

## بررسی تأثیر مصرف اسیدهای چرب، مواد مغذی و ویراسیون بر مقاومت مکانیکی و پارامترهای متابولیسی بافت استخوان در موش صحرایی

حسین بهادران **Ph.D.**، سهیلا سلماسی **M.Sc.**، گیتی ترکمان **Ph.D.**، محمدرضا نقی‌ئی **Ph.D.**،

محمد حسین اسدی **Ph.D.**، محمود مفید **Ph.D.**

\* گروه آناتومی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران

\*\* گروه فیزیوتراپی، دانشکده پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

\*\*\* گروه تغذیه، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران

تاریخ دریافت: شهریور ماه ۹۰ تاریخ پذیرش: آذر ماه ۹۰

### چکیده

**هدف:** بررسی تأثیر مصرف اسیدهای چرب، مواد مغذی و ویراسیون به شیوه ترکیبی بر استحکام و پارامترهای متابولیسی بافت استخوان در موش صحرایی

**مواد و روش‌ها:** از ۵۶ سر موش صحرایی نر نژاد wistar به وزن  $150 \pm 30$  گرم استفاده شد. موش‌ها در یک گروه کنترل و ۶ گروه تجربی شامل گروه ویراسیون، ویراسیون + مواد مغذی، ویراسیون + مواد مغذی + روغن‌های موردی کلزا، آفتابگردان، کلزا + آفتابگردان، نارگیل قرار گرفتند. گروه‌های تجربی ۸ هفته ضمن دسترسی به غذای آزاد، ویراسیون و روزانه ۲۱۰ میلی‌گرم کلسیم، ۵۵ IU ویتامین D، یک میلی‌گرم بورون و ۵ درصد وزن غذای مصرفی روغن دریافت کردند. در پایان حیوانات کشته شده و پس از خون‌گیری، استخوان‌های فمور و پنجمین مهره کمری (L5) جدا شدند. مقاومت مکانیکی L5 و گردن فمور با انجام آزمون‌های فشاری و خمشی بررسی شدند. سطح سرمی پارامترهای متابولیسی بافت استخوان ارزیابی شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با آزمون آنالیز واریانس یک طرفه انجام شد.

**یافته‌ها:** مقاومت مکانیکی استخوان‌ها در گروه ویراسیون نسبت به گروه کنترل افزایش یافت. مکمل‌سازی مواد مغذی همراه ویراسیون موجب کاهش معنی‌دار استحکام گردن فمور در این گروه نسبت به گروه‌های کنترل و ویراسیون شد. سفتی و انرژی جذب شده تا حداکثر استحکام گردن فمور و حداکثر استحکام، سفتی، انرژی جذب شده تا حداکثر استحکام و جابه‌جایی تا حداکثر استحکام L5 در گروهی که ویراسیون و روغن نارگیل دریافت کرده بودند نسبت به سایر گروه‌ها افزایش داشت.

**نتیجه‌گیری:** مصرف روغن نارگیل همراه ویراسیون دارای بیشترین تأثیر سودمند بر مقاومت مکانیکی و پارامترهای متابولیسی بافت استخوان به خصوص افزایش غلظت هورمون‌های استروئیدی جنسی است.

**کلیدواژه‌ها:** اسیدهای چرب، ویراسیون، مقاومت مکانیکی

✉ آدرس مکاتبه: تهران، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، دانشکده پزشکی،

گروه آناتومی، صندوق پستی: ۱۹۵۶۸۳۷۱۷۳

Email: soheila.salma30@yahoo.com

## مقدمه

فاکتورهای رشد و سنتز ماتریکس استخوان مؤثر است [۱۷ و ۱۸] و می‌تواند روشی مناسب در پیشگیری و درمان بیماری‌های استخوانی باشد [۱۹].

مقاومت مکانیکی هر بافت، نشان‌دهنده ترکیب و ساختار آن بافت است [۲۰]. پارامترهایی که میزان مقاومت مکانیکی استخوان را مشخص می‌کند ارتباط مستقیم با میزان معدنی شدن آن دارد [۲۰] که خود تحت تأثیر عوامل تغذیه‌ای، تعادل عناصر و میزان فعالیت بدنی قرار دارد [۲۱]. بررسی مستقیم بیومکانیکی در صورت استفاده از مدل‌های حیوانی روشی مناسب برای ارزیابی مقاومت مکانیکی استخوان است [۲۲]. تغییر شیوه زندگی و تلفیق رژیم غذایی مناسب و فعالیت جسمانی عاملی مؤثر در پیشگیری و درمان بیماری‌های استخوانی است [۲۳].

در مطالعات متعددی اغلب این عوامل به صورت موردی بررسی شده است. با توجه به اهمیت و نقش عوامل تغذیه‌ای و فعالیت بدنی در نگهداری و سلامت استخوان، در این تحقیق تأثیرگذاری مجموعه چند عامل مؤثر در کنار هم و به شیوه ترکیبی بر مقاومت مکانیکی و پارامترهای متابولیسی بافت استخوان در موش صحرایی مطالعه شد.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق، ۵۶ سر موش صحرایی نر ۳۰ روزه از نژاد wistar به وزن  $150 \pm 30$  گرم انتخاب شدند. نمونه‌ها در ۷ گروه ۸ تایی شامل یک گروه کنترل و ۶ گروه تجربی قرار گرفت. پس از وزن‌کشی اولیه در قفس‌های پلی‌کربنات قرار داده شد. موش‌ها در دمای ثابت اتاق و سیکل روشن-خاموش ۱۲:۱۲ در حالی که به آب و غذای پلت دسترسی آزاد داشتند به مدت ۸ هفته نگهداری شدند. ابتدا میزان غذا و آب مصرفی حیوانات در یک هفته کنترل و ثبت شد. مقدار غذای مصرفی هر رت حدود ۱۷ گرم و مقدار آب مصرفی حدود ۱۶ میلی‌لیتر در روز بود. سپس با گروه‌ها به شرح زیر رفتار شد.

استخوان اساسی‌ترین جزء سیستم اسکلتی، بافتی زنده و در حال تغییر دایمی است [۳-۱]. این بافت قادر به ترمیم، بازسازی و تغییر خواص ساختمانی و هندسی خود، در پاسخ به عوامل محیطی است [۴]. عوامل متعددی همچون عوامل ژنتیکی، فیزیولوژی، محیطی و سبک زندگی به عنوان فاکتورهای تأثیرگذار بر بافت استخوان شناخته شده‌است [۵]. این عوامل می‌توانند در دستیابی به حداکثر توده استخوانی و حفظ آن در طول زندگی نقش داشته باشند [۶]. عوامل مربوط به سبک زندگی نظیر تغذیه و فعالیت جسمانی در هر مرحله از زندگی بر استخوان تأثیرگذار است [۷]. بین ۲۰ تا ۵۰ درصد از تغییرات تراکم استخوان تحت تأثیر شیوه زندگی قرار دارد که مهمترین بخش آن تغذیه است [۸]. تغذیه مناسب و متعادل و به ویژه ریزمغذی‌ها نقش مهمی در ثبات و استحکام استخوان دارد [۹].

از مهمترین ریزمغذی‌های مطرح می‌توان به کلسیم و ویتامین D اشاره کرد که آثار سودمندی بر توده استخوانی در تمام سنین دارد [۱۰]. با وجود این که کلسیم، فسفر و ویتامین D به عنوان اجزای اصلی مینرالیزاسیون استخوان معرفی شده‌است می‌توان از عناصر دیگری نظیر بورون که از عملکرد کلسیم و ویتامین D حمایت می‌کند و به عنوان یک ماده مغذی اساسی برای انسان و حیوانات محسوب می‌شود نام برد [۱۱]. اسیدهای چرب نیز نقش مهمی در متابولیسم [۱۲] سلامت و بیولوژی سیستم اسکلتی دارد [۱۳]. این مواد در شکل‌گیری، ترکیب و استحکام استخوان مؤثر است [۱۴].

همچنین نتایج مطالعات بیانگر تأثیر سودمند فعالیت فیزیکی در کسب حداکثر تراکم استخوانی در اوایل دوران زندگی و جلوگیری از کاهش آن در سنین میانسالی است [۱۵]. ویراسیون کل بدن (whole body vibration) نوعی فعالیت جسمانی است که در آن تمام بدن در معرض لرزش مکانیکی قرار می‌گیرد [۱۶]. مطالعات تجربی روی نمونه‌های حیوانی نشان می‌دهد که ویراسیون بر فعالیت ژن‌ها، ترشح

نوبت ۱۰ دقیقه‌ای / ۱ نوبت ۵ دقیقه‌ای) و پس از آن (۱۰ تا ۵۰ هرتز / ۶ نوبت ۱۰ دقیقه‌ای / روزانه ۵ روز در هفته) تا پایان مطالعه انجام گرفت. پس از هر نوبت به مدت ۱ تا ۲ دقیقه به موش‌ها استراحت داده شد.

#### بررسی پارامترهای متابولیکی بافت استخوان

پس از اتمام ۸ هفته در ساعت ۱۴-۱۶ که هورمون‌های استروئیدی مطابق با ریتم ساعات شبانه روز در رت، در بالاترین سطح قرار دارد خونگیری انجام گرفت. پس از بیهوشی موش‌ها توسط محلول اتر و باز کردن قفسه سینه، ۱۰ سی‌سی خون بطنی جمع‌آوری شد و در لوله‌های آزمایش حاوی ضد انعقاد اگزالات سدیم ریخته شد و پلاسمای خون توسط سانتریفوژ با ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه جدا شد و تا زمان ارزیابی در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

با جداسازی پلازما سطوح سرمی پارامترهای متابولیکی مورد نظر شامل هورمون‌های پاراتیروئید، کلسی‌تونین، تستوسترون، تستوسترون آزاد و استرادیول به روش ELISA، ویتامین D به روش EIA و آنزیم آلکالین فسفاتاز به روش kinetic photometric اندازه‌گیری شد.

#### بررسی مقاومت مکانیکی استخوان

پس از اتمام خونگیری و کشتن رت‌ها، استخوان‌های فمور چپ و پنجمین مهره کمری جدا شد و پس از تمیز کردن بافت‌های نرم استخوان، نمونه‌ها در محلول سالین ۰/۹ درصد در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد تا زمان ارزیابی نگهداری شد.

با استفاده از دستگاه Zwick materials testing- machine-Z 2.5, German مقاومت مکانیکی استخوان‌ها بررسی شد. مقاومت مکانیکی گردن فمور با انجام تست خمشی (Contilever bending test) برای نخستین بار در کشور و مقاومت مکانیکی پنجمین مهره کمری با انجام آزمون فشاری

گروه کنترل (N) رژیم غذایی طبیعی، گروه Vi رژیم غذایی طبیعی + ویراسیون + ویتامین D و بورون

گروه CA رژیم غذایی طبیعی + ویراسیون + کلسیم، ویتامین D و بورون + روغن کلزا

گروه SU رژیم غذایی طبیعی + ویراسیون + کلسیم، ویتامین D و بورون + روغن آفتابگردان

گروه CA+SU رژیم غذایی طبیعی + ویراسیون + کلسیم، ویتامین D و بورون + روغن کلزا و آفتابگردان

گروه CO رژیم غذایی طبیعی + ویراسیون + کلسیم، ویتامین D و بورون + روغن نارگیل

از قرص‌های کربنات کلسیم + ویتامین D<sub>3</sub> به عنوان منبع کلسیم و ویتامین D، پودر اسید بوریک به عنوان منبع بورون، روغن کلزا (منبع اسیدهای چرب غیراشباع مونو و حاوی امگا-۳)، روغن آفتابگردان (منبع اسیدهای چرب غیراشباع پلی و حاوی امگا) و روغن نارگیل (منبع اسیدهای چرب اشباع) استفاده شد. مقدار روغن اضافه شده به پلت‌ها به میزان ۵ درصد وزن غذای مصرفی در روز بود.

دوز مصرفی کلسیم به صورت روزانه ۲۱۰ میلی‌گرم (۱۱۰ میلی‌گرم از طریق غذای عادی و ۱۰۰ میلی‌گرم از طریق مکمل‌سازی آب)، ویتامین D به میزان ۵۵ IU (۴۰ IU از طریق مکمل‌سازی آب و ۱۵ IU از طریق غذای عادی) و بورون به میزان یک میلی‌گرم از طریق مکمل‌سازی آب به ازای هر رت در روز بود.

برای انجام ویراسیون در گروه‌های تجربی از Vibration platform, china استفاده شد. ابتدا به منظور سازگاری در روز اول ویراسیون با مشخصات (۱۰ تا ۵۰ هرتز / یک نوبت / ۵ دقیقه) اعمال شد. از روز دوم با اضافه شدن ۵ دقیقه زمان در هر نوبت به ۳۰ دقیقه در روز، تا روز دهم افزایش یافت. از روز ۱۰ تا ۲۲ ویراسیون (۱۰ تا ۵۰ هرتز / ۳ نوبت / ۱۰ دقیقه‌ای / روزانه / ۳ روز در هفته)، روز ۲۵ (۱۰ تا ۵۰ هرتز / ۴

### یافته‌ها

مطابق با جدول ۱ نتایج به دست آمده از تست‌های بیومکانیکی بیانگر افزایش حداکثر استحکام گردن فمور و مهره کمری و سفتی گردن فمور در گروه Vi نسبت به گروه کنترل است هر چند این افزایش معنی‌دار نبود. میانگین سفتی گردن فمور در گروه ViM نسبت به گروه‌های کنترل و Vi همچنین حداکثر استحکام گردن فمور در گروه ViM نسبت به گروه Vi کاهش معنی‌دار نشان داد.

آنالیز آماری نشان داد که میانگین حداکثر استحکام، سفتی و انرژی جذب شده تا حداکثر استحکام گردن فمور و حداکثر استحکام مهره کمری در گروه CO بیشتر از میانگین گروه کنترل و سایر گروه‌های دریافت کننده روغن است که این نکته نشان دهنده استحکام بیشتر استخوان‌ها در این گروه است.

(The axial compression test) بررسی شد. سرعت انجام آزمون‌ها ۵ میلی‌متر در دقیقه بود. در پایان هر آزمون، منحنی نیرو- جابه‌جایی رسم شد. سپس پارامترهای مکانیکی شامل سفتی (شیب قسمت خطی منحنی نیرو- جابه‌جایی)، حداکثر استحکام تحمل شده، جابه‌جایی (مقدار جابه‌جایی استخوان تا نقطه حداکثر نیروی تحمل شده) و کار انجام شده تا قله منحنی محاسبه شد.

### تجزیه و تحلیل آماری

آنالیز داده‌ها با استفاده از آمار توصیفی برای تعیین میانگین و فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای هر متغیر انجام گرفت. برای آنالیز تغییرات گروه‌های آماری از آزمون ANOVA یک طرفه استفاده شد. میزان  $p < 0.05$  معنی‌دار محسوب شد.

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار پارامترهای مقاومت مکانیکی گردن فمور و مهره کمری

متغیر	گروه‌ها	N	Vi	ViM	CA	SU	CA+SU	CO
حداکثر استحکام (N)	گردن فمور	۹۰±۱۴	۱۰۰±۱۷	<sup>a</sup> ۸۱±۱۳	۷۹±۱۷	۷۸±۱۳	۹۰±۱۴	<sup>b</sup> ۹۷±۱۴
مهره کمری	گردن فمور	۲۵۶±۳۹	۲۸۴±۴۸	۲۵۷±۳۲	۲۶۶±۳۳	۲۶۳±۳۰	۲۶۹±۴۲	<sup>c</sup> ۳۰۶±۵۰
سفتی (N/mm)	گردن فمور	۱۵۰±۲۸	۱۶۵±۳۳	<sup>d</sup> ۱۲۱±۱۹	۱۲۳±۲۱	۱۵۳±۲۷	۱۳۴±۳۲	۱۸۱±۲۹
مهره کمری	گردن فمور	۳۳۳±۹۸	۳۰۳±۱۱۲	۳۴۵±۹۱	۳۱۱±۸۱	<sup>e</sup> ۲۳۳±۱۵۷	۳۲۰±۸۵	<sup>f</sup> ۳۹۷±۲۳۳
انرژی جذب شده تا حداکثر استحکام (N.mm)	گردن فمور	۱۰۰±۴۷	۱۵۴±۶۰	۱۰۴±۴۳	۱۰۹±۳۹	۷۹±۳۳	۱۰۵±۴۲	<sup>g</sup> ۱۳۵±۴۷
جابه‌جایی تا حداکثر استحکام (mm)	گردن فمور	۱/۷۲±۰/۶۳	۲/۳۵±۰/۸۱	۲/۰۵±۰/۷۰	۲/۲۰±۰/۵۲	۱/۶۳±۰/۶۱	۱/۸۱±۰/۶۱	۲/۱۳±۰/۵۰
مهره کمری	گردن فمور	۱/۸۳±۰/۲۷	۱/۸۳±۰/۶۴	۱/۸۳±۰/۳۲	۱/۶۶±۰/۴۵	۱/۷۴±۰/۴۰	۱/۷۱±۰/۳۰	۱/۹۷±۰/۵۱

(a) گروه ViM کاهش معنی‌دار نسبت به گروه Vi دارد. (b) گروه CO افزایش معنی‌دار نسبت به گروه‌های SU, CA دارد. (c) گروه CO افزایش معنی‌دار نسبت به گروه‌های N, CA, SU دارد. (d) گروه ViM کاهش معنی‌دار نسبت به گروه‌های Vi, N دارد. (e) گروه SU افزایش معنی‌دار نسبت به گروه CA دارد. (f) گروه CO افزایش معنی‌دار نسبت به گروه‌های N, CA, SU, CA+SU دارد. (g) گروه CO افزایش معنی‌دار نسبت به گروه SU دارد. (h) گروه Vi افزایش معنی‌دار نسبت به گروه N دارد. (i) گروه CO افزایش معنی‌دار نسبت به گروه CA دارد. (j) گروه SU کاهش معنی‌دار نسبت به گروه CA دارد.

جدول ۲. میانگین و انحراف معیار پارامترهای متابولیکی بافت استخوان

CO	CA+SU	SU	CA	ViM	Vi	N	گروه‌ها	متغیر
۹۶/۹±۲۱/۹	۱۰۶/۷±۱۹/۸	۱۰۹±۲۱/۶	۱۰۸/۲±۱۵/۳	۱۰۶/۷±۱۴/۸	۱۰۷±۲۲	۹۱/۲±۱۸/۹	ویتامین D (nmol/L)	
۳۴/۷±۸۳	۳۰/۹±۱۵	۳۴/۳±۵/۸	۳۷/۷±۵/۴	۳۹/۲±۷/۴۴	۳۸/۶±۵/۵	۳۶±۸/۹	هورمون پاراتیروئید (pg/ml)	
۷۶/۳±۱۲/۳	۷۴/۴±۳۱/۱	۷۹/۸±۹	۷۷/۶±۹/۷	۷۹±۱۰/۸	۸۱±۱۰/۳	۸۰/۳±۱۱/۵	کلسی تونین (pg/ml)	
۲/۱۴±۰/۷۴	۱/۷۵±۰/۵۱	۱/۸۵±۰/۶۵	۲/۰۴±۰/۵۸	۱/۸۳±۰/۷۷	۱/۸۸±۰/۶۳	۱/۸۴±۰/۴	تستوسترون (pg/ml)	
۰/۵۱±۰/۲۶	۰/۴۳±۰/۲۴	۰/۳۹±۰/۱۶	۰/۴۲±۰/۱۶	۰/۳۸±۰/۱۵	۰/۴۰±۰/۱۷	۰/۴۴±۰/۱۹	تستوسترون آزاد (pg/ml)	
۹۱۰±۰/۸۷	۸/۸۲±۰/۹۹	۸/۷±۰/۹۴	۸/۳۲±۱/۴۷	۸/۶±۰/۹	۹/۸۲±۲/۲۲	۸/۳۵±۱/۳۲	استرادیول (pg/ml)	
۲۴۳/۴±۴۲/۴	۲۳۶±۲۹/۵	۲۳۲±۳۴/۶	۲۳۱/۷±۳۴/۸	۲۱۱±۲۴/۸	۲۱۴±۳۱/۷	۲۱۵±۱۹/۵	آلکالین فسفاتاز (U/L)	

(a) گروه CO افزایش معنی دار نسبت به گروه‌های N، CA، SU، CA+SU دارد.

در این گروه نسبت داد. و بیبراسیون موجب افزایش سطح سرمی ویتامین D [۲۴] افزایش مینرالیزاسیون [۲۵] و سنتز ماتریکس استخوان توسط سلول‌های استخوانی می‌شود [۲۶]. به علاوه؛ فعالیت جسمانی موجب افزایش سطح سرمی هورمون‌های استروئیدی جنسی که نقش آنابولیکی بر بافت استخوان دارند، می‌شود [۲۷]. در پژوهشی همسو با مطالعه حاضر و بیبراسیون موجب افزایش حداکثر استحکام و سفتی انتهای پروگزیمال فمور در موش‌های ماده اوارکتومی شده ۶ ماهه شد [۲۸]. مکمل‌سازی کلسیم، ویتامین D و بورون به همراه و بیبراسیون موجب کاهش معنی دار استحکام گردن فمور در گروه ViM نسبت به گروه کنترل و Vi شد. شاید حضور کلسیم و بورون به علت رقابت در جذب و جایگزینی در استخوان یا دوز زیاد عناصر مصرفی دلایلی بر این یافته باشد. در مطالعه نقی‌ئی (Naghii) و همکاران 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 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. مقادیر زیاد کلسیم

مطابق با جدول ۲ نتایج به دست آمده از آزمون‌های بیوشیمیایی نشان دهنده افزایش سطح سرمی ویتامین D و هورمون استرادیول در گروه Vi نسبت به گروه کنترل است که معنی دار نبود. آنالیز آماری نشان داد که میانگین سطح سرمی هورمون‌های استرادیول، تستوسترون و تستوسترون آزاد در گروه CO بیشتر از میانگین گروه کنترل و سایر گروه‌های روغنی بود که در مورد هورمون استرادیول این افزایش معنی دار بود.

## بحث

بررسی مستقیم بیومکانیکی استخوان در صورت استفاده از مدل‌های حیوانی امکان‌پذیر است و مطالعه مقاومت مکانیکی و پارامترهای متابولیکی بافت استخوان به عنوان معیاری برای ارزیابی تأثیر فعالیت جسمانی و مکمل‌های رژیمی بر بافت استخوان کاربرد دارد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که و بیبراسیون موجب افزایش حداکثر استحکام و سفتی گردن فمور و حداکثر استحکام سفتی مهره کمری در گروه Vi نسبت به گروه کنترل می‌شود که می‌تواند بیانگر تأثیر سودمند و بیبراسیون در افزایش استحکام استخوان باشد. شاید بتوان نتایج حاصل را به افزایش سطح سرمی ویتامین D و هورمون استرادیول

دارد [۳۴ و ۳۵]. مطالعه هورتادو دی کاتالفو (Hortado de catalfo و همکاران در تأیید تأثیر روغن نارگیل بر هورمون‌های جنسی نشان داد که مصرف این روغن باعث افزایش هورمون تستوسترون می‌شود [۳۶]. مکانیسم عمل این افزایش به این ترتیب است که در صورت مصرف روغن نارگیل فعالیت آنزیم‌های اصلی در سنتز تستوسترون اعم از ۳ بتا هیدروکسی استروئید دهیدروژناز و ۱۷ بتا هیدروکسی استروئید دهیدروژناز افزایش می‌یابد [۳۸]. این آنزیم‌ها باعث افزایش تولید تستوسترون توسط سلول‌های لیدیگ می‌شود [۳۷]. در نهایت به نظر می‌رسد ویراسیون به تنهایی دارای آثار مطلوب بر استخوان است که توانسته است باعث افزایش مقاومت مکانیکی، سطح سرمی ویتامین D و هورمون استرادیول شود. افزودن کلسیم، ویتامین D و بورون موجب کاهش مقاومت مکانیکی گردن فمور شد، کسب نتایج مشهودتر نیاز به انجام مطالعات بیشتری در این زمینه دارد. با ورود و مداخله اسیدهای چرب یک افزایش بارز در مقاومت مکانیکی و غلظت سرمی ویتامین D و هورمون‌های جنسی در گروه‌های روغنی مشاهده شد که این تأثیر در گروه مصرف کننده روغن ناگیل برجسته‌تر بود. تفاوت در نتایج حاصل از تأثیر روغن‌های استفاده شده در این مطالعه را می‌توان به تفاوت در نوع اسیدهای چرب موجود در آن‌ها نسبت داد. این مطالعه نظریه پژوهشگرانی را که معتقدند هورمون‌های جنسی شکل‌گیری و تشکیل استخوان را تحریک می‌کند را تأیید می‌کند.

پیشنهاد می‌شود مطالعاتی در زمینه تأثیر اسیدهای چرب با استفاده از سایر روغن‌ها به تنهایی و با مقادیر متفاوت، تأثیر مواد مغذی مطرح به تنهایی و نیز به شیوه ترکیبی با مقادیر متفاوت، همچنین تأثیر ویراسیون به طور مجزا و نیز به همراه مصرف مواد مغذی و اسیدهای چرب بر استخوان با اتخاذ پروتکل‌های مختلف (شدت، مدت و

می‌تواند استخوان را مستعد صدمات بیشتر یا به عبارتی استحکام کمتر نماید [۲۹]. در ادامه می‌توان گفت شاید ویراسیون همراه با مکمل‌سازی کلسیم، ویتامین D و بورون مانع جایگزینی عناصر در بافت استخوان و به دنبال آن کاهش استحکام استخوان می‌شود. مطالعه گالا (Gala) و همکاران نشان داد که فعالیت جسمانی به صورت تردمیل موجب افزایش BMD می‌شود ولی مصرف کلسیم همراه با تردمیل موجب کاهش BMD استخوان‌ها در موش‌های ماده بدون تخمدان شده است [۳۰]. ویراسیون همراه با مصرف روغن آفتابگردان موجب افزایش سفتی و انرژی جذب شده گردن فمور در گروه SU نسبت به گروه CA شد که می‌تواند بیانگر تأثیر مثبت مصرف روغن آفتابگردان (اسیدچرب غیراشباع پلی‌حالی امگا) به همراه ویراسیون بر استحکام استخوان باشد. نتایج مطالعات نشان‌دهنده تأثیر سودمند مصرف اسیدهای چرب غیراشباع پلی‌حالی امگا بر استخوان در نمونه‌های حیوانی است [۳۱]. مصرف اسیدهای چرب لینولیک اسید کونژوگه باعث افزایش توده استخوانی می‌شود [۳۲]. همچنین مصرف لینولیک اسید کونژوگه همراه با فعالیت جسمانی به مدت ۱۰ هفته باعث افزایش توده استخوانی مهره‌های کمری، فمور و تیبیا در موش‌های ماده ۱۲ ماه است [۳۳]. مصرف روغن نارگیل همراه با ویراسیون موجب افزایش پارامترهای مقاومت مکانیکی استخوان‌ها در گروه CO نسبت به گروه‌های کنترل و دریافت کننده سایر روغن‌ها شد که نشان‌دهنده افزایش استحکام استخوان‌ها در این گروه نسبت به سایر گروه‌ها است. تأثیر مثبت روغن نارگیل بر استخوان را می‌توان به نقش آن در افزایش هورمون‌های جنسی نسبت داد.

هورمون‌های جنسی میزان ذخایر کلسیم را در استخوان‌ها افزایش داده و نقش مثبتی در رشد اسکلت، حفظ تعادل، افزایش مقاومت و سلامت استخوان

## تقدیر و تشکر

با تشکر از کلیه اساتید محترم گروه آناتومی دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج) که زحمات فراوانی در پیشبرد این تحقیق برعهده داشتند.

تعداد روز در هفته) در دراز مدت در مدل‌های حیوانی مختلف نظیر موش‌های صحرایی جوان، مسن و موش‌های اوارکتومی همچنین مطالعه روی انسان با استفاده از روش سنجش تراکم استخوان مورد مطالعه قرار گیرد.

## References

1. **Hazenberg JG, Hentunen TA, Heino TJ, Kurata K, Lee TC, Taylor D.** Microdamage detection and repair in bone : fracture mechanics, histology, cell biology. *Technol Health Care* 2009; 17: 67-75.
2. **Christiansen BA, Kopperdahl DL, Kiel DP, Keaveny TM, Bouxsein ML.** Mechanical contribution of the cortical and trabecular compartments contribute to differences in age-related changes in vertebral body strength in men and women assessed by QCT-based finite element analysis. *J Bone Miner Res* 2011;26:974-83.
3. **Keyak JH, Sigurdsson S, Karlsdottir G, Oskarsdottir D, sigmarsdottir A, Zhao S, et al.** Malefemale differences in the association between incident hip fracture and proximal femoral strength: A finite element analysis study. *Bone* 2011; 48:1239-45.
4. **Jones HH, Priest JD, Hayes WC, Tichenor CC, Nagel DA.** Humeral hypertrophy in response to exercise. *J Bone Joint Surg Am* 1977; 59: 204-8.
5. **Saadi HF, Reed RL, Carter AO, Qazaq HS, Al-Suhaili AR.** Bone density estimates and risk factors for osteoporosis in young women. *East Mediterr Health J* 2001; 7: 730-7.
6. **Anderson KD, Chad KE, Spink KS.** Osteoporosis knowledge beliefs and practices among adolescent females. *J Adolesc Health* 2005; 36: 305-12.
7. **Morgan SL.** Calcium and vitamin D in osteoporosis. *Rheum Dis Clin North Am* 2001; 27: 101-30.
8. **Cole JH, van der Meulen MC.** Whole bone mechanics and bone quality. *Clin Orthop Relat Res* 2011;469:2139-49.
9. **Nieves JW.** Osteoporosis: the role of micronutrients. *Am J Clin Nutr* 2005; 81:1232-9.
10. **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.
11. **Korotkova M, Ohlsson C, Hanson LA, Strandvik B.** Dietary n-6:n-3 fatty acid ratio in the perinatal period affects bone parameters in adult female rats. *Br J Nutr* 2004; 92:643-8.
12. **Wuthier RE.** Involvement of cellular metabolism of calcium and phosphate in calcification of avian growth plate cartilage. *J Nutr* 1993;123:301-9.
13. **Watkins BA, Lippman HE, Le Bouteiller L, Seifert MF.** Bioactive fatty acids: role in bone biology and bone cell function. *Prog Lipid Res* 2001; 40: 125-48.
14. **Carter ND, Kannus P, Khan KM.** Exercise in the prevention of falls in older people. *Sports Med* 2001; 31: 427-38.
15. **Bulwer BE.** Sedentary lifestyles, physical activity, and cardiovascular disease: from research to practice. *Crit Pathw Cardiol* 2004; 3: 184-93.
16. **Issurin VB, Liebermann DG, Tenenbaum G.** Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J Sports Sci* 1994; 12: 561-6.
17. **Klyszcz T, Ritter-Schempp C, Junger M, Rassner G.** Biomechanical stimulation therapy as physical treatment of arthrogenic venous insufficiency. *Hautarzt* 1997; 48: 318-22.
18. **Kotelnikov GP, Piatin VF, Bulgakova SV, Shirolapove IV.** Whole body vibration

- (acceleration) training increases bone mineral density and serum levels of osteocalcin in elderly women. *Adv Gerontol* 2010;23:257-62.
19. **Laz PJ, Stowe JQ, Baldwin MA, Petrella AJ, Rullkoetter PJ.** Incorporating uncertainty in mechanical properties for finite element-based evaluation of bone mechanics. *J Biomech* 2007;40: 2831-6.
  20. **Notomi T, Okimoto N, Okazaki Y, Nakamura T, Suzuki M.** Tower climbing exercise started 3 months after ovariectomy recovers bone strength of the femur and the lumbar vertebrae in aged osteopenic rats. *J Bone Miner Res* 2003;18:140-9.
  21. **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.
  22. **Yamazaki S, Ichimura S, Iwamoto J, Takeda T, Toyama Y.** Effect of walking exercise on bone metabolism in postmenopausal women with osteopenia/osteoporosis. *J Bone Miner Metabolism* 2004; 22:500-8.
  23. **Verschuere SM, Bogaerts A, Delecluse C, Claessens AL, Haentjens P, Vanderschuere D, et al.** The effects of whole-body vibration training and vitamin D supplementation on muscle strength, muscle mass, and bone density in institutionalized elderly women: a 6-month randomized, controlled trial. *J Bone Miner Res* 2011; 26:42-9.
  24. **Rubin C, Xu G, Judex S.** The anabolic activity of bone tissue, suppressed by disuse, is normalized by brief exposure to extremely low-magnitude mechanical stimuli. *FASEB J* 2001;15:2225-9.
  25. **Bannister SR, Lohmann CH, Liu Y, Sylvia VL, Cochran DL, Dean DD, et al.** Shear force modulates osteoblast response to surface roughness. *J Biomed Mater Res* 2002;60:167-74.
  26. **Tremblay MS, Copeland JL, Van Helder W.** Influence of exercise duration on post-exercise steroid hormone responses in trained males. *Eur J Appl Physiol* 2005; 94: 505-13.
  27. **Schwartz Z, Soskolne WA, Neubauer T, Goldstein M, Adi S, Ornoy A.** Direct and sex-specific enhancement of bone formation and calcification by sex steroids in fetal mice long bone in vitro (biochemical and morphometric study). *Endocrinology* 1991; 129: 1167-74.
  28. **Tezval M, Biblis M, Schmisch S, Schmelz U, Kolios L, Rack T, et al.** Improvement of femoral bone quality after low-magnitude, high-frequency mechanical stimulation in the ovariectomized rat as an osteopenia model. *Calcif Tissue Int* 2011; 88: 33-40.
  29. **Naghii MR, Torkaman G, Mofid M.** Effect of boron and calcium supplementation on mechanical properties of bone in rats. *Biofactors* 2006;28:195-201.
  30. **Gala J, Diaz-Curiel M, Piedra C, Calero J.** Short- and long-term effects of calcium and exercise on bone mineral density in ovariectomized rats. *Br J Nutr* 2001; 86: 521-7.
  31. **Kelly O, Cusack S, Jewell C, Cashman KD.** The effect of polyunsaturated fatty acids, including conjugated linoleic acid, on calcium absorption and bone metabolism and composition in young growing rats. *Br J Nutr* 2003; 90:743-50.
  32. **Park Y, Pariza MW, Park Y.** Cosupplementation of dietary calcium and conjugated linoleic acid (CLA) improves bone mass in mice. *J Food Sci* 2008; 73: 556-600.
  33. **Banu J, Bhattacharya A, Rahman M, Fernandes G.** Beneficial effects of conjugated linoleic acid and exercise on bone of middle-age female mice. *J Bone Miner Metab* 2008;26:436-45.
  34. **Tapp E.** The effects of hormones on bone in growing rats. *Bone Joint Surg Br* 1966; 8: 526-31.
  35. **Riggs BL, Jowsey J, Kelly PJ, Jones JD, Maher FT.** Effect of sex hormones on bone in primary osteoporosis. *J Clin Invest* 1969; 48: 1065-72.
  36. **Hurtado de Catalfo GE, de Alaniz MJ, Marra**



- CA. Dietary lipids modify redox homeostasis and steroidogenic status in rat testis. *Nutrition* 2008; 24: 717-26.
37. **McVey MJ, Cooke GM, Curran IH, Chan HM,**

- Kubow S, Lok E, et al.** Effects of dietary fats and proteins on rat testicular steroidogenic enzymes and serum testosterone levels. *Food Chem Toxicol* 2008; 46: 259-69.