیگر بود و کمترین میانگین در گروه کلسیم مشاهده شد. در تمام نمونه‌های استخوانی، گروه بورون میانگین انرژی جذب شده بیشتری در مقایسه با گروه کلسیم داشتند. به‌علاوه انرژی جذب شده مهره کمری درگروه کلسیم به طور معنی‌داری کمتر از گروه کنترل بود. میانگین حداکثر استحکام و انرژی جذب شده تا قله منحنی مهره های کمری در گروه کلسیم کمترین مقدار را داشت و بیشترین استحکام در گروه بورون دیده شد. میزان انرژی جذب شده استخوان‌ها تا نقطه شکست نیز درگروه کلسیم نسبت به سایر گروه‌ها کمترین مقدار را داشت، اما اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. میزان تغییر شکل تا نقطه حداکثر استحکام، در استخوان‌های مکمل‌سازی شده با کلسیم در مقایسه با گروه‌های دیگر کمتر بود.

تجزیه و تحلیل آماری نشان داد این تغییر شکل در استخوان‌های فمور گروه بورون و گروه ترکیبی بورون و کلسیم در مقایسه با گروه کلسیم بیشتر بود، اما تغییر شکل در استخوان‌های تیبیا در گروه بورون مشابه گروه کلسیم و کمتر از گروه‌های کنترل و ترکیبی بود. تغییر شکل تا نقطه حداکثر استحکام در مهره‌های کمری گروه کلسیم کم و در گروه ترکیبی بیشتر بود. روند تغییر شکل تا نقطه شکست در همه استخوان‌ها مانند تغییر شکل تا نقطه حداکثر استحکام بود، اما بین گروه‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. اختلاف معنی‌داری بین وزن خاکستر استخوان‌ها در گروه‌ها مشاهده نشد (جدول۳).

جدول ۳- میزان مواد معدنی استخوان حیوانات پس از چهار هفته*

	درصد وزن بافت خشک استخوان در گروهها			
	A† (n=۴)	**B** (n=۵)	**C** (n=۵)	**D** (n=۵)
استخوان فمور	۵۸/۵±۲/۶	۶۰/۵±۱/۱	۵۹/۶±۱	۵۹±۲/۷
استخوان تیبیا	۵۵/۴±۳/۲	۵۸±۱/۵	۵۶±۲	۵۵±۲/۵
مهره کمری پنجم	۵۵/۸±۳/۴	۵۶/۵±۱/۴	۵۴/۲±۳	۵۶±۱/۵

*درصد وزن بافت خشک استخوان در گروهها اختلاف معنی دارنشان نداد.

† A: کنترل، B: بورون، C: کلسیم، D: بورون+کلسیم

[Downloaded from pejouhesh.sbmu.ac.ir on 2026-11-19]

