DOI: 10.48305/jims.v43.i846.1913

مجله دانشکده پزشکی اصفهان | سال چهل و سوم/شماره‌ی ۸۴۶/هفته‌ی دوم اسفند ۱۴۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۴ | تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۵ | تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۱۲/۱۴

اثر تمرینات میان تنه و تحریک الکتریکی چند جهته عضلانی (EMDS) بر بهبود شاخص‌های متابولیک–التهابی در مراحل پیش‌بالینی: یک مداخله غیردارویی

شکوفه سموعی[۱]، خسرو جلالی دهکردی[۲]، فرزانه تقیان[۳]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: با ورود به میانسالی و افزایش شیوع مقاومت به انسولین و التهاب مزمن در مردان کم‌تحرک، ضرورت استفاده از مداخلات غیردارویی و نوین برای مراحل پیش بالینی می تواند از طریق بهبود شاخص هایی مانند مقاومت به انسولین، CRP (C-Reactive Protein) یا CTI (Cardiometabolic Triage Index) روند پیشرفت به سمت بیماری‌های مزمن را کند یا معکوس کنند. هدف این مطالعه، تعیین اثرات تمرینات عضلات مرکزی، تحریک الکتریکی چند جهته (Electromagnetic Muscle Directional Stimulation) EMDS و ترکیب آن‌ها بر شاخص‌های Triglyceride- Glucose Index (TyG) وCTI به عنوان یک نشانگر زیستی برای کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی– عروقی، دیابت نوع دو در مردان میانسال پشت میزنشین بود.

روش‌ها: این پژوهش نیمه‌تجربی، به‌صورت پیش‌آزمون– پس‌آزمون با چهار گروه شامل کنترل، تمرین، تحریک الکتریکی چند جهته (EMDS)، و گروه ترکیبی بر روی ۴۸ مرد میانسال پشت‌میزنشین و کم تحرک انجام شد. مداخلات شامل ۸ هفته برنامه تمرینی اختصاصی عضلات مرکزی به صورت ساختاریافته و پیشرونده و بر اساس سطح آمادگی، آستانه تحمل درد و بار درک‌شده Visual Analogue Scale (VAS) هر شرکت‌کننده، به‌صورت فردی تنظیم و تعدیل می‌شد، گروه تحریک ۷ جلسه تحریک با دستگاه TruSculpt Flex و گروه ترکیبی شامل هر دو مداخله بود. نمونه‌های خون وریدی ناشتا قبل و بعد از مداخله گرفته شد. شاخص‌های FBS، انسولین، HOMA-IR، TG، CRP و شاخص‌های ترکیبی TyG و CTI اندازه‌گیری شدند. داده‌ها با آزمون‌های t زوجی، ANOVA و آزمون تعقیبی Bonferroni با سطح معنی داری P < ۰/۰۵ تحلیل شدند.

یافته‌ها: آماره های توصیفی گروه نمونه عبارت بود از میانگین سن: ۴۴/۹۴ ± ۶/۲۸ سال، میانگین نمایه توده‌ی بدنی: ۲۵/۶۰ ± ۱/۷۱ کیلوگرم بر متر مربع و میانگین درصد چربی بدن: ۲۶/۱۶ ± ۲/۲۹ درصد. طبق یافته‌های تحلیلی، کاهش معنادار در FBS، انسولین، HOMA-IR و TG در گروه‌های مداخله مشاهده شد (P < ۰/۰۰۱). شاخص TyG در سه گروه مداخله کاهش یافت و تفاوت بین‌گروهی معنی‌داری نشان داد (P = ۰/۰۲). کاهش معنادار CTI در گروه ترکیبی و تمرین مشاهده شد. شاخص CRP در گروه تحریک کاهش غیر معنی‌داری داشت (P = ۰/۱۸).

نتیجه‌گیری: مداخله‌ی ترکیبی تمرینات عضلات مرکزی و تحریک الکتریکی (EMDS)، می‌تواند به‌طور مؤثر مقاومت به انسولین و بار التهابی را کاهش داده و شاخص‌های متابولیکی را در مردان کم‌تحرک بهبود بخشد. همچنین شاخص CTI در این مطالعه نسبت به مداخلات تمرینی و ترکیبی تغییرپذیر بود و می تواند در پژوهش‌های آینده به عنوان ابزار پایش سلامت‌محور مورد توجه قرار گیرد.

واژگان کلیدی: تمرینات عضلات مرکزی؛ تحریک الکتریکی عصبی– عضلانی؛ مقاومت انسولین؛ التهاب

ارجاع: سموعی شکوفه، جلالی دهکردی خسرو، تقیان فرزانه. **اثر تمرینات میان تنه و تحریک الکتریکی چند جهته عضلانی (EMDS) بر بهبود شاخص‌های متابولیک–التهابی در مراحل پیش‌بالینی: یک مداخله غیردارویی.** مجله دانشکده پزشکی اصفهان ۱۴۰۴؛ ۴۳ (۸۴۶): ۱۹۱۳– ۱۹۲۲.

