

اثر روش‌های مختلف بازتوانی ورزشی بر ترکیب بدن، مواد معدنی استخوان، شاخص‌های متابولیکی و نیمرخ لیپیدی بیماران دیابتی مبتلا به پوکی استخوان

محسن تیموری^۱، خسرو جلالی دهکردی^۲، مهدی کارگرفرد^۳، فرزانه تقیان^۴

چکیده

اهداف: این مطالعه با هدف بررسی روش‌های مختلف بازتوانی ورزشی، تمرین چند جزئی (MCEX) و درمان میدان الکترومغناطیسی پالسی کل بدن (PEMF) بر ترکیب بدن، تراکم مواد معدنی استخوان، عوامل متابولیکی و نیمرخ لیپیدی به منظور ارائه داده‌های بالینی بیشتر جهت بهبود و درمان بیماران دیابتی مبتلا به پوکی استخوان طراحی شد.

روش مطالعه: در این مطالعه، تعداد ۵۶ نفر زن و مرد بیماران دیابتی نوع ۲ مبتلا به پوکی استخوان با میانگین و انحراف معیار سن: ۶۸/۱۸±۳/۶۷ سال؛ وزن: ۷۸/۱۳±۷/۶۵ کیلوگرم و شاخص توده بدن: ۲۸/۴۰±۱/۷۶ کیلوگرم/مجموعه قد به صورت تصادفی در یکی از سه گروه: تمرین چند جزئی+درمان میدان الکترومغناطیسی پالسی کل بدن (PEMF+MCEX، ۱۸ نفر) تمرین چند جزئی+شبه درمان میدان الکترومغناطیسی پالسی کل بدن (PEMF+MCEX، ۱۷ نفر) و درمان میدان الکترومغناطیسی پالسی کل بدن به تنهایی (PEMF، ۲۱ نفر) قرار گرفتند. پروتکل بازتوانی ورزشی شامل درمان میدان الکترومغناطیسی پالسی کل بدن و تمرین چند جزئی (شامل: تمرینات هوازی، مقاومتی، انعطاف پذیری، استفاده از وزن بدن تمرین و متعاقب آن تمرین ویبریشن کل بدن)؛ ۳ جلسه ی ۶۰ دقیقه ای در هفته برای مدت ۱۲ هفته انجام شد. متغیرهای وزن، شاخص توده بدن، تراکم مواد معدنی استخوان، اوج اکسیژن مصرفی، و سطوح سرمی کلسترول تام، تری گلیسرید، لیپوپروتئین کم چگال و لیپوپروتئین پر چگال، قند خون ناشتا، انسولین، مقاومت انسولین و هموگلوبین گلیکولیزه شده قبل و بعد از دوره مطالعه اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از آزمون t وابسته و تحلیل کوواریانس در سطح کمتر از ۰/۰۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها: پس از ۱۲ هفته مداخله، تفاوت معناداری در ترکیب بدن، تراکم مواد معدنی استخوان، سطوح سرمی نیمرخ چربی (تری گلیسرید، لیپوپروتئین کم چگال، لیپوپروتئین پر چگال)، عوامل متابولیک (قند خون، انسولین، مقاومت انسولین و هموگلوبین گلیکولیزه شده) بین گروه‌ها وجود داشت ($p < 0/05$). با این حال، آزمون تعقیبی LSD کاهش معناداری در وزن، شاخص توده بدن، درصد چربی، سطوح سرمی تری گلیسرید، لیپوپروتئین کم چگال، قند خون، انسولین، مقاومت انسولین و هموگلوبین گلیکولیزه شده و افزایش معناداری در تراکم مواد معدنی استخوان، لیپوپروتئین پر چگال و اوج اکسیژن مصرفی در گروه‌های بازتوانی ورزشی PEMF+MCEX و PEMF+MCEX در مقایسه با گروه PEMF به تنهایی پس از ۱۲ هفته را نشان داد.

نتیجه‌گیری: یافته‌ها نشان داد، روش بازتوانی PEMF در ترکیب با پروتکل تمرین چند جزئی یک روش مؤثر و ایمن برای بهبود ترکیب بدن، تراکم مواد معدنی استخوان، عوامل قلبی متابولیکی در جمعیت دیابتی نوع ۲ مبتلا به پوکی استخوان است. بنابراین، پیشنهاد می‌گردد کلینیک‌های بازتوانی ورزشی از روش‌های درمان بازتوانی ورزشی برای بهبود بیماران دیابتی نوع ۲ مبتلا به پوکی استخوان استفاده نمایند. مطالعات بیشتر با پیگیری طولانی مدت برای تأیید این یافته‌ها باید مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تراکم مواد معدنی استخوان، میدان الکترومغناطیسی پالسی، تمرین چند جزئی، دیابت نوع ۲، پوکی استخوان

^۱ دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزش، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

^۲ دانشیار گروه فیزیولوژی ورزش، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران. نویسنده مسئول: khosrojalali@khuif.ac.ir

^۳ استاد گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

^۴ استاد گروه فیزیولوژی ورزش، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

مقدمه

دیابت نوع ۲ (T2DM) و پوکی استخوان از مهم‌ترین نگرانی‌های بهداشت عمومی مرتبط با افزایش عوارض و مرگ و میر در سطح جهانی هستند (Viggers et al., 2021). پوکی استخوان^۲ (OST) نیز یک بیماری دژنراتیو در افراد مسن است (Sanderson., 2022) که به عنوان وضعیتی با تراکم اندک مواد معدنی استخوان (BMD) و همچنین ریزساختار استخوانی ضعیف (Vestergaard., 2007) مشخص می‌شود و عمدتاً با کاهش توده عضلانی، قدرت عضلانی و عملکرد عضلانی در عضلات اسکلتی اندام‌ها (Sanderson., 2022) همراه است و منجر به کاهش استحکام استخوان و افزایش خطر شکستگی می‌شود (Vestergaard., 2007). طبق تعریف سازمان بهداشت جهانی، پوکی استخوان به عنوان از دست دادن تراکم استخوان بیش از ۲/۵- انحراف استاندارد (نمره T) در بزرگسالان تعریف شده است (Souto Braz et al., 2022). تخمین زده شده است، OST بیش از ۲۰۰ میلیون نفر را در سراسر جهان تحت تأثیر قرار دهد (Viggers et al., 2021)، انتظار می‌رود با رشد جمعیت سالمندان تا سال ۲۰۵۰، تا سه برابر افزایش یابد (Souto Braz et al., 2022). بر اساس گزارش‌های تحقیقاتی، بیماران مبتلا به T2DM همراه با پوکی استخوان خطر کاهش بسیار زیادی در توده عضلانی، قدرت عضلانی، افتادن، شکستگی و کاهش تحرک دارند که به شدت بر کیفیت زندگی و پیش آگهی بیماران T2DM تأثیر می‌گذارد (Sanz-Cánovas et al., 2022). گزارش‌ها نشان می‌دهد، در بیماران مبتلا به T2DM، خطر شکستگی افزایش می‌یابد (Baleanu et al., 2019). خطر شکستگی ممکن است به دلیل نقص در کیفیت استخوان ایجاد شود؛ با این حال، ناهنجاری‌های استخوانی در دیابت به طور کامل مشخص نشده است (Paccou et al., 2016). بی تحرکی و کم تحرکی در حال حاضر به عنوان عوامل مهم در ایجاد مقاومت به انسولین و دیابت نوع ۲ شناخته شده است (Yaribeygi et al., 2021). شواهد نشان داد که حتی کاهش کوتاه مدت (۱۴ روزه) فعالیت بدنی با افزایش رفتار بی تحرک منجر به کاهش حساسیت به انسولین چند اندام و شاخص حساسیت به انسولین عضلانی و افزایش همزمان چربی مرکزی و کبد و LDL می‌شود (Davies et al., 2018). اگرچه بینش مکانیکی در مورد این تغییرات پاتوفیزیولوژیکی کاملاً درک نشده است، شواهد قابل توجهی وجود دارد که نشان می‌دهد یک سبک زندگی غیرفعال می‌تواند حساسیت انسولین را با کاهش مصرف انرژی و افزایش ذخیره‌سازی چربی کاهش دهد (Davies et al., 2018; Yaribeygi et al., 2021). فعالیت ورزشی معیار خوبی برای تراکم استخوان است. این فرآیند که از طریق آن، ورزش باعث ایجاد تغییراتی در متابولیسم استخوان می‌شود به طور کامل روشن نشده است. با این حال، اطلاعات کمی در مورد تغییرات قلبی متابولیکی و متابولیسم استخوان ناشی از اشکال مختلف فعالیت ورزشی منظم وجود دارد (Eid et al., 2021). مکانیسم دقیق استخوان زایی ناشی از فعالیت‌های ورزشی به دلیل مشکلاتی که پاسخ سلول‌های استخوانی در مطالعه *in vivo* با آن مواجه است، هنوز به طور کامل مشخص نشده است.

فرض بر این است، روش‌های الکتروفیزیکی و محرک‌های بیوفیزیکی با به کار گیری مدالیت‌های درمان فیزیکی مانند میدان الکترومغناطیسی پالسی^۳ (PEMFs)، لیزر درمانی و فعالیت بدنی به دلیل اثر پیزوالکتریکی که بر رسوب کلسیم در استخوان تأثیر می‌گذارد و نقش مهمی در متابولیسم مواد معدنی ایفا می‌کند، به کاهش یا جلوگیری از

¹ Type 2 Diabetes Mellitus (T2DM)² Osteoporosis³ Full-body pulsed electromagnetic field (FBPEMF)

تحلیل استخوان کمک می‌کند (Wu et al., 2018). روش‌های مختلف بازتوانی (به عنوان مثال، فعالیت ورزشی، PEMFs) به عنوان درمان‌های جایگزین مطمئن، ارزان، غیر تهاجمی، مؤثر، بی خطر و با عوارض جانبی کمتر برای استفاده بالینی، معمولاً به عنوان یک گزینه غیردارویی در مدیریت غیر دارویی پوکی استخوان و دیابت به دلیل نقش حیاتی آن‌ها در کاهش عوامل خطر مرتبط با شکستگی، بازبانی عملکرد و افزایش کیفیت زندگی مورد حمایت قرار می‌گیرند (Camacho et al., 2020). PEMFs به دلیل غیرتهاجمی بودن، ایمنی و کارایی آن، یکی از این درمان‌های مؤثر محسوب می‌شود که پتانسیل زیادی برای تبدیل شدن به یک رویکرد درمانی مستقل یا کمکی برای پیشگیری از عوامل قلبی متابولیکی و اختلالات اسکلتی عضلانی مانند استئوپنی^۱ و OST دارد (Wang et al., 2019). PEMFs میدان‌های الکترومغناطیسی هستند که قادر به تولید جریان‌های بیولوژیکی در بافت می‌باشد و اثرات بیولوژیکی منحصر به فردی دارند. علاوه بر این، PEMFs به بیماران مبتلا به پوکی استخوان بواسطه کاهش درد و بهبود نتایج عملکردی کمک می‌کند تا احساس بهتری نسبت به بهبود کیفیت زندگی داشته باشند (Wang et al., 2019). PEMF فعالیت‌های استئوبلاستی را تحریک می‌کند (Jansen et al., 2010). PEMF با شدت و فرکانس خاص نشان داده است که از دست دادن استخوان را کاهش می‌دهد و درد را تسکین می‌دهد، بنابراین، ممکن است یک روش درمانی مؤثر برای بیماران مبتلا به پوکی استخوان باشد (Androjna et al., 2014; Mirkovic et al., 2012).

شواهدی وجود دارد که PEMFs تأثیر مثبتی بر درمان اختلالات استخوانی مختلف مانند کاهش توده استخوانی، شکستگی‌های تازه، عدم جوش خوردن و تاخیر در ترمیم استخوان، استئوپنی دیابتی و استئونکروز در مقایسه با درمان دارویی (Ebid et al., 2022)، از طریق مکانیسم‌های مختلف از جمله تحریک مکانیکی، تنظیم تکثیر، فعالیت و معدنی شدن سلول‌های بنیادی مزانشیمی مغز استخوان^۲ (BMSCs) و همچنین تکثیر، تمایز و فعالیت استئوبلاست و همچنین استئوکلاستوزن و تمایز استئوکلاست دارد. درمان با PEMF به دلیل اثرات سریع، سهولت استفاده و عدم وجود عوارض جانبی، کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است (Wang et al., 2021; Tamulevicius et al., 2021; Shao et al., 2019; et al.). علیرغم اثرات مطلوب PEMFs بر تراکم مواد معدنی استخوان در بیماران مبتلا به OST، نتایج برخی مطالعات بحث‌برانگیز باقی می‌ماند، زیرا چندین کارآزمایی آزمایشی تصادفی یک‌سوکور هیچ بهبود قابل توجهی در BMD در بیماران پیدا نکردند (Giordano., 2001; Spadaro et al., 2011). این نتایج متناقض را می‌توان به محدود بودن حجم نمونه تحقیقات و همچنین متفاوت بودن گروه‌ها با توجه به ویژگی‌ها و استراتژی‌های بالینی مختلف نسبت داد (Wang et al., 2019).

تمرینات ورزشی، از جمله تمرین چند جزئی^۳ (MCEX)، که اخیراً توسط سازمان بهداشت جهانی توصیه شده است (Bull et al., 2020)، یکی از مؤثرترین برنامه‌های ورزشی با زمان کارآمد جهت بهبود عوامل متابولیک، ظرفیت عملکردی، آمادگی قلبی تنفسی و کیفیت زندگی بزرگسالان سالمند مورد استفاده قرار می‌گیرد (Souto Braz et al., 2022). MCTx به مداخله دو یا چند نوع فعالیت ورزشی و یا ترکیبی از تمرینات هوازی، فعالیت‌های توأم با تحمل وزن، مقاومتی، توانی، برنامه‌های تمرین راه رفتن و تعادلی و/یا انعطاف‌پذیری و سایر روش‌های ورزشی اطلاق می‌شود (Shariat et al., 2015; Daly et al., 2021). برای بیشترین استفاده توسط افراد بزرگسال، حجم، شدت و پیچیدگی تمرینات انفرادی باید به تدریج افزایش یابد (Sun et al., 2024; Rodrigues et al., 2024).

¹ Osteopenia

² Bone Marrow Mesenchymal Stem Cells (MSCs)

³ Multicomponent Exercise (MCEX)

(al., 2023; Forsyth et al., 2024). بر اساس یافته‌های تحقیقات، این گونه تمرینات با حفظ تراکم موارد معدنی استخوان، بالا رفتن و افزایش تمایز و فعالیت استئوبلاست‌ها که تأثیر مستقیم بر تولید استئوکالسن (OC) دارند، مرتبط شده‌اند. در همین راستا، نشان داده شده است، افزایش تراکم استخوان از طریق بار مکانیکی و فرکانس‌های مکانیکی خاص ناشی از تمرین MC که بر روی خواص پیزوالکتریک استخوان‌ها اثر می‌گذارد، می‌تواند فرایند استخوان‌زایی را افزایش دهد، خواص مکانیکی را بهبود بخشد، بهبود شکستگی را از طریق رگ‌زایی تسریع بخشد، عملکرد عضلات را بهبود بخشد، BMD را افزایش دهد، خطر از دست دادن توان عضلانی را کاهش دهد، قدرت و توان عضلانی را بهبود بخشد، عملکرد قلبی ریوی، مقاومت به انسولین، متابولیسم گلوکز و لیپیدها را بهبود بخشد و باعث کاهش وزن و چربی بدن، فشار خون و سیتوکین‌های التهابی شود و در نهایت به تعادل سیستم اسکلتی عضلانی کمک کند (Wong et al., 2021; Yanai et al., 2018).

بر اساس دانش ما، علیرغم تحقیقات زیاد و چندین کاربرد پزشکی، مطالعات بسیار کمی تأثیر تحریک PEMFs را در طول ورزش یا فعالیت ورزشی بررسی کرده‌اند و داده‌های کافی برای مقایسه اثرات بالینی روش‌های مختلف بازتوانی ورزشی PEMF، MCEX و ترکیبی از این دو بر روی ترکیب بدن، BMD در پوکی استخوان و عوامل قلبی متابولیکی در بیماران دیابت نوع ۲ مبتلا به پوکی استخوان وجود ندارد. با این حال، مزایای ناشی از ارتباط PEMFs و تمرین هنوز مورد بحث است و شواهد بیشتری برای تأیید تأثیر مثبت PEMFs ضروری است. در نتیجه، هدف این مطالعه، بررسی این موضوع است که آیا ۱۲ هفته تمرین MC همراه با درمان PEMF می‌تواند عوامل خطر قلبی متابولیکی، ترکیب بدن و تراکم استخوان در جمعیت دیابتی نوع ۲ مبتلا به پوکی استخوان را بهبود بخشد؟

روش‌شناسی تحقیق

این مطالعه کارآزمایی بالینی کنترل شده تصادفی با طرح پیش آزمون و پس آزمون بین سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۳ در شهر اصفهان انجام شد. جامعه‌ی آماری این مطالعه را کلیه بیماران زن و مرد سالمند دیابت نوع ۲ مبتلا به پوکی استخوان با دامنه سن ۶۰-۷۶ سال مراجعه کننده به کلینک فیزیوتراپی حکیم شفا اصفهان تشکیل می‌دادند. معیارهای ورود به مطالعه شامل: الف) داشتن سن بالای ۶۵ سال؛ ب) داشتن دیابت نوع ۲ بر اساس معیارهای سازمان بهداشت جهانی برای تشخیص قطعی و طبقه بندی دیابتی ها؛ قند خون ناشتا مساوی/بیشتر از ۱۲۶ میلی گرم/دسی لیتر یا تست تحمل گلوکز خوراکی (OGTT) مساوی/بیشتر از ۲۰۰ میلی گرم/دسی لیتر؛ ج) ابتلاء به بیماری پوکی استخوان و تشخیص قطعی آن توسط پزشک متخصص روماتولوژی با ارزیابی BMD (در نواحی سر استخوان فمور یا مهره‌های کمری قبل از ورود به مطالعه $Tscore \leq -2/5$) بر اساس آزمایش DEXA؛ د) عدم سابقه شکستگی ناشی از استئوپوروزیس؛ ه) عدم گزارش بیماری‌های نورولوژیک، وستیبولار، نوروماسکولار، بیماری‌های مزمن ارتوپدیک تنه و اندام تحتانی و هر بیماری که اختلال تعادل برای فرد ایجاد کرده باشد؛ و) نداشتن سابقه بستری طولانی مدت و همچنین عدم مصرف گلوکوکورتیکوئید، ویتامین D، کلسیم و سایر داروهایی که متابولیسم استخوان را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ ز) عدم ابتلاء به بیماری‌های قلبی عروقی، تنفسی، پوستی و عصبی عضلانی؛ ح) نداشتن اختلالات عصبی عضلانی برای شرکت منظم در جلسات بازتوانی ورزشی؛ ط) عدم شرکت منظم در برنامه‌های بازتوانی ورزشی دیگر به غیر از برنامه تجویز شده توسط محقق بود. معیارهای خروج از مطالعه نیز شامل موارد زیر بود: الف) ابتلاء به انواع دیگر بیماری‌های دیابت نوع ۲، بیماران مبتلا به پوکی

استخوان ثانویه، بیمارانی که داروهایی مصرف کرده باشند که متابولیسم استخوان را تحت تأثیر قرار دهد، افراد دارای بیماری‌های قلبی عروقی و عروق مغزی شدید، کلیوی، کبدی، فشار خون بالا و روان پریشی در سه ماه گذشته، بیمارهای خاص از قبیل بیماری‌های پوستی، کوید-۱۹ و ...؛ ب) شرکت نامنظم در جلسات آزمون‌گیری قبل و بعد از دوره مطالعه؛ ج) غیبت بیش از ۵ جلسه در طول دوره‌ی مداخله‌های بازتوانی ورزشی؛ د) عود بیماری در طول مطالعه. لازم به ذکر است، کلیه پروتکل‌های مداخله‌های بازتوانی ورزشی توسط کمیته اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان با شناسه کد اخلاق IR.IAU.KHUISF.REC.1403.037 مورد تأیید قرار گرفت.

پس از بررسی‌های اولیه، از میان ۱۰۳ بیمار دیابت نوع ۲ مبتلا به پوکی استخوان (۵۸ زن، ۴۵ مرد) داوطلب مراجعه کننده به کلینیک حکیم شفا اصفهان، تعداد ۷۳ نفر شرایط ورود به مطالعه داشتند که به روش نمونه‌گیری غیر احتمالی ساده و روش گروه بندی بر مبنای تخصیص تصادفی ساده در یکی از سه گروه: تمرین چند جزئی+درمان میدان الکترومغناطیسی پالسی کل بدن (PEMF+MCEX، ۲۶ نفر) تمرین چند جزئی+ شبه درمان میدان الکترومغناطیسی پالسی کل بدن (PPEMF+MCEX، ۲۲ نفر) و درمان میدان الکترومغناطیسی پالسی کل بدن به تنهایی (PEMF، ۲۵ نفر) قرار گرفتند. قبل از شروع مطالعه، همه بیماران اطلاعات شفاهی و کتبی در مورد اهداف، منافع و خطرات احتمالی ناشی از مشارکت در این مطالعه دریافت کردند. پس از آن، فرم رضایت کتبی آگاهانه توسط همه بیماران امضاء شد.

در جلسه اول، اطلاعات مربوط به متغیرهای پیکرسنجی شامل سن (بر حسب سال)، قد (بر حسب متر) و وزن (بر حسب کیلوگرم) بیماران ثبت و شاخص توده بدنی (کیلوگرم/متر مربع) برای هر بیمار اندازه‌گیری شد. در جلسه دوم، شاخص‌های ترکیب بدن (شامل، درصد چربی (PBF)، وزن بدون چربی (LBM)، وزن بافت نرم (SLM) و وزن عضله اسکلتی (SMM)) با استفاده از دستگاه Analyzer Body Composition (مدل X-CONTACT 356 ساخت کمپانی Jawon Medical کره‌جنوبی با سه فرکانس ۵ و ۵۰ و ۲۵۰ کیلوهرتز) همراه با برآورد اکسیژن مصرفی اوج بیماران با استفاده از یک آزمون ورزش قلبی ریوی^۱ (CPET) اندازه‌گیری شد. سپس با مراجعه به آزمایشگاه، سنجش تراکم استخوانی با استفاده از دستگاه DEXA (مارک DMS مدل STRATOS ساخت کشور فرانسه) به صورت خوابیده از دو قسمت مهره‌های کمری، لگن صورت گرفت. سطوح سرمی عوامل خطرزای قلبی عروقی (شامل؛ کلسترول تام (TC)، تری گلیسرید (TG)، لیپوپروتئین کم چگال (LDL-C) و لیپوپروتئین پر چگال (HDL-C)، عوامل متابولیکی (شامل؛ قند خون ناشتا (GLU)، انسولین، مقاومت انسولین و هموگلوبین گلیکولیزه شده (HbA1c)) نیز با استفاده از اخذ نمونه خونی توسط یک پرستار با تجربه یک هفته قبل از اجرای مداخله‌های درمانی و ۲۴ ساعت پس از آخرین جلسه مداخله‌های درمانی از تمام گروه‌های مورد مطالعه اندازه‌گیری و ثبت شد.

در نهایت، تعداد ۱۷ نفر (۲۳/۳٪) به دلایل دشواری رفت و آمد و دوری مسافت تا کلینیک، مشغله کاری، عود بیماری، شرکت نامنظم در اندازه‌گیری‌ها و پروتکل‌های ورزشی و درمانی و مشکلات غیر مرتبط با مطالعه از مطالعه کنار رفتند. در نهایت، تحلیل آماری بر روی ۵۶ نفر (۷۶/۷٪) باقیمانده، یعنی ۱۸ نفر در گروه PEMF+MCEX، ۱۷ نفر در گروه PPEMF+MCEX و ۲۱ نفر در گروه PEMF انجام شد. از همه شرکت کنندگان خواسته شد تا پایان مطالعه وضعیت فعالیت بدنی، تغذیه و مصرف دارویی خود را تغییر ندهند. به منظور بررسی

¹ Cardiopulmonary Exercise Test (CPET)

انطباق با این دستورالعمل‌ها، عادات غذایی و فعالیت شرکت کنندگان در ابتدا و انتهای برنامه تمرینی، با ثبت رژیم غذایی خود گزارش دهی طی سه روز متوالی ارزیابی شد.

آزمون ورزش قلبی ریوی (CPET)

بیماران یک آزمون ورزش قلبی ریوی استاندارد شده را بر روی یک چرخ ارگومتر الکترونیکی جهت برآورد اوج اکسیژن مصرفی انجام دادند. پس از یک دوره آشنایی کوتاه به مدت ۱ دقیقه، بار اولیه روی ۵۰ وات تنظیم شد و متعاقب آن به تدریج ۱۲/۵ وات در هر دقیقه (۱ وات در هر ۵ ثانیه) برای زنان و ۱۵ وات در هر دقیقه (۱ وات در هر ۴ ثانیه) برای مردان تا دستیابی به واماندگی ارادی افزایش یافت. واماندگی بیماران در صورتی پذیرفته می‌شد که حداقل به دو مورد از معیارهای نسبت تبادل تنفسی اوج^۱ ($\text{pRER} \leq 1/1$)، ضربان قلب اوج^۲ (pHR) پیش‌بینی شده بر اساس سن $\leq 90\%$ (طبق فرمول: $220 - \text{سن}$) و حداکثر درجه درک فشار تمرین ≤ 19 بر اساس مقیاس بورگ رسیده باشند (Spadaro et al., 2011). ضربان قلب به طور مداوم با استفاده از ضربان سنج پولار ساخت کشور فنلاند ثبت شد. همه اندازه‌گیری‌ها در هر ۱۰ ثانیه به‌طور میانگین محاسبه شدند. داده‌های CPET متعاقباً برای محاسبه مقادیر ضربان قلب هدف تمرین برای بیماران اختصاص داده شده به MCEX استفاده شد.

پروتکل تمرینی چند جزئی: برنامه تمرینی طراحی شده برای بیماران شامل تمرینات MC (ترکیبی از تمرینات هوازی، مقاومتی، انعطاف پذیری، تمرینات با تحمل وزن بدن و متعاقب آن تمرین ویرایش برای کل بدن) به مدت ۹۰ دقیقه، ۳ جلسه در هفته برای مدت ۱۲ هفته زیر نظر یک فیزیوتراپیست با تجربه همراه با تخصص در فیزیولوژی ورزش بود. این برنامه تمرینی از سه مرحله، الف) گرم کردن، ب) برنامه اصلی و ج) سرد کردن تشکیل شده بود. برنامه تمرین اصلی با گرم کردن شروع و به تدریج بر شدت تمرین اضافه شد. ابتدا، تمرینات کششی برای اندام‌های بالاتنه و پایین تنه و همچنین عضلات پشت و شکمی به بیماران داده شد. سپس، تمرینات راه رفتن بر روی تردمیل به مدت ۲۰ دقیقه با کمترین سرعت جهت گرم کردن کامل بدن و متعاقب آن ۱۰ دقیقه تمرین با شدت $60\% - 40\%$ ضربان قلب اوج از قبل تعیین شده برای هر بیمار و در نهایت ۵ دقیقه سرد کردن با کمترین سرعت بود. اگر بیمار علائمی از خستگی، ناراحتی، اختلال تعادل، عریق شدید، درد قفسه سینه، تنگی نفس و یا گرفتگی عضلات پا را در حین تمرین نشان می‌داد، بلافاصله راه رفتن روی تردمیل متوقف می‌شد. ضربان قلب هدف بیماران از 40% ضربان قلب بیشینه (۴ هفته اول) به 50% ضربان قلب بیشینه (۴ هفته دوم) تا 60% ضربان قلب بیشینه (پایان هفته ۱۲) افزایش یافت. ضربان قلب بیماران توسط متخصص ورزشی با استفاده از دستگاه پولار در پنج بیمار بصورت تصادفی کنترل شد. علاوه بر این، فشار تمرین با استفاده از مقیاس درک فشار (بورگ، ۱۹۹۸) برای بقیه بیماران با دامنه نمره بین ۱۱ تا ۱۵ (سبک تا سخت) در مقیاس رتبه بندی ۲۰-۰ مورد استفاده قرار گرفت.

تمرینات تقویتی برای هر یک از عضلات راست کننده ستون فقرات از جمله عضلات دوزنقه و پستی بزرگ؛ عضلات دور کننده، خم کننده و راست کننده ران (شامل عضلات چهار سر رانی، خياطه، سیرینی بزرگ، دو سر رانی، سیرینی میانی، کشنده نیام پهن) و همچنین راست کننده زانو (شامل، چهار سر رانی) در ۳ ست ۱۰ تکراری انجام شد. تمرینات تقویت کننده عضلات پشت نیز بر روی تخت در مقابل نیروی جاذبه زمین و فعالیت‌های تقویت کننده عضلات لگن با استفاده از تحمل وزن بدن در جلوی میله‌های نصب شده به دیوار کلینیک انجام شد. علاوه بر این، تمرینات مقاومتی ایزوتونیک نیز برای عضلات ران با استفاده از یک کیسه شن با وزن‌های مختلف ۵/۰ تا ۳

¹ Peak Respiratory Exchange Ratio (pRER)

² Peak Heart Rate (pHR)

کیلوگرم، در سه ست با ۱۰ تکرار بیشینه، متناسب با تحمل بیمار اجرا شد. در بخش تمرین مقاومتی، بیماران ۲ ست ۱۰ تکراری را در ۴ هفته اول و ۳ ست ۱۰ تکراری را تا پایان هفته ۱۲ انجام دادند. میزان درک فشار در پایان ست‌ها از ۶ به ۷ (۴ هفته اول) به ۸-۹ (پایان ۱۲ هفته) بر اساس مقیاس درک فشار تمرین مقاومتی امنی^۱ (OMNI-RES scale) رسید. تمرین ویبریشن (WBV) تجویزی به بیماران در این مطالعه، شامل یک تحریک لرزشی با فرکانس بالا (۳۰-۴۰ هرتز) با دامنه متوسط ۲-۴ میلی‌متر اوج به اوج بود. هر بیمار در هنگام چمباتمه زدن در وضعیت ایستا در معرض ارتعاشات قرار می‌گرفت. در این تمرین، یک وضعیت استاندارد شده برای پا در نظر گرفته شده بود. با توجه به اصل اضافه بار پیشرونده، شدت تمرین با کاهش دوره‌های استراحت یا افزایش دامنه و/یا فرکانس ارتعاش افزایش می‌یافت. تمرین ویبریشن با یک ست ۳۰ ثانیه‌ای در دامنه ۲ میلی‌متر و ۳۰ هرتز آغاز شد و به طور فزاینده تا دامنه بالای ۳۵ هرتز با دو ست ۵ دقیقه‌ای افزایش یافت. در پایان برنامه مداخله تمرین MC، بیماران اقدام به سرد کردن بدن خود با استفاده از تمرینات ریلکسیشن و کششی کردند. به کلیه بیماران توصیه شد که هر روز ۳۰ دقیقه پیاده روی نیز در برنامه خود قرار دهند. علاوه بر این، به بیماران توضیحات مفصل در مورد فعالیت‌ها داده شد که نظم و پیوستگی تمرینات خود را پیگیری کنند.

پروتکل درمان میدان الکترومغناطیسی پالسی برای کل بدن: درمان پالسی PEMF انرژی مغناطیسی را با استفاده از یک تشک اندیکاتور به ابعاد $۶۸ \times ۲۳ \times ۱/۵$ اینچ و یک بالش اندیکاتور به ابعاد $۸ \times ۱۰ \times ۲/۵$ اینچ به بدن ارسال می‌کند. این تشک، یک PEMF با دامنه فرکانس ۰/۰۱-۱۵۰۰ هرتز به شکل موج سینوسی، مستطیلی، چند رزونانسی، ضربه‌ای یا دندان اره‌ای، با شدت حداکثر ۳۰ گاوس (۳۰۰۰ میکروتسلا) است، در حالی که بالش ۱۰۱ گاوس (۱۰۰۰۰ میکروتسلا) بر روی کل بدن اعمال خواهد شد. برای یک دوره‌ی ۱۲ هفته‌ای، هر بیمار به مدت ۳۰ دقیقه در روز، با شدت ۱۰٪، فرکانس ۵-۱۵ هرتز، سه بار در هفته روی تشک دراز می‌کشد. مداخله دارونما نیز مشابه مداخله واقعی است، اما دستگاه PEMF خاموش می‌شود. این روش به ویژه برای آزمایش‌های دو سو کور مناسب است؛ زیرا استفاده از درمان PEMF هیچ احساسی در بیمار ایجاد نمی‌کند. دستگاه مورد استفاده دارای سوئیچ طراحی شده خاصی است که در پشت پنهان است و محقق را قادر می‌سازد PEMF را برای شرایط دارونما قطع کند. علامت "روشن" و پارامترهای درمان PEMF به همه بیماران (گروه‌های پلاسبو و PEMF) به همین روش نمایش داده شد.