جدول ۲ –میانگین و انحراف معیار پارامترهای استخوانهای فمور،تیبیا و مهره کمری

پارامترهای بیومکانیکی بافت	A (کنترل)	B (بورون)	C (کلسیم)	D(بورون+کلسیم)
سفتی استخوان(N/mm)				
فمور	۹۲/۰±۱۶/۸	۹۳/۶±۱۴/۴	۹۱/۹±۱۲/۹	۹۲/۴±۲۸/۳
تیبیا	۳۷/۵±۱۴	۳۲/۳±۷/۸	۲۸/۱±۸	۲۸/۸±۶/۳
پنجمین مهره کمر	۱۴۷±۳۲/۹	۲۱۸/۴±۸۳/۸	۲۰۰/۴±۳۵/۲[a]	۱۹۲/۷±۵۹/۴
حداکثر استحکام(N)				
فمور	۸۴/۹±۱۷/۴	۹۳/۹± ۱۲[b]	۷۹/۴±۹/۲	۸۸/۷± ۲۲
تیبیا	۴۸/۳±۱۲/۴	۵۳/۲± ۳/۶[b]	۴۴/۳±۴/۴	۴۷/۴±۹/۷
پنجمین مهره کمر	۱۹۵/۶±۴۸/۷	۲۴۳/۱±۴۱/۶[b]	۱۳۱/۵±۲۸/۴[c]	۱۹۲/۰۸±۴۳/۳[d]
انرژی جذب شده تا نقطه شکست(N/mm)				
فمور	۵۹/۶±۱۶/۵	۷۰/۹±۱۲/۸	۵۳/۷±۶/۹	۶۱/۹±۲۱/۶
تیبیا	۶۱/۴±۲۰/۱	۶۰/۸± ۱۰/۵	۴۳/۱±۴/۸	۶۰/۳± ۲۷/۸
پنجمین مهره کمر	۲۱۸/۸±۷۳	۳۱۲/۱±۱۱۵/۷	۱۳۶/۶±۶۸/۵	۳۱۲/۹±۱۸۶/۷
انرژی جذب شده تا نقطه حداکثر استحکام(N/mm)				
فمور	۵۳/۸±۱۱/۸	۶۳/۸±۱۱/۵	۴۶/۳±۶/۵[e]	۵۶/۱±۱۳/۷
تیبیا	۵۰/۳±۱۳/۵	۵۵/۸±۱۳/۸	۴۱/۰±۴/۴[e]	۴۶/۶±۱۶/۵
پنجمین مهره کمر	۱۲۸/۳±۴۴/۶[f]	۱۶۶/۸±۴۹/۶	۶۳/۵±۱۱/۴[e]	۱۵۸/۴±۱۰۸/۸
تغییر شکل تا نقطه حداکثر استحکام (mm)				
فمور	۱/۸۹±۰/۴۸	۲/۲۴±۰/۲۰[g]	۱/۶۳±۰/۱۴	۲/۳۱±۰/۴۹[h]
تیبیا	۳/۸۶±۰/۳۵	۲/۸۳±۰/۵۲[gi]	۲/۷۳±۰/۶۲	۳/۶۷±۰/۴۵[hij]
پنجمین مهره کمر	۱/۶۶±۰/۵۲	۱/۴۸±۰/۴۰[g]	۱/۱۳±۰/۱۵	۲/۱۴±۰/۷۳[h]
تغییر شکل تا نقطه شکست(mm)				
فمور	۱/۹۷±۰/۴۴	۲/۳۳±۰/۲۱	۱/۷۷±۰/۲۲	۲/۳۷±۰/۵۳
تیبیا	۴/۱۶±۰/۵۴	۲/۹۵±۰/۴۴	۲/۸۰±۰/۶۵	۴/۰۷±۰/۷۱
پنجمین مهره کمر	۲/۵±۰/۸۶	۲/۳۸±۰/۳۵	۱/۹۸±۰/۶۸	۳/۳۱±۰/۹۳

a-گروه **C** افزایش معنی داری نسبت به گروه **A** دارد، b- گروه **B** افزایش معنی داری نسبت به گروه **C** دارد، c- گروه **C** کاهش معنی داری نسبت به گروه **A** دارد، d- گروه **D** افزایش معنی داری نسبت به گروه **C** دارد، e- گروه **C** کاهش معنی داری نسبت به گروه **B** دارد، f- گروه **C** کاهش معنی داری نسبت به گروه **A** دارد، g- گروه **B** افزایش معنی داری نسبت به گروه **C** دارد، h- گروه **D** افزایش معنی داری نسبت به گروه **C** دارد، i – گروه**B**و**C** کاهش معنی داری نسبت به گروه **A** دارد، j- گروه **D** افزایش معنی داری نسبت به گروه **B** دارد.

بحث

بررسی مستقیم بیومکانیکال در صورت استفاده از مدل‌های حیوانی امکان‌پذیر بوده و مطالعه تحمل شکست استخوان و مقدار خاکستر آن اغلب به عنوان معیاری برای ارزیابی نقش مکمل‌های رژیمی به‌ویژه نقش عناصر بر وضعیت استخوان کاربرد دارند. نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که بورون به عنوان یک عنصر دارای نقش فیزیولوژیک در تغذیه حیوانی و انسانی است که خواص مکانیکی استخوانی و درصد خاکستر آن با این عنصر افزایش می‌یابد. هم‌چنین این حقیقت به خوبی پذیرفته شده است که کلسیم بخشی از ترکیب مهم ساختمانی استخوان سالم است. شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد مصرف بورون بر متابولیسم استخوان و خاکستر آن موثر است و گزارش شده مصرف این مکمل همراه با کلسیم و فسفر اثرات مطلوب‌تری بر جای می‌گذارد. در مطالعه حاضر مکمل‌سازی با بورون، استحکام مکانیکی استخوان‌های تیبیا، فمور و پنجمین مهره کمری را افزایش داد. افزایش حداکثر استحکام، سفتی و انرژی جذب شده استخوان‌ها در گروه

[Downloaded from pejouhesh.sbmu.ac.ir on 2026-11-19]

بورون نسبت به گروه مکمل‌سازی کلسیم و ترکیب کلسیم و بورون مشهود بود و نشان داد ترکیب دو عنصر کلسیم و بورون اثر هم‌افزایی برای افزایش قدرت مکانیکی استخوان نداشته است. مطالعات انجام شده با استفاده از دوزهای مختلف در حیوانات آزمایشگاهی با نتایج متفاوتی همراه بوده است. در خوک‌های نر با مکمل‌سازی به میزان ۵ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم گشتاور خمشی استخوان (Bone bending moment) افزایش یافت، اما این اثر در خوک های ماده دیده نشد (۱۳). در موش نر، مکمل‌سازی بورون تغییری در استحکام تیبیا و فمور درتست خمش نشان نداد، اما استفاده از مکمل بورون به میزان ۲۰۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم مقاومت مهره‌ها را نسبت به نیروی فشاری و خرد کنندگی افزایش داد (۱۴). به علاوه، مکمل‌سازی ۱۵ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم رژیم غذایی باعث افزایش حداکثر استرس برشی فیبولا شد (۱۵) و رژیم غذایی پایه مکمل‌سازی شده با ۵ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم باعث افزایش معیارهای استحکام درونی و بیرونی استخوان فمور گردید (۱۶). Nielsen و همکاران (۱۹۸۷) گزارش کردند که مکمل‌سازی ۳ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم بورون در انسان باعث کاهش دفع کلسیم و فسفر ادرار شد (۱۷). در این ارتباط، افزایش معنی‌دار غلظت هورمون‌های استروئیدی پلاسما در rat و انسان نیز گزارش شده است (۱۹-۱۷) و به نظر می رسد این عنصر برای سنتز ویتامین D مورد نیاز باشد (۶). عقیده بر این است که مکمل‌سازی بهینه بورون، هیدروکسیلاسیون کاتابولیک آنزیمی را تنظیم می کند. با توجه به این یافته‌ها، تعجبی نیست که این عنصر برای متابولیسم بهینه کلسیم و در پیشگیری از ایجاد ضایعه استخوانی دارای نقش مفیدی باشد (۲۰) و در بعضی از نارسایی‌های با علت ناشناخته نظیر استئوپروز که متابولیسم عناصر اصلی دچار اختلال است، نقش داشته باشد (۲۱، ۲۲) و از طریق افزایش سنتز کورتیکواستروئیدها بر استئوآرتریت هم تاثیر کند (۲۳، ۲۴). نتایج مطالعه‌ای جدید از این فرضیه حمایت می کند که بورون در حیوانات، نقش بیولوژیک مهمی دارد و با اثرگذاری بر مکانیسم‌های بیوشیمیایی و هماتولوژیکی، متابولیسم عناصر را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۲۵).

اگر چه در این مطالعه اختلاف معنی‌داری در وزن خاکستر استخوان‌ها مشاهده نشد، اما آشکار است که مقاومت استخوان به عنوان یک ماده کامپوزیت که ترکیبی از مواد معدنی کلاژن و مواد زمینه‌ای است، با مصرف مکمل بورون افزایش یافته‌است.

در مجموع، این مطالعه نشان داد که مکمل‌سازی بورون باعث افزایش خواص بیومکانیکی استخوان‌ها در مقایسه با گروه‌های دیگر شده و کارآمدی این اثر در استخوان‌های مهره کمری برجسته‌تر است. با توجه به نتایج به دست آمده از مکمل‌سازی کلسیم و روش ترکیبی کلسیم – بورون که هیچ اثر هم‌افزایی در استحکام مکانیکی و وزن خاکستر استخوان نشان نداد، پیشنهاد می شود که مطالعاتی با حجم بیشتر و دوره پیگیری طولانی‌تر به منظور تعیین اثرات مکمل‌سازی بورون با مقادیر مختلف کلسیم و حتی با عناصر دیگری که در خواص بیومکانیکی استخوان موثر هستند، بر روی مدل‌های حیوانی نظیر موش انجام گیرد.

REFERENCES

1. Lehtonen-Veromma M, Mottonen T, Svedstorm E, Hakola P, Heinonen OJ, Viikari J. Physical activity and bone mineral acquisition in peripubertal girls. Scan J Med Sci Sports 2000; 10: 236-43.
2. Bunout D, Barrera G, Leiva L, Gattas V, de la Maza MP, Haschke F, Steenhout P, Klassen P, Hager C, Offord E, Hirsch S. Effect of a nutritional supplementation on bone health in Chilean elderly subjects with femoral osteoporosis. J Am Coll Nutr 2006; 25: 170-7.
3. 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: 300-7.
4. Viljakainen HT, Natri AM, Karkkainen M, Huttunen MM, Palssa A, Jakobsen J, Cashman KD, Molgaard C, Lamberg-Allardt C. A positive dose response effect of vitamin D supplementation on site-specific bone mineral augmentation in adolescent girls: a double-blinded randomized placebo-controlled 1-year intervention. J Bone Miner Res 2006; 21: 836-44.
5. Naghii MR, Samman S. Role of boron in nutrition and metabolism. Prog Food Nutr Sci 1993; 17: 331-49.

[Downloaded from pejouhesh.sbmu.ac.ir on 2026-11-19]

6. Naghii MR, Samman S. The effect of boron on plasma testosterone and plasma lipids in rats. Nutr Res 1997; 17: 523-32.

7. Kurtoglu V, Kurtoglu F, Coskun B. Effects of boron supplementation of adequate and inadequate vitamin D3 containing diet on performance and serum biochemical characters of broiler chickens. Res Vet Sci 2001; 71: 183-7.

8. Miljkovic D, Miljkovic N, McCarty MF: Up-regulatory impact of boron on vitamin D function- does it reflect inhibition of 24-hydroxylase? Med Hypotheses 2004; 63: 1054-6.

9. Nielsen FH. Studies on the relationship between boron and magnesium which possibly affects the formation and maintenance of bones. Magnes Trace Elem 1990; 9: 61-9.

10. Hegsted M, Keenan MJ, Siver F, Wozniak P. Effect of boron on vitamin D deficient rats. Biol Trace Elem Res 1991; 28: 243-55.

11. McCoy H, Kenney MA, Montgomery C, Irwin A, Williams L, Orrell R. Relation of boron to the composition and mechanical properties of bone. Environ Health Perspect 1994; 102(suppl.7): 49-53.

12. Chakkalakal DA, Strates BS, Mashoof AA, Garvin Novak JR. Fritz ED, Mollner TJ, McGuire MH. Repair of segmental bone defects in the rat: an experimental model of human fracture healing. Bone.1999; 25:321-32.

13. Armstrong TA, Spears JW, Crenshaw TD, Nielsen FH. Boron supplementation of a semipurified diet for weaning pigs improves feed efficiency and bone strength characteristics and alters plasma lipid metabolites. J Nutr 2000; 130: 2575-81.

14. Chapin RE, Ku WW, Kenney MA, McCoy H, Gladen B, Wine RN, Wilson R, Elwell MR. The effects of dietary boron on bone strength in rats. Fundam Appl Toxicol 1997; 35: 205-15.

15. Armstrong TA, Spears JW. Effect of dietary boron on growth performance, calcium and phosphorus metabolism, and bone mechanical properties in growing barrows. J Anim Sci 2001; 79: 3120-7.

16. Armstrong TA, Flowers WL, Spears JW, Nielsen FH. Long-term effects of boron supplementation on reproductive characteristics and bone mechanical properties in gilts. J Anim Sci 2002; 80: 154-61.

17. Nielsen FH, Hunt CD, Mullen LM, Hunt JR. Effect of dietary boron on mineral, estrogen, and testosterone metabolism in postmenopausal women. FASEB J 1987; 1: 394-7.

18. Lee IP, Sherins RJ, Dixon RL. Evidence for induction of germinal aplasia in male rats by environmental exposure to boron. Toxicol Appl Pharmacol 1978; 45: 577-90.

19. Naghii MR, Samman S. The effect of boron supplementation on its urinary excretion and selected cardiovascular risk factors in healthy male subjects. Biol Trace Elem Res 1997; 56: 273-86.

20. Nielsen FH, Shuler TR. Studies of the interaction between boron and calcium, and its modification by magnesium and potassium, in rats. Biol Trace Elem Res 1992; 35: 225-37.

21. Devirian TA, Volpe SL. The physiological effects of dietary boron. Crit Rev Food Sci Nutr 2003; 43: 219-31.

22. Nielsen FH, Penland JG. Boron supplementation of perimenopausal women affects boron metabolism and indices associated with macromineral metabolism, hormonal status and immune function. J Trace Elem Exp Med 1999; 12: 251-61.

23. Travers RL, Rennie GC, Newnham RE. Boron and arthritis: the result of a double-blind pilot study. J Nutr Med 1990; 1: 127-32.

24. Nwenham RE. Essentiality of boron for healthy bones and joints. Environ Health Perspect 1994; 2(suppl7): 83-5.

25. Kurtoglu F, Kurtoglu V, Celik I, Kececi T, Nizamlioglu M. Effects of dietary boron supplementation on some biochemical parameters, peripheral blood lymphocytes, splenic plasma cells and bone characteristics of broiler chicks given diets with adequate or inadequate cholecalciferol (vitamin D3) content. Br Poult Sci 2005; 46: 87-96.

[Downloaded from pejouhesh.sbmu.ac.ir on 2026-11-19]