مقدمه

دیابت نوع ۲، به‌عنوان یکی از شـــایع‌ترین و پرهزینه‌ترین اختلالات متابولیکی، در بســـیاری از موارد با ســـبک زندگی کم‌تحرک، افزایش التهاب سیستمیک و مقاومت به انسـولین ارتباط مستقیم دارد (۱). این وضعیت در جمعیت‌های میانسال کم‌تحرک‌که به‌واسطه شرایط شغلی، سـبک زندگی یا عوامل فرهنگی از فعالیت بدنی منظم فاصـله گرفته‌اند بســیار شــایع‌تر و نگران‌کننده هســتند. شــواهد نشــان می‌دهند که کم‌تحرکی ارتباط معناداری با افزایش مقاومت به انســولین، اختلال در

۱- دانشجوی دکتری، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده‌ی علوم ورزشی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

۲ –گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده‌ی علوم ورزشی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

۳ -گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده‌ی علوم ورزشی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

نویسنده‌ی مسؤول: خسرو جلالی دهکردی: گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده‌ی علوم ورزشی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

Email: khosrojalali@gmail.com

کنترل قند و افزایش شـــاخص‌های التهابی مانند IL-6 و CRP دارد شایع و نگران کننده است (۲، ۳). از این‌رو، شناسایی زودهنگام افراد در معرض خطر، به‌ویژه از طریق شـــاخص‌های پیش‌بینی‌کننده قابل اندازه‌گیری، و اجرای به‌موقع مداخلات غیر دارویی، به‌عنوان یکی از اولویت‌های اصلی سلامت عمومی مطرح است.

در بروز و پیشرفت اختلالات متابولیکی، دو مؤلفه‌ی کلیدی یعنی مقـاومـت بـه انســـولین و التهـاب مزمن خفیف، نقش هم‌افزا و تعیین‌کننده‌ای دارند (٤). در حالی‌که هریک از این عوامل به‌صـــورت جداگانه مورد بررســـی و تحلیل قرار گرفته‌اند، ادبیات علمی اخیر بر اهمیت بررسـی ترکیبی این دو مسیر فیزیولوژیکی تأکید دارد (۵-۷). از جمله رویکردهای نوین در این زمینه، معرفی شاخص ترکیبی تریاژ قلبی- متابولیکی CTI (Cardiometabolic Triage Index) است که با هدف تجمیع اطلاعات مرتبط با التهاب سیستمیک (C-Reactive Protein) CRP و مقاومت به انسولین (شاخص TyG) طراحی شده است (۷). شاخص تری‌گلیسرید- گلوکز (Triglyceride- Glucose Index) TyG که بر اســـاس لگاریتم حاصـــل‌ضـــرب گلوکز و تری‌گلیســـرید ناشـــتا محاســـبه می‌شـــود، در برخی مطالعات به‌عنوان شاخصی ساده و در دسترس برای ارزیابی مقاومت به انسولین مطرح شـده اسـت. ضـرب این شـاخص در CRP، تصـویری جامع‌تر از بار التهـابی-متـابولیکی فرد ارائـه می‌دهـد و می‌توانـد در پیش‌بینی خطر دیابت و بیماری‌های قلبی- عروقی مؤثر واقع شود (۸، ۹).

در همین راســـتا، مطالعه‌ی ملی و آینده‌نگر Shan و همکاران در چین (۲۰۲۵)، با بررسی داده‌های پیگیری ۹ ساله از جمعیت بالای ٤۵ سـال، نشـان داد که شـاخص CTI توان پیش‌بینی قابل‌توجهی در بروز دیـابـت نوع ۲ دارد و حتی از اجزای منفرد خود (CRP یـا TyG) عملکرد قوی‌تری در این زمینه ارائه می‌دهد. این یـافته، زمینه‌ســـاز بهره‌گیری از CTI به‌عنوان یک شـاخص غربالگری پیش‌بالینی شـد و مسیرهای تازه‌ای برای طراحی مداخلات پیشـگیرانه مبتنی بر داده‌های واقعی گشود (٦).