به منظور ارزیابی شاخص‌های قند خون، همگلوبین گلیکوزیله شده، کلسترول تام، تری‌گلیسرید، لیپوپروتئین کم چگال و لیپوپروتئین پر چگال، نمونه خونی به میزان ۱۰ سی‌سی خون از سیاهرگ آنتی‌کوبیتال بازویی پس از ۱۲-۱۰ ساعت در وضعیت ناشتا بین ساعت ۷/۳۰ تا ۱۰ صبح در دو مرحله (۲۴ قبل و ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه برنامه‌های مداخله از تمام بیماران گروه‌ها اخذ و در لوله حاوی ماده ضد انعقاد EDTA به آزمایشگاه ارسال شد. به منظور ارزیابی HDL و LDL از کیت‌های تشخیصی شرکت پارس آزمون ساخت کشور ایران با ضریب تغییرات و حساسیت به ترتیب ۲/۲ درصد و ۱ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر استفاده شد. برای اندازه‌گیری کلسترول نیز از کیت تشخیصی شرکت پارس آزمون ساخت کشور ایران با ضریب تغییرات ۱/۲ درصد و ۳ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر استفاده شد. تری‌گلیسرید نیز به روش آنزیمی رنگ سنجی (شرکت پارس آزمون ایران) با ضریب تغییرات و حساسیت ۲/۴ درصد و ۱ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. غلظت گلوکز خون ناشتا با استفاده از روش رنگ سنجی-آنزیمی (گلوکز اکسیداز) با استفاده از کیت (شرکت پارس آزمون) اندازه‌گیری شد. حساسیت روش مذکور ۱

¹ OMNI-Resistance Exercise Scale of Perceived Exertion

میلی گرم در دسی لیتر و ضریب تغییرت ۱/۲ درصد بود. اندازه‌گیری HbA1c به روش کروماتوگرافی ستونی با آنالایزر (Arkray ADAMS A1c HA-8160 HbA1c analyser، کیوتو، ژاپن) با ضریب تغییرات ۲/۵ درصد انجام شد. جهت اندازه‌گیری مقاومت انسولین از شاخص ارزیابی مدل هموستازی HOMA-IR فرمول استفاده شد.

داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۵ تحلیل شد. قبل از تحلیل آماری، ابتدا فرض طبیعی بودن داده‌ها و برابری واریانس‌ها برای کلیه متغیرهای وابسته به ترتیب با استفاده از آزمون کلموگروف اسمیرنوف و آزمون لون ارزیابی شد. پس از حصول اطمینان از طبیعی بودن توزیع داده‌ها و همچنین برابری واریانس‌ها، تحلیل آماری با استفاده از آمار پارامتریک اجرا شد. از آزمون تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) برای مقایسه متغیرهای وابسته در حالت پایه استفاده شد. برای بررسی اثرات درون گروهی مداخله‌های تمرینی و درمانی بر تغییرات متغیرهای وابسته قبل و بعد از مداخله، از آزمون t زوجی و برای مقایسه اثرات مداخله‌های تمرینی و درمانی بر متغیرهای وابسته بین گروه‌های سه گانه از تحلیل کوواریانس (ANCOVA) استفاده شد. سطح معنی‌داری برای کلیه عملیات آماری $p \leq 0.05$ در نظر گرفته شد.

نتایج

قبل از اعمال مداخله‌ها، هیچ تفاوت آماری معناداری از نظر سن، وزن، شاخص توده بدن، درصد چربی، اوج اکسیژن مصرفی، شاخص‌های مربوط به تراکم مواد معدنی استخوان در حالت پایه، بین بیماران سه گروه مشاهده نشد. بر اساس تجزیه و تحلیل آزمون t زوجی کاهش معناداری در وزن، شاخص توده بدن و درصد چربی در گروه‌های PEMF+MCEx و PPEMF+MCEx در مقایسه با حالت پایه پس از ۱۲ هفته مداخله در بیماران دیابتی نوع ۲ مبتلا به پوکی استخوان مشاهده شد ($p < 0.05$). نتایج تحلیل کوواریانس نشان داد، تعامل گروه×زمان برای کلیه متغیرهای ترکیب بدن معنادار است ($p < 0.001$). نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نیز کاهش معناداری در شاخص‌های وزن، شاخص توده بدن و درصد چربی گروه‌های تمرینی با و بدون PEMF در مقایسه با گروه کنترل PEMF ($p = 0.001$) نشان داد.

جدول ۱: مقادیر (میانگین±انحراف استاندارد) ترکیب بدنی آزمودنی‌ها در گروه‌های پژوهش

متغیرها	گروه	پیش آزمون	پس آزمون	درون گروهی		بین گروهی	
				P	T	P	F
وزن (کیلوگرم)	PEMF+MCEx	۸۱/۸۳±۸۰	۷۹/۶±۳۸/۸۷	-۹/۵۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱۷/۱۸
	PPEMF+MCEx	۷۶/۷±۹۵/۱۵	۷۵/۶±۰۱/۹۷	-۱۰/۳۷	۰/۰۰۱		
	PEMF	۷۵/۷±۹۴/۸۷	۷۵/۷±۸۲/۶۰	-۰/۳۸	۰/۷		
شاخص توده بدن (کیلوگرم بر متر مربع)	PEMF+MCEx	۲۸/۱±۶۸/۸۶	۲۷/۱±۸۳/۸۹	-۹/۷۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱۹/۸۸
	PPEMF+MCEx	۲۸/۱±۲۳/۷۸	۲۷/۱±۵۱/۷۳	-۱۰/۷	۰/۰۰۱		
	PEMF	۲۸/۱±۲۹/۴۷	۲۸/۱±۲۶/۷۲	-۰/۲	۰/۸		
چربی (درصد)	PEMF+MCEx	۳۱/۲±۳۱/۵۱	۲۸/۱±۷۹/۶۱	-۷/۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱۲/۴۷
	PPEMF+MCEx	۳۱/۲±۱۱/۷۸	۲۸/۲±۴۵/۳۶	-۹/۶	۰/۰۰۱		
	PEMF	۳۰/۲±۵۴/۶۰	۲۹/۳±۹۲/۱۰	-۱/۷	۰/۰۹		

بر اساس تجزیه و تحلیل آزمون t زوجی پس از ۱۲ هفته مداخله افزایش معناداری در تراکم استخوان کل لگن و ستون فقرات کمری در هر سه گروه مداخله در مقایسه با حالت پایه در بیماران دیابتی نوع ۲ مبتلا به پوکی استخوان مشاهده شد ($p < 0.05$). نتایج تحلیل کوواریانس نشان داد، تعامل گروه×زمان برای کلیه متغیرهای تراکم استخوان معنادار است ($p < 0.001$). نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی افزایش معناداری در میزان تراکم استخوان کل لگن گروه PEMF+MCEx با گروه‌های PPEMF+MCEx ($p = 0.036$) و PEMF به تنهایی ($p = 0.001$)، گروه PEMF+MCEx با گروه PEMF به تنهایی ($p = 0.018$) و همچنین افزایش معناداری در میزان تراکم استخوان ستون فقرات کمری گروه PEMF+MCEx در مقایسه با گروه کنترل PEMF به تنهایی ($p = 0.004$) پس از ۱۲ هفته مداخله در بیماران دیابتی نوع ۲ مبتلا به پوکی استخوان نشان داد، (جدول ۲).

جدول ۲: مقادیر (میانگین±انحراف استاندارد) تراکم استخوان آزمودنی‌ها در گروه‌های پژوهش

متغیرها	گروه	پیش آزمون	پس آزمون	درون گروهی		بین گروهی	
				P	T	P	F
تراکم استخوانی کل لگن (g/cm^2)	PEMF+MCEx	0.76 ± 0.05	0.94 ± 0.21	۰/۰۰۱	۸/۲		۱۴/۸۹
	PPEMF+MCEx	0.80 ± 0.06	0.90 ± 0.18	۰/۰۰۱	۵/۳		
	PEMF	0.81 ± 0.09	0.84 ± 0.18	۰/۰۲۴	۲/۴		
ستون فقرات کمری (g/cm^2)	PEMF+MCEx	0.99 ± 0.16	1.18 ± 0.21	۰/۰۰۱	۵/۳		۵/۸۵
	PPEMF+MCEx	0.95 ± 0.16	1.02 ± 0.18	۰/۰۰۱	۳/۸		
	PEMF	0.97 ± 0.21	1.01 ± 0.18	۰/۰۸۶	۱/۸		

تغییرات اکسیژن مصرفی اوج

جدول ۳، تغییرات توان هوازی بیماران قبل و بعد از ۱۲ ماه مداخله‌های بازتوانی ورزشی را نشان می‌دهد. در حالت پایه، هیچ‌گونه تفاوت معناداری در اکسیژن مصرفی اوج بیماران بین بیماران سه گروه مشاهده نشد. پس از اعمال مداخله به مدت ۱۲ ماه، سطح اکسیژن مصرفی اوج در گروه‌های تمرینی با و بدون درمان PEMF به طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.001$)، در حالی که این تفاوت در گروه درمان PEMF به تنهایی معنادار نبود. تحلیل کوواریانس نیز نشان داد، تعامل گروه×زمان برای متغیر اکسیژن مصرفی اوج معنادار است ($p = 0.001$). نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نیز افزایش معناداری در سطح اکسیژن مصرفی اوج گروه‌های تمرینی با و بدون PEMF در مقایسه با گروه کنترل PEMF به تنهایی ($p = 0.001$) پس از ۱۲ هفته مداخله در بیماران دیابتی نوع ۲ مبتلا به پوکی استخوان نشان داد.

جدول ۳، تغییرات گلوکز ناشتایی، انسولین، مقاومت انسولین و هموگلوبین گلیکولیزه شده قبل و بعد از ۱۲ ماه مداخله‌های بازتوانی ورزشی در بیماران دیابتی نوع ۲ مبتلا به پوکی استخوان را نشان می‌دهد. تغییرات تمامی عوامل متابولیکی اشاره شده در گروه‌های مداخله تمرین MC با و بدون درمان PEMF، در پس از آزمون نسبت به حالت پایه تفاوت معنی‌داری نشان می‌دهد (گلوکز ناشتایی: $P = 0.001$ ؛ انسولین: $P = 0.001$ ؛ مقاومت انسولین: $P = 0.001$ ؛ هموگلوبین گلیکولیزه شده: $P = 0.001$). بر اساس تحلیل کوواریانس، تعامل گروه×زمان بین گروه‌های مداخله در شاخص‌های متابولیک معنی‌دار بود (گلوکز ناشتایی: $P = 0.001$ ؛ انسولین: $P = 0.001$ ؛ مقاومت انسولین: $P = 0.001$ ؛ هموگلوبین گلیکولیزه شده: $P = 0.001$).

$P=0/001$ ؛ هموگلوبین گلیکولیزه شده: $P=0/009$). نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی کاهش معناداری در قند خون ناشتا، انسولین و مقاومت انسولین در گروه‌های مداخله بازتوانی ورزشی PEMF+MCEX و PPEMF+MCEX در مقایسه با گروه PEMF به تنهایی ($p<0/001$) و همچنین هموگلوبین گلیکولیزه شده در گروه PEMF+MCEX در مقایسه با گروه PEMF به تنهایی پس از ۱۲ هفته را نشان داد ($p<0/05$).

جدول ۳: مقادیر (میانگین±انحراف استاندارد) اکسیژن مصرفی اوج و عوامل متابولیکی آزمودنی‌ها

متغیرها	گروه	پیش آزمون	پس آزمون	درون گروهی		بین گروهی	
				P	T	P	F
اکسیژن مصرفی اوج	PEMF+MCEX	۱۸/۱±۴۱/۷۲	۲۴/۲±۸۷/۰۵	۰/۰۰۱	۱۱/۶	۰/۰۰۱	۵۰/۴
	PPEMF+MCEX	۱۹/۲±۸۲/۳۷	۲۵/۳±۲۲/۵۱	۰/۰۰۱	۷/۵	۰/۰۰۱	
	PEMF	۱۹/۱±۸۵/۳۵	۱۹/۱±۳۴/۵۵	۰/۱۱	-۱/۶	۰/۱۱	
گلوکز	PEMF+MCEX	۱۵۰/۱±۸۲/۶۳	۱۳۸/۸±۰۴/۷۳	۰/۰۰۱	-۶/۳	۰/۰۰۱	۸/۵
	PPEMF+MCEX	۱۴۶/۱±۴۴/۷۶	۱۳۵/۱۱±۹۷/۷۵	۰/۰۰۶	-۳/۱	۰/۰۰۶	
	PEMF	۱۴۹/۱۲±۰۵/۱۳	۱۴۶/۹±۵۳/۶۵	۰/۰۷۶	-۱/۸	۰/۰۷۶	
انسولین	PEMF+MCEX	۱۱/۱±۵۷/۱۶	۹/۰±۶۱/۹۳	۰/۰۰۱	-۱۰/۵	۰/۰۰۱	۲۱/۱
	PPEMF+MCEX	۱۰/۱±۵۴/۲۳	۹/۱±۵۴/۳۰	۰/۰۰۱	-۴/۲	۰/۰۰۱	
	PEMF	۱۱/۱±۲۰/۲۲	۱۱/۱±۰۲/۱۱	۰/۳	-۰/۸	۰/۳	
مقاومت انسولینی	PEMF+MCEX	۴/۰±۳۰/۴۱	۳/۰±۲۶/۲۸	۰/۰۰۱	-۱۲/۰۹	۰/۰۰۱	۴۰/۹
	PPEMF+MCEX	۳/۰±۸۲/۶۴	۳/۰±۲۱/۵۸	۰/۰۰۱	-۶/۸	۰/۰۰۱	
	PEMF	۴/۰±۱۳/۶۲	۴/۰±۰۰/۵۰	۰/۰۷	-۱/۹	۰/۰۷	
HBA1C	PEMF+MCEX	۸/۰±۵۲/۶۷	۷/۱±۲۹/۱۱	۰/۰۰۱	-۵/۱	۰/۰۰۱	۵/۱
	PPEMF+MCEX	۸/۰±۳۵/۷	۷/۰±۴۳/۸۴	۰/۰۰۴	-۳/۳	۰/۰۰۴	
	PEMF	۸/۰±۲۲/۷۴	۸/۰±۰۲/۶۲	۰/۱۸	-۱/۳	۰/۱۸	

تغییرات در چربی‌های خون

جدول ۴، تغییرات کلسترول تام، تری گلیسرید، لیپوپروتئین کم چگال و لیپوپروتئین پر چگال قبل و بعد از ۱۲ ماه مداخله‌های بازتوانی ورزشی در بیماران دیابتی نوع ۲ مبتلا به پوکی استخوان را نشان می‌دهد. تغییرات تمامی نشانگرهای لیپیدی خون اشاره شده در گروه‌های مداخله تمرین MC با و بدون درمان PEMF، در پس از آزمون نسبت به حالت پایه تفاوت معنی‌داری نشان می‌دهد (کلسترول تام: ($p<0/05$ ؛ تری گلیسرید: $P=0/001$ ؛ لیپوپروتئین کم چگال: $P=0/001$ ؛ لیپوپروتئین پر چگال: $P=0/001$). تحلیل کواریانس نشان داد، تعامل گروه×زمان فقط برای متغیرهای لیپوپروتئین کم چگال: $P=0/001$ و لیپوپروتئین پر چگال: ($P=0/001$) معنادار است. با این حال، نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی کاهش معناداری در لیپوپروتئین کم چگال در گروه PEMF+MCEX در مقایسه با گروه‌های PEMF+MCEX و PEMF به تنهایی و همچنین گروه PPEMF+MCEX در مقایسه با گروه PEMF به تنهایی پس از ۱۲ هفته مطالعه را نشان داد ($p<0/01$). با این حال هیچ کدام از مداخله‌های تمرینی و درمانی برتری ویژه‌ای نسبت به یکدیگر در ایجاد تغییر در متغیرهای کلسترول تام و تری گلیسرید نشان ندادند.

جدول ۴: مقادیر (میانگین $\pm$ انحراف استاندارد) نیمرخ لیپیدی آزمودنی‌ها در گروه‌های پژوهش

متغیرها	گروه	پیش آزمون	پس آزمون	درون گروهی		بین گروهی	
				P	T	P	F
کلسترول تام	PEMF+MCE _x	۲۸۷/۵۱ $\pm$ ۵۶/۳۹	۲۲۷/۴۱ $\pm$ ۷۲/۷۲	-۵/۲	-۰/۰۰۱		
	PPEMF+MCE _x	۲۹۴/۴۷ $\pm$ ۵۳/۹۰	۲۵۴/۴۴ $\pm$ ۵۹/۵۰	-۶/۰۲	-۰/۰۰۱		۱۶/۳
	PEMF	۲۸۳/۴۷ $\pm$ ۱۹/۱۸	۲۸۷/۴۹ $\pm$ ۳۳/۶۴	-۰/۵	-۰/۰۶		
Tg	PEMF+MCE _x	۱۹۶/۴۵ $\pm$ ۱۷/۰۷	۱۳۱/۲۹ $\pm$ ۷۸/۹۰	-۵/۶	-۰/۰۰۱		
	PPEMF+MCE _x	۲۰۱/۳۳ $\pm$ ۵۹/۰۵	۱۵۱/۴۹ $\pm$ ۴۷/۴۱	-۴/۷	-۰/۰۰۱		۱۵/۱
	PEMF	۲۰۵/۴۳ $\pm$ ۰۵/۳۲	۲۰۵/۵۰ $\pm$ ۹۰/۸۴	-۰/۷	-۰/۰۹		
HDL	PEMF+MCE _x	۳۵/۳ $\pm$ ۰۰/۳۸	۴۲/۴ $\pm$ ۶۱/۷۷		۱۳/۸	-۰/۰۰۱	
	PPEMF+MCE _x	۳۳/۲ $\pm$ ۲۴/۳۶	۴۱/۳ $\pm$ ۰۰/۵۷		۱۱/۰۱	-۰/۰۰۱	۳۵/۴
	PEMF	۳۴/۳ $\pm$ ۱۰/۰۸	۳۵/۳ $\pm$ ۰۵/۱۵		۱/۳۱	-۰/۰۲	
LDL	PEMF+MCE _x	۱۵۱/۳۶ $\pm$ ۱۰۰/۷۵	۱۰۱/۱۵ $\pm$ ۴۴/۵۰	-۵/۷	-۰/۰۰۱		
	PPEMF+MCE _x	۱۵۳/۳۲ $\pm$ ۱۲/۶۲	۱۱۹/۲۵ $\pm$ ۲۹/۶۳	-۶/۳	-۰/۰۰۱		۴۲/۵
	PEMF	۱۵۶/۳۵ $\pm$ ۱۹/۴۸	۱۵۶/۳۰ $\pm$ ۸۱/۸۴	-۰/۲	-۰/۰۸		

بحث و بررسی:

بر اساس دانش ما، این اولین مطالعه‌ای است که اثرات ۱۲ هفته تمرین MC در ترکیب با درمان PEMF بصورت روشن و خاموش در بیماران دیابتی مبتلا به پوکی استخوان مورد مطالعه و تحلیل قرار می‌گیرد و بدنبال شناسایی مؤثرترین روش‌های باتوانی ورزشی برای بهبودی در متغیرهای مورد مطالعه بود. یافته‌های اصلی این مطالعه این بود که هر دو نوع مداخله تمرینی MC با و بدون PEMF بطور یکسان شاخص‌های ترکیب بدن، نیمرخ لیپیدی و گلیسمیک را بهبود بخشیدند. اگر چه، به نظر می‌رسد ترکیب مداخله‌های PEMF+MCE_x اثر بیشتری در شاخص‌های گلیسمیک (IR، HbA1c) و BMD ستون فقرات ناحیه کمری در مقایسه با دیگر مداخله‌های PEMF+MCE_x و PEMF به تنهایی داشت. در دیگر شاخص‌های ترکیب بدن و عوامل قلبی متابولیکی اثرات هر دو شیوه تمرینی با و بدون PEMF مشابه بود و تفاوت معناداری بین آن‌ها مشاهده نشد. با این حال، کاهش معناداری در تغییرات وزن بدن، شاخص توده بدن، درصد چربی، سطوح گلوکز ناشتا، انسولین، IR، HbA1c، نیمرخ لیپوپروتئین کم چگال و افزایش معناداری در BMD ستون فقرات کمری و تراکم استخوانی کل لگن، اوج اکسیژن مصرفی و لیپوپروتئین پر چگال در گروه‌های مداخله PEMF+MCE_x و PEMF+MCE_x در مقایسه با گروه PEMF به تنهایی پس از دوره مطالعه ۱۲ هفته‌ای مشاهده شد.

با افزایش سن، وزن بدن و درصد چربی به تدریج افزایش می‌یابد، در حالی که توده بدون چربی کاهش می‌یابد. این تغییرات در ترکیب بدن منجر به تضعیف، از دست دادن عضلات و سندرم متابولیک می‌شود. مطالعه حاضر نشان داد که تمرینات MC با و بدون درمان PEMF بطور قابل توجهی متغیرهای ترکیب بدنی (وزن، شاخص توده بدن و درصد چربی) پس از ۱۲ هفته مداخله در مقایسه با حالت پایه را کاهش داد؛ در حالی که، این تفاوت برای گروه مداخله درمان PEMF به تنهایی معنادار نبود. تحلیل آزمون تعقیبی بنفرونی، تغییرات قابل توجه و معناداری در شاخص‌های ترکیب بدن (وزن بدن، شاخص توده بدن و درصد چربی)، پس از ۱۲ هفته مداخله تمرین MC با و بدون درمان PEMF در مقایسه با گروه درمان PEMF به تنهایی نشان داد. با این حال، نتایج این

مطالعه تأکید می‌کند که تمرین منظم ورزشی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در بهبود ترکیب بدن و جلوگیری از بیماری‌های مزمن ناشی از چاقی شکم در افراد دیابتی نوع ۲ مبتلا به پوکی استخوان است که می‌تواند از تغییرات منفی در ترکیبات بدن افراد مسن جلوگیری کند (Monteiro et al., 2019).

اگرچه اکثر مطالعات نشان می‌دهند که تمرین ترکیبی می‌تواند وزن بدن و WHR را به میزان قابل توجهی کاهش و توده بدون چربی در سالمندان را افزایش دهد، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که پس از ۱۲ هفته مداخله، وزن بدن، شاخص توده بدن و درصد چربی تمایل به کاهش معنادار در گروه‌های مداخله تمرین MC با و بدون درمان PEMF دارد که با نتایج مطالعات قبلی همخوانی دارد (García-Hermoso et al., 2018; Timmons et al., 2018; Park et al., 2020; Pereira-Monteiro et al., 2024). در یک پژوهش متاآنالیز نشان داده شد که تمرین هوازی به همراه تمرین مقاومتی باعث بهبود ترکیب بدن (توده چربی، وزن بدن و شاخص توده بدن) می‌شود (García-Hermoso et al., 2018). همچنین کاهش چربی بدن در افراد مسن پس از ۶ هفته تمرین هوازی یا ترکیبی نشان داده شده است. با این حال، گروه تمرین ترکیبی تنها پس از ۱۲ هفته مداخله این سازگاری را نشان داد، که نشان می‌دهد انواع مختلف تمرین به دوره‌های متفاوتی برای ایجاد سازگاری در چربی بدن نیاز دارند (Timmons et al., 2018).

همچنین نشان داده شد تمرین ترکیبی با شدت متوسط در کاهش وزن، شاخص توده بدن و درصد چربی مؤثر است (Park et al., 2020). بعلاوه در مطالعه‌ای بر روی زنان یائسه نشان داده شد که هر دو تمرین ترکیبی و عملکردی، افزایش‌های مشابهی را در توده بدون چربی و کاهش‌های مشابه در درصد چربی نشان دادند. در هر دو گروه تمرین، افزایش توده بدون چربی در هفته هشتم تمرین و کاهش درصد چربی در هفته دوازدهم مشاهده شد که این تغییرات در ترکیب بدن در پایان دوره مداخله حفظ شد (Pereira-Monteiro et al., 2024).

مکانیسم‌های احتمالی در مورد تأثیر فعالیت ورزشی بر کنترل ترکیب بدن این است که فعالیت ورزشی با شدت متوسط تا زیاد می‌تواند منجر به افزایش کاتکولامینها و رها سازی هورمون رشد، افزایش مصرف اکسیژن پس از فعالیت ورزشی و افزایش فعالیت لیپوپروتئین لیپاز شود. در مقابل، هزینه بالاتر انرژی هنگام فعالیت‌های ورزشی می‌تواند باعث از بین رفتن بیشتر چربی بدن شود. از دیگر مکانیسم‌ها و دلایل کاهش وزن در اثر تمرین می‌توان به افزایش هزینه‌ی انرژی در اثر تمرین، افزایش فراخوانی چربی همراه با افزایش فعالیت بافت چربی، افزایش ناچیز در میزان سوخت و ساز استراحتی پس از فعالیت ورزشی، افزایش احتمالی پاسخ گرمایی به غذا اگر زمان فعالیت ورزشی و غذا خوردن به هم نزدیک باشند، گسترش عملکرد روانی و احتمالاً کنترل بهتر اشتها اشاره کرد. در مجموع، شدت ورزش بالاتر ممکن است منجر به کاهش قابل توجه بلند مدت چربی بدن در مقایسه با شدت ورزش کمتر شود (Westertep et al., 2018).

در این مطالعه، تأثیر PEMFs، تمرین MC و ترکیب هر دو روش درمانی بر BMD در بیماران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بهبودهای قابل توجهی را پس از درمان با هر یک از روش‌ها نشان داد، با این حال، ترکیب هر دو روش درمانی منجر به بهبود بیشتر از اثر هر روش به تنهایی شد. مکانیسم بهبود BMD پس از قرار گرفتن در معرض PEMFs، می‌تواند به دلیل اثر پیزوالکتریک روی سلول‌های استخوانی باشد که باعث رسوب کلسیم در استخوان می‌شود. این امر توسط یافته‌های Vincenzi و همکاران تأیید می‌شود که به این نتیجه رسیدند که کاربرد میدان الکترومغناطیسی منجر به جریان الکتریکی یونی در لوله‌های استخوانی برای تولید خون و تجمع

کلسیم به عنوان پتانسیل عمل مغز استخوان می‌شود (Vincenzi et al., 2013). بهبود BMD در نواحی تحت درمان همچنین می‌تواند به دلیل تأثیر PEMF بر گیرنده اتصال سطح سلول باشد که به نوبه خود می‌تواند بر متابولیسم سلول تأثیر بگذارد و رشد را تحریک کند که منجر به بهبود تراز ترابکولار و غضروف شود. این با نتیجه کارپنتر و همکاران موافق است، که بیان کرد که PEMF ممکن است بر مکانیسم دروازه‌ای که غلظت غشای لنفوسیت را تنظیم می‌کند و ممکن است شار خالص کلسیم را افزایش دهد، تأثیر بگذارد (Carpenter et al., 2004). آنها علاوه بر این نتیجه گرفتند که سلول‌های استئوبلاست کلسیم انسانی را می‌توان با PEMFs افزایش داد (Fitzsimmons et al., 1994).

در این مطالعه، افزایش BMD با فعالیت ورزشی ممکن است به حرکت مایع خارج سلولی در استخوان نسبت داده شود که منجر به اعمال نیرو بر روی استئوسیت‌ها می‌شود که باعث آزاد شدن نیتریک اکسید و پروستاگلاندین می‌شود. این مواد منجر به تقسیم و تمایز سلول‌های استئوپروژنی‌تور می‌شوند. مایع خارج سلولی در ماتریکس استخوان ممکن است تحت تأثیر یک تنش برشی ناشی از انقباض عضلانی در طول تمرین باشد که منجر به تغییر شکل استخوان می‌شود. در حین تمرین، نیروهای گرانشی باعث تنش‌های برشی مایع خارج سلولی و متعاقب آن انتقال مکانیکی می‌شوند (Sallis et al., 2015).

در این مطالعه، هر دو شیوه تمرینی MC (ترکیبی از هوازی، مقاومتی، انعطاف پذیری، تعادل، و ویریشن کل بدن) با و بدون PEMF در کاهش گلوکز ناشتا، انسولین ناشتا، شاخص IR (اندازه‌گیری شده با HOMA-IR) و HbA1c در افراد دیابتی مبتلا به پوکی استخوان مؤثر بود که با یافته رابرسون و همکاران بر روی افراد سالمند، همخوانی دارد (Roberson et al., 2018). گروه مداخله PEMF+MCEx در مطالعه ما، کاهش معناداری حدود ۸/۳ میلی‌گرم بر دسی لیتر در گلوکز، ۱۹٪ در HbA1c، ۲۳/۴۳ در مقاومت انسولین و ۱۶/۷ واحد در انسولین داشتند. با این حال، هیچ اثر معنی داری پس از درمان PEMF به تنهایی برای شاخص‌های ترکیب بدن، متابولیسم گلوکز و نیمرخ لیپیدی مشاهده نشد. شواهد قبلی نشان داد که فعالیت ورزشی عمدتاً جذب گلوکز کل بدن را با افزایش حساسیت به انسولین و دفع گلوکز چند اندام بدن را بالا می‌برد. به خوبی ثابت شده است که فعالیت ورزشی می‌تواند متابولیسم گلوکز را در بافت‌های عضلانی، چربی و کبد نیز بهبود بخشد و منجر به افزایش کلی حساسیت به انسولین شود (Smith et al., 2018). این یافته‌ها با بررسی‌های قبلی که بهبود قابل توجهی در حساسیت به انسولین پس از یک برنامه ورزشی در بزرگسالان دارای اضافه وزن یا چاق با و بدون T2DM نشان می‌داد (Thaane et al., 2018; Battista et al., 2021) مطابقت دارد.

علاوه بر این، دریافتیم که ۶ مورد از RCT‌های موجود در این رابطه که بر روی بزرگسالان کم تحرک با ویژگی‌های بالینی متفاوت (از جمله افراد بزرگسال کم تحرک با وزن طبیعی یا اضافه وزن، بزرگسالان چاق)، کاهش قابل توجهی در شاخص IR پس از تمرین ورزشی ترکیبی را نشان دادند (Mohammad Rahimi et al., 2021; Brunelli et al., 2015; Amaro-Gahete et al., 2019; Streb et al., 2021; Azarbayjani et al., 2014; Ha et al., 2015). اگر چه، این ۶ RCT شامل بزرگسالان کم تحرک با ویژگی‌های بالینی متفاوت بود. برای بررسی اثر بخشی برنامه‌های بازتوانی ورزشی، ویژگی‌های بالینی شرکت‌کنندگان بسیار حائز اهمیت است، زیرا گزارش شده که پتانسیل سازگاری و بهبود حساسیت به انسولین احتمالاً تحت تأثیر وضعیت سلامت حالت پایه شرکت‌کنندگان قرار دارد (Bird et al., 2017). افراد سالم، دارای اضافه وزن/چاق، سندرم

متابولیک، افراد دیابتی و پوکی استخوان احتمالاً از نظر سازگاری و بهبود به فعالیت ورزشی واکنش متفاوتی نشان می‌دهند.

با این حال، این بهبودها در نشانگرهای متابولیسم گلوکز ممکن است با اثر هم افزایی ترکیب هر یک از فعالیت های هوازی، مقاومتی و تعادلی توضیح داده شود. تمرین هوازی پتانسیل بهبود حساسیت به انسولین را با افزایش بیان و فعالیت بسیاری از پروتئین‌های دخیل در تنظیم جذب گلوکز و متابولیسم در عضلات اسکلتی دارد. علاوه بر این، تمرین هوازی ممکن است ذخیره چربی و ظرفیت اکسیداسیون چربی را در عضلات در افراد سالم و مقاوم به انسولین بهبود بخشد و تراکم مویرگ‌ها را افزایش دهد که انتشار گلوکز از مویرگ‌ها به سلول‌های عضلانی را تسهیل می‌کند. از سوی دیگر، تأثیر مفید تمرین مقاومتی بر حساسیت به انسولین را می‌توان تا حدی با هیپرتروفی عضلات اسکلتی توضیح داد (Silva et al., 2024). افزایش توده عضلانی ناشی از تمرین ورزشی، ممکن است جذب گلوکز عضلات اسکلتی را افزایش دهد و حساسیت به انسولین را بهبود بخشد. موینگی بیشتر توده عضلانی اسکلتی و پاسخ گشادکننده عروق آن می‌تواند این بهبود را توضیح دهد. علاوه بر این، تمرین مقاومتی بیان و فعالیت ناقل گلوکز، گیرنده‌های انسولین و آنزیم‌های دخیل در متابولیسم گلوکز را نیز تحریک می‌کند. در این مطالعه، به نظر می‌رسد مداخله تمرینی MCEX همراه با PEMF توانسته است برای دستیابی به کنترل بهتر گلوکز کمک کند. این نتایج با مطالعات قبلی مطابقت دارد (Silva et al., 2024).

در مطالعه حاضر، هیچ کاهش قابل توجهی در چربی خون کلسترول و تری گلیسرید در گروه‌های مداخله ورزشی همراه با PEMF در مقایسه با گروه کنترل PEMF به تنهایی مشاهده نشد. این امکان وجود دارد که تغییرات چربی خون تا حد زیادی تحت تأثیر رژیم غذایی قرار گیرد، یا این که ممکن است، فعالیت ورزشی منظم فقط اثر کمی یا کندی بر متابولیسم لیپید قرار گیرد.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مداخله بازتوانی ورزشی از طریق بکارگیری تمرین MC می‌تواند به طور موثر سه نوع شاخص لیپید LDL را کاهش دهد و در عین حال شاخص HDL را افزایش دهد. نشان داده شده است تمرین MC می‌تواند سطوح TC، TG و LDL-C را کاهش دهد، در حالی که سطح HDL-C را در بیماران افزایش می‌دهد (Feng et al., 2024). نتایج این مطالعه با مطالعات فوق مطابقت دارد. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که رژیم‌های ورزشی با چرخه طولانی (بیش از ۱۲ هفته)، شدت متوسط تا زیاد و مدت زمان بیش از ۳۰ دقیقه تأثیر بیشتری بر شاخص‌های چربی داشتند و افراد بزرگسال با طول مدت بیماری کمتر از ۵ سال توانستند، مزایای بیشتری از تمرین MC کسب کنند. با این حال، برای مقادیر TC، تأثیر شدت تمرین ۷۹-۷۵٪ معنی‌دارتر نشان داده شد و با توجه به تعداد کم مطالعات گنجانده شده برای معیارهای مربوطه در این مقاله، تحقیقات بیشتر در مورد تأثیر شدت ورزش انجام شد. در مقادیر TC مورد نیاز است (Findikoglu et al., 2023).

تعداد کم آزمودنی‌ها در هر گروه از محدودیت‌های تحقیق حاضر بود. مطالعات آتی باید جزئیات بیشتری از نمونه (به عنوان مثال، تاریخچه پزشکی و/یا درمان‌ها، مشخصات دموگرافیک دقیق) ارائه دهد تا روایی بیرونی یافته‌ها افزایش یابد. علاوه بر این، اگرچه عادات غذایی و فعالیت کنترل شد، اما ما در خصوص عادات شرکت‌کنندگان مداخله نکردیم و این می‌تواند نتایج را مشروط کند (به عنوان مثال، تغذیه ناکافی، مصرف ناکافی مواد مغذی).

نتیجه گیری:

نتایج این مطالعه نشان داد تمرین MC توأم با PEMF بر متابولیسم گلوکز- لیپید در بیمارانیابی نوع ۲ و مبتلا به پوکی استخوان تأثیر مثبت دارد. از نظر متابولیسم گلوکز، برای شاخصهای قند خون ناشتا و HbA1c، تمرین MC برای کاهش سطح آن‌ها سودمندتر از PEMF به تنهایی بود. از نظر متابولیسم لیپید، مداخله MC در کاهش TG، TC و LDL و افزایش HDL مطلوب‌تر از PEMF بود و در بقیه شاخص‌ها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. علاوه بر این، نتایج این مطالعه نشان داد یک برنامه تمرینی با مدت متوسط تا طولانی (بیش از ۸ هفته) و شدت متوسط بر اکثر شاخص‌های گلیکولیپیدی تأثیر بیشتری دارد. مدت ورزش بیش از ۳۰ دقیقه در کاهش شاخص‌های چربی موثرتر بود، در حالی که ورزش مداوم برای بیش از ۳۰ دقیقه تأثیر قابل توجهی بر کاهش سطح گلوکز خون داشت. اکثر شاخص‌ها تأثیر معنی‌داری از ورزش را در افراد بالای ۶۰ سال نشان دادند. علاوه بر این، فعالیت ورزشی منظم چند جزئی با شدت متوسط نیز تأثیر جامع قابل توجهی بر توان هوازی و شاخص‌های ترکیب بدنی مانند WHR و BMI نشان داد.

تشکر و قدردانی

نتایج ارایه شده در این مطالعه حاصل رساله دکتری تخصصی دانشگاه آزاد خوراسگان است، بدینوسیله نویسندگان مراتب قدردانی خود را از مسؤولین پژوهشی دانشگاه اعلام می‌نمایند. همچنین از همکاری شایان توجه پرسنل آزمایشگاه‌ها، پرسنل فیزیوتراپی کلینیک حکیم شفا اصفهان و بیمارانی که باحضور داوطلبانه خود امکان انجام مطالعه را فراهم آوردند، قدردانی می‌شود.

تضاد منافع

این پژوهش هیچ‌گونه تضاد و تعارض منافی ندارد.

منابع

- Amaro-Gahete FJ, De-la-O A, Jurado-Fasoli L, Martinez-Tellez B, Ruiz J, Castillo MJ. Exercise training as a treatment for cardiometabolic risk in sedentary adults: are physical activity guidelines the best way to improve cardiometabolic health? The FIT-AGEING randomized controlled trial. *Journal of Clinical Medicine*. 2019 Dec 1;8(12):2097.
- Androjna C, Fort B, Zborowski M, Midura RJ. Pulsed electromagnetic field treatment enhances healing callus biomechanical properties in an animal model of osteoporotic fracture. *Bioelectromagnetics*. 2014 Sep;35(6):396-405.
- Azarbayjani MA, Abedi B, Peeri M, Rasaei MJ, Stannard SR. Effects of combined aerobic and resistant training on lipid profile and glycemic control in sedentary men. *Int Med J*. 2014 Apr;21(2):132-6.
- Baleanu F, Bergmann P, Hambye AS, Dekelver C, Iconaru L, Cappelle SI, Moreau M, Paesmans M, Karmali R, Body JJ. Assessment of bone quality with trabecular bone score in type 2 diabetes mellitus: a study from the FRISBEE cohort. *International journal of clinical practice*. 2019 May;73(5): e13347.
- Battista F, Ermolao A, van Baak MA, Beaulieu K, Blundell JE, Busetto L, Carraça EV, Encantado J, Dicker D, Farpour-Lambert N, Pramono A. Effect of exercise on cardiometabolic health of adults with overweight or obesity: Focus on blood pressure, insulin resistance, and intrahepatic fat—A

- systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews*. 2021 Jul;22: e13269.
- Bird SR, Hawley JA. Update on the effects of physical activity on insulin sensitivity in humans. *BMJ open sport & exercise medicine*. 2017 Mar 1;2(1): e000143.
- Brunelli DT, Chacon-Mikahil MP, Gaspari AF, Lopes WA, Bonganha V, Bonfante IL, Bellotto ML, Libardi CA, Cavaglieri CR. Combined training reduces subclinical inflammation in obese middle-age men. *Med Sci Sports Exerc*. 2015 Oct 1;47(10):2207-15.
- Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, Borodulin K, Buman MP, Cardon G, Carty C, Chaput JP, Chastin S, Chou R, Dempsey PC. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *British journal of sports medicine*. 2020 Dec 1;54(24):1451-62.
- Camacho PM, Petak SM, Binkley N, Diab DL, Eldeiry LS, Farooki A, Harris ST, Hurley DL, Kelly J, Lewiecki EM, Pessah-Pollack R. American Association of Clinical Endocrinologists/American College of Endocrinology clinical practice guidelines for the diagnosis and treatment of postmenopausal osteoporosis—2020 update. *Endocrine Practice*. 2020 May 1; 26:1-46.
- Carpenter D, Ayrapntyan S. *Biological Effects of Electric and Magnetic Fields*. Vol.15. 2004; San Diego, CA: Academic Press, 3–7.
- Daly RM, Dalla Via J, Fyfe JJ, Nikander R, Kukuljan S. Effects of exercise frequency and training volume on bone changes following a multi-component exercise intervention in middle aged and older men: secondary analysis of an 18-month randomized controlled trial. *Bone*. 2021 Jul 1; 148:115944.
- Davies, K. A. B. *et al*. Short-term decreased physical activity with increased sedentary behaviour causes metabolic derangements and altered body composition: Effects in individuals with and without a first-degree relative with type 2 diabetes. *Diabetologia* 61, 1282–1294 (2018).
- Ebid A, El-Shamy S, Thabet A, El-boshy M, Abedalla M, Ali T. Effect of pulsed electromagnetic field versus pulsed high intensity laser in the treatment of men with osteopenia or osteoporosis: a randomized controlled trial. *F1000Research*. 2022 Jan 24; 11:86.
- Eid MM, El-Gendy AM, Abdelbasset WK, Elkholi SM, Abdel-Fattah MS. The effect of magnetic therapy and moderate aerobic exercise on osteoporotic patients: A randomized clinical
- Feng J, Zhang Q, Chen B, Chen J, Wang W, Hu Y, Yu J, Huang H. Effects of high-intensity intermittent exercise on glucose and lipid metabolism in type 2 diabetes patients: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Endocrinology*. 2024 Jun 24; 15:1360998.
- Findikoglu G, Altinkapak A, Yaylali GF. Is isoenergetic high-intensity interval exercise superior to moderate-intensity continuous exercise for cardiometabolic risk factors in individuals with type 2 diabetes mellitus? A single-blinded randomized controlled study. *European Journal of Sport Science*. 2023 Oct 3;23(10):2086-97.

- Fitzsimmons RJ, Baylink DJ. Growth factors and electromagnetic fields in bone. *Clinics in plastic surgery*. 1994 Jul 1;21(3):401-6.
- Forsyth F, Soh CL, Elks N, Lin H, Bailey K, Rowbotham S, Mant J, Hartley P, Deaton C. Exercise modalities in multi-component interventions for older adults with multi-morbidity: a systematic review and narrative synthesis. *The Journal of Frailty & Aging*. 2024 Mar 26:1-8.
- García-Hermoso A, Ramírez-Vélez R, Ramírez-Campillo R, Peterson MD, Martínez-Vizcaíno V. Concurrent aerobic plus resistance exercise versus aerobic exercise alone to improve health outcomes in paediatric obesity: a systematic review and meta-analysis. *British journal of sports medicine*. 2018 Feb 1;52(3):161-6.
- Giordano N, Battisti E, Geraci S: Effect of electromagnetic fields on bone mineral density and biochemical markers of bone turnover in osteoporosis: a single-blind, randomized pilot study. *Curr Ther Res*. 2001; 62(3): 187–193.
- Ha CH, Swearingin B, Jeon YK, Lee M. Effects of combined exercise on HOMA-IR, HOMA β -cell and atherogenic index in Korean obese female. *Sport Sciences for Health*. 2015 Apr; 11:49-55.
- Jansen JH, van der Jagt OP, Punt BJ, Verhaar JA, van Leeuwen JP, Weinans H, Jahr H. Stimulation of osteogenic differentiation in human osteoprogenitor cells by pulsed electromagnetic fields: an in vitro study. *BMC musculoskeletal disorders*. 2010 Dec; 11:1-1.
- Mirkovic VB, Banjac L, Dasic Z, Dapcevic M. Non-pharmacological treatment of diabetic polyneuropathy by pulse electromagnetic field. *Healthmed*. 2012 Jan 1; 6:1291-5.
- Mohammad Rahimi GR, Bijeh N, Rashidlamir A. Effects of exercise training on serum preptin, undercarboxylated osteocalcin and high molecular weight adiponectin in adults with metabolic syndrome. *Experimental physiology*. 2020 Mar;105(3):449-59.
- Monteiro AM, Alves E, Forte P. The effect of a multicomponent training program in elderly's body composition. In *Congresso Internacional CIDESD 2019* (Vol. 15, No. S1, pp. 28-28). Desafio Singular.
- Paccou J, Ward KA, Jameson KA, Dennison EM, Cooper C, Edwards MH. Bone microarchitecture in men and women with diabetes: the importance of cortical porosity. *Calcified tissue international*. 2016 May; 98:465-73.
- Park W, Jung WS, Hong K, Kim YY, Kim SW, Park HY. Effects of moderate combined resistance-and aerobic-exercise for 12 weeks on body composition, cardiometabolic risk factors, blood pressure, arterial stiffness, and physical functions, among obese older men: a pilot study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020 Oct;17(19):7233.
- Pereira-Monteiro MR, Aragão-Santos JC, Vasconcelos AB, de Resende-Neto AG, de Almeida AF, Gobbo LA, Hermosilla-Perona F, Heredia-Elvar JR, Del Vecchio FB, Aidar FJ, Da Silva-Grigoletto ME. Functional and Combined Training Promote Body Recomposition and Lower Limb Strength in

- Postmenopausal Women: A Randomized Clinical Trial and a Time Course Analysis. InHealthcare 2024 May 1 (Vol. 12, No. 9, p. 932). MDPI.
- Roberson KB, Potiaumpai M, Widdowson K, Jaghab AM, Chowdhari S, Armitage C, Seeley A, Jacobs KA, Signorile JF. Effects of high-velocity circuit resistance and treadmill training on cardiometabolic risk, blood markers, and quality of life in older adults. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2018;43(8):822-32.
- Rodrigues F, Teixeira JE, Monteiro AM, Forte P. The Effects of 6-Month Multi-Component Exercise Intervention on Body Composition in Aged Women: A Single-Arm Experimental with Follow-Up Study. *Applied Sciences*. 2023 May 17;13(10):6163.
- Sallis R. Exercise is medicine: a call to action for physicians to assess and prescribe exercise. *The Physician and sportsmedicine*. 2015 Jan 2;43(1):22-6.
- Sanderson NS. Complement and myasthenia gravis. *Molecular Immunology*. 2022 Nov 1; 151:11-8.
- Sanz-Cánovas J, López-Sampalo A, Cobos-Palacios L, Ricci M, Hernández-Negrín H, Mancebo-Sevilla JJ, Álvarez-Recio E, López-Carmona MD, Pérez-Belmonte LM, Gómez-Huelgas R, Bernal-López MR. Management of type 2 diabetes mellitus in elderly patients with frailty and/or sarcopenia. *International journal of environmental research and public health*. 2022 Jul 16;19(14):8677.
- Shariat A, Kargarfard M, Danaee M, Tamrin SB. Intensive resistance exercise and circadian salivary testosterone concentrations among young male recreational lifters. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2015 Jan 1;29(1):151-8.
- Shao X, Yang Y, Tan Z, Ding Y, Luo E, Jing D, Cai J. Amelioration of bone fragility by pulsed electromagnetic fields in type 2 diabetic KK-Ay mice involving Wnt/ β -catenin signaling. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 2021 May 1;320(5): E951-66.
- Silva FM, Duarte-Mendes P, Teixeira AM, Soares CM, Ferreira JP. The effects of combined exercise training on glucose metabolism and inflammatory markers in sedentary adults: a systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*. 2024 Jan 22;14(1):1936.
- Souto Braz, R.R., Campos, S.L., Villela, D.W., Antonino, G.B., Araújo Batista, P.K., Guerino, M.R., Rodrigues, F.T.M., Pereira Alves, K.F., Duarte, J.V.T., de Andrade Silva, D. and Lima, D.F., 2022. Effectiveness of whole-body vibration combined with multicomponent training on the risk of falls and quality of life in elderly women with osteoporosis: Study protocol for a randomized controlled clinical trial. *Biology*, 11(2), p.266.
- Spadaro JA, Short WH, Sheehe PR, et al.: Electromagnetic effects on forearm disuse osteopenia: a randomized, double-blind, shamcontrolled study. *Bioelectromagnetics*. 2011; May; 32(4): 273–82.
- Streb AR, dos Santos Leonel L, Delevatti RS, Cavaglieri CR, Del Duca GF. Effects of non-periodized and linear periodized combined exercise training on

- insulin resistance indicators in adults with obesity: A randomized controlled trial. *Sports Medicine-Open*. 2021 Dec; 7:1-1.
- Sun Z, Liu H, Yan M, Zeng H, Hu Y, Tian X, Mao D. The effect of multi-component exercise on cognition function in patients with diabetes: A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*. 2024 Jun 20;19(6): e0304795.
- Tamulevicius N, Wadhi T, Oviedo GR, Anand AS, Tien JJ, Houston F, Vlahov E. Effects of acute low-frequency pulsed electromagnetic field therapy on aerobic performance during a preseason training camp: a pilot study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021 Jul 20;18(14):7691.
- Thaane T, Motala AA, McKune AJ. Effects of short-term exercise in overweight/obese adults with insulin resistance or type 2 diabetes: a systematic review of randomized controlled trials. *J Diabetes Metab*. 2018 Dec 20;9(12):816.
- Timmons JF, Minnock D, Hone M, Cogan KE, Murphy JC, Egan B. Comparison of time-matched aerobic, resistance, or concurrent exercise training in older adults. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2018 Nov;28(11):2272-83.
- Vestergaard P. Discrepancies in bone mineral density and fracture risk in patients with type 1 and type 2 diabetes-a meta-analysis. *Osteoporosis international*. 2007 Apr; 18:427-44.
- Viggers R, Al-Mashhadi Z, Fuglsang-Nielsen R, Gregersen S, Starup-Linde J. The Impact of Exercise on Bone Health in Type 2 Diabetes Mellitus-a Systematic Review. *Current Osteoporosis Reports*. 2020 Aug; 18:357-70.
- Vincenzi F, Targa M, Corciulo C, Gessi S, Merighi S, Setti S, Cadossi R, Goldring MB, Borea PA, Varani K. Pulsed electromagnetic fields increased the anti-inflammatory effect of A2A and A3 adenosine receptors in human T/C-28a2 chondrocytes and hFOB 1.19 osteoblasts. *PloS one*. 2013 May 31;8(5): e65561.
- Wang T, Yang L, Jiang J, Liu Y, Fan Z, Zhong C, He C. Pulsed electromagnetic fields: promising treatment for osteoporosis. *Osteoporosis International*. 2019 Feb 5; 30:267-76.
- Westerterp KR. Exercise, energy balance and body composition. *European journal of clinical nutrition*. 2018 Sep;72(9):1246-50.
- Wong RM, Choy VM, Li J, Li TK, Chim YN, Li MC, Cheng JC, Leung KS, Chow SK, Cheung WH. Fibrinolysis as a target to enhance osteoporotic fracture healing by vibration therapy in a metaphyseal fracture model. *Bone & joint research*. 2021 Jan 1;10(1):41-50.
- Wu S, Yu Q, Lai A, Tian J. Pulsed electromagnetic field induces Ca²⁺-dependent osteoblastogenesis in C3H10T1/2 mesenchymal cells through the Wnt-Ca²⁺/Wnt-β-catenin signaling pathway. *Biochemical and biophysical research communications*. 2018 Sep 5;503(2):715-21.

- Yanai H, Adachi H, Masui Y, Katsuyama H, Kawaguchi A, Hakoshima M, Waragai Y, Harigae T, Hamasaki H and Sako A. Exercise therapy for patients with type 2 diabetes: a narrative review. *J Clin Med Res* 2018; 10: 365-369.
- Yaribeygi, H., Maleki, M., Sathyapalan, T., Jamialahmadi, T. & Sahebkar, A. Pathophysiology of physical inactivity-dependent insulin resistance: A theoretical mechanistic review emphasizing clinical evidence. *J. Diabetes Res.* 2021, 1–12 (2021).

The Effect of Different Exercise Rehabilitation Modalities on Body Composition, Bone Mineral Density, Metabolic Indices, and Lipid Profile of Patients with Type 2 Diabetes and Osteoporosis

Mohsen Taimouri¹, Khosro Jalali Dehkordi^{1*}, Mehdi Kargarfard², Farzaneh Taghian¹

¹ Department of Sport Physiology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

² Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

***Corresponding author:** khosrojalali@khuisf.ac.ir

Abstract

Objectives: This study was designed to investigate the effects of different methods of exercise rehabilitation, multicomponent exercise (MCEx) and whole-body pulsed electromagnetic field (PEMF), on body composition, bone mineral density, metabolic factors and lipid profile in order to provide more clinical data for the improvement and treatment of diabetic patients with osteoporosis.

Methods: In this study, 56 male and female type 2 diabetic patients with osteoporosis were randomly assigned to one of three groups: multicomponent exercise+whole body pulsed electromagnetic field therapy (PEMF+MCEx), multicomponent exercise+whole body pulsed electromagnetic field pseudo-therapy (PPEMF+MCEx), and whole body pulsed electromagnetic field therapy alone (PEMF). The variables of bone mineral density, peak oxygen consumption, and serum levels of total cholesterol, triglycerides, low and high-density lipoprotein, fasting blood sugar, insulin, insulin resistance, and glycated hemoglobin were measured before and after the study period. Data were analyzed using paired t-test and analysis of covariance at a level of less than 0.05

Results: After 12 weeks of intervention, a significant decrease in weight, body mass index, fat percentage, serum triglyceride levels, low-density lipoprotein, blood sugar, insulin, insulin resistance and glycosylated hemoglobin and a significant increase in bone mineral density, high-density lipoprotein and peak oxygen consumption in the PEMF+MCEx and PEMF+MCEx exercise rehabilitation groups compared to the PEMF alone group.

Conclusion: The findings showed that the PEMF rehabilitation method in combination with a multicomponent exercise protocol is an effective and safe method for improving body composition, bone mineral density, cardiometabolic factors in the type 2 diabetic population with osteoporosis. Therefore, it is recommended that sports rehabilitation clinics use exercise rehabilitation treatment methods to improve type 2 diabetic patients with osteoporosis. Further studies with long-term follow-up should be considered to confirm these findings.

Key words: Bone Mineral Density, Full-Body Pulsed Electromagnetic Field, Multicomponent Exercise, Type 2 Diabetes, Osteoporosis.