با این حال، بخش عمده مطالعات موجود در زمینه CTI ماهیت مشاهده‌ای داشته‌اند و کمتر پژوهشی به بررسی پاسخ این شاخص به مداخلات مسـتقیم و کنترل‌شـده پرداخته اسـت. همچنین، تفاوت‌های اپیدمیولوژیک بین کشـــورهای با درآمد بالا و کشـــورهای با درآمد متوســـط و پـایین (Low- and Middle- Income Countries) (LMICs) نظیر ایران، ضرورت انجام پژوهش‌های زمینه‌محور را بیش از پیش برجسته می‌سازد. شواهد نشان می‌دهند که بار دیابت نوع دو به ویژه پیامدهای قلبی و متابولیکی آن در کشورهای در حال توسعه، به مراتب بیشـتر اسـت بررسـی مطالعه بار جهانی بیماری (Global Burden of Disease) در دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ نشـان داد میزان مرگ و میر و DALY (Disability- Adjusted Life Years) مرتبط با دیابت نوع دو در این کشـورها بیش از دو برابر کشـورهایی با درآمد بالا است و بالاترین نرخ رشد سالانه را تجربه کرده اند (۱۰، ۱۱). در چنین شـــرایطی، طراحی و اجرای مداخلات ســـاده، کم‌هزینه، غیر تهاجمی و متناسب با شرایط فرهنگی و شغلی افراد می‌تواند راهکاری مؤثر در جهت ارتقاء سلامت باشد

از جمله مداخلات مؤثر و قابل اجرا در این زمینه می‌توان به تمرینات عضلات مرکزی بدن (Core training) و تحریک الکتریکی چند جهته EMDS (Electrical MultiDirectional Stimulation) به عنوان یک فناوری نوین در تحریک عضـــلانی اســـت که با تولید الگوهای جریان الکتریکی در جهات متنوع و متوالی، فعال‌ســـازی مؤثرتری از الیاف عضـلانی سـطحی و عمقی فراهم می‌آورد (۱۲). این روش با هدف ارتقاء تطابق عصـــبی- عضـــلانی، کاهش ناراحتی و افزایش کارآیی تمرینی به ویژه در جمعیت کم تحرک یا دارای ضعف عضلانی اشاره دارد (۱۳). تمرینات ناحیه‌ی مرکزی با تقویت عضلات عمقی شکم و ستون فقرات، افزایش کنترل وضعیتی و بهبود عملکرد عضـلانی، می‌توانند زمینه‌ساز بهبود هموستاز گلوکز و کاهش التهاب باشـند (١٤). تحریک الکتریکی نیز با فعال‌ســـازی غیرارادی فیبرهای عضـلانی، حتی در غیاب مشـارکت فعال فرد، قادر اسـت مسـیرهای برداشت گلوکز و تنظیم متابولیسم عضله را تحریک کند (۱۵). ترکیب این دو مـداخله، بـه دلیل درگیر کردن هم‌زمان مســـیرهای ارادی و غیرارادی عضلانی، می‌تواند تأثیری هم‌افزا بر بهبود وضعیت متابولیکی داشته باشد (١٦).

با عنایت به موارد گفته شـــده و با توجه به این که اســـتفاده از شاخص‌های ترکیبی جهت ارزیابی وضعیت متابولیک و التهابی بیماران، مورد توجه گســـترده قرار گرفته اســـت و همچنان که شـــاخص‌های جداگانه‌ای مانند پروتئین واکنشـــی C (CRP) به‌عنوان نشـــانگر التهاب سیسـتمیک، و شـاخص مقاومت به انسـولین HOMA-IR یا شـاخص گلوکز- تری‌گلیســـرید (TyG) به‌عنوان نماینده عملکرد متابولیکی، هریک به‌تنهایی در پیش‌بینی خطرات متابولیک و قلبی- عروقی کاربرد داشته‌اند؛ با این حال، ترکیب این دو دسته از شاخص‌ها می‌تواند توانایی پیش‌بینی را افزایش دهد شاخص CTI نیز شاخص ترکیبی نوینی است که از حاصـل‌ضـرب سـطح CRP با یکی از شـاخص‌های مقاومت به انسـولین مانند HOMA-IR یا TyG محاسـبه می‌شـود. این شـاخص، نمایه‌ای سـاده، قابل دسـترس و دقیق برای ارزیابی هم‌زمان بار التهابی و اختلالات متابولیکی ارائه می‌دهد و می‌تواند در غربالگری، مداخلات غیر دارویی و پایش پاســـخ به درمان در جمعیت‌های در معرض خطر کاربرد داشته باشد؛ با این حال تا زمان نگارش این مقاله، مطالعه فارسی در زمینه اســـتفاده از CTI به‌عنوان شـــاخص ترکیبی التهاب- مقاومت

انسولینی منتشر نشده است. همچنین مطالعه‌ای بین‌المللی که اثر مداخلات ورزشی یا تحریکات غیرداروی عضلانی را بر CTI به‌طور مستقیم ارزیابی کرده باشد یافت نشد. از این رو، پژوهش حاضر در صدد شد تأثیر تمرین میان‌تنه و تحریک الکتریکی چندجهته (EMDS) را بر تغییرات CTI در مردان کم‌تحرک بررسی نماید. اگرچه این شاخص پیش‌تر در مطالعات مقطعی و آینده‌نگر به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده خطر متابولیکی مورد توجه قرار گرفته است، اما حساسیت آن نسبت به مداخلات غیرداروی همچون تمرینات میان‌تنه یا تحریک چندجهته الکتریکی نیاز به بررسی دارد.

روش‌ها

این پژوهش به‌صورت یک کارآزمایی بالینی از نوع نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون- پس‌آزمون و با سه گروه مداخله و یک گروه کنترل انجام شد. جامعه‌ی آماری شامل مردان کم‌تحرک ۳۵ تا ۵۵ ساله با مشاغل پشت‌میزنشین بود که فرم غربالگری استاندارد شامل اطلاعات دموگرافیک، سابقه پزشکی و داروهای مصرفی، سطح فعالیت بدنی و آمادگی شروع فعالیت جسمانی (Physical Activity Readiness Questionnaire) PAR-Q توسط شرکت‌کنندگان تکمیل شد و پس از بررسی اولیه توسط پزشک و پژوهشگر افراد دارای معیار ورود شامل شاخص توده‌ی بدنی بین ۲۲ تا ۲۷، درصد چربی تا ۲۹ درصد، نداشتن فعالیت ورزشی طی ٦ ماه گذشته، نداشتن بیماری قلبی عروقی و دیابت، نداشتن فشار خون بیشتر از ۹۵/۱٦۰ میلی‌متر جیوه، عدم مصرف داروهای ضد التهاب و ضدچربی انتخاب شدند سپس اهداف و مراحل پژوهش، نوع مداخلات (تحریک الکتریکی، تمرینات میان‌تنه، یا ترکیبی)، نحوه ارزیابی‌ها، بازه‌های زمانی و اصول اخلاقی شامل محرمانگی اطلاعات و حقوق داوطلبان تشریح گردید. پس از پاسخ به سؤالات، ٤٨ نفر داوطلب علاقه‌مند به روش نمونه‌گیری در دسترس، انتخاب و فرم رضایت‌نامه آگاهانه توسط ایشان امضا شد. شرکت‌کنندگان به‌صورت غیرتصادفی و با رعایت تعادل نسبی در ویژگی‌های دموگرافیک (سن، شاخص توده بدن و سطح فعالیت بدنی) در چهار گروه پژوهشی شامل: گروه کنترل، گروه تمرینات عضلات مرکزی (Core Training)، گروه تحریک الکتریکی چند جهته (EMDS) و گروه مداخله ترکیبی (تمرین + تحریک) تقسیم شدند. به‌دلیل حساسیت برخی شرکت‌کنندگان نسبت به نوع مداخله، به‌ویژه تحریک الکتریکی با فرکانس بالا، امکان تصادفی‌سازی کامل وجود نداشت. حجم نمونه با استفاده از نرم افزار G power نسخه‌ی ۳.۱.۹.٤ انجام شد. برای مطالعات تجربی با توان آماری ۸۰ درصد، سطح معناداری ۰/۰۵ و اندازه اثر متوسط (۰/۱۵)، تعداد نمونه مورد نیاز برای هر گروه حدود ۱۲ نفر برآورد می‌شود. همچنین، با توجه به محدودیت‌های اجرایی و با استناد به مطالعات مشابه پیشین در حوزه تمرینات میان‌تنه و تحریک الکتریکی عصبی-عضلانی، حجم نمونه در این پژوهش به‌صورت ۱۲ نفر در هر گروه تعیین شد. این تعداد برای مطالعات تجربی اولیه قابل قبول بوده و توان لازم برای بررسی تغییرات اولیه هورمونی و عملکردی را فراهم می‌سازد. مطالعه‌ی حاضر در کمیته‌ی اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) با کد (IR.IAU.KHUISF.REC.1403.470) و در پایگاه کارآزمایی بالینی ایران با شماره IRCT20250317065108N1 ثبت شده است.

برنامه‌ی تمرینی گروه تمرین بر اساس دستورالعمل‌های ACSM طراحی شد و از اصول FITT (تکرار، شدت، زمان، نوع) پیروی می‌کرد .شیوه اجرا شامل ۸ هفته، سه جلسه در هفته، هر جلسه ۵۰ دقیقه بود. تمرینات با تمرکز بر الگوی حرکت عملکردی و اصل بارگذاری پیشرونده سازمان‌دهی شدند (۱۷). هر جلسه شامل سه بخش گرم کردن، تمرینات اصلی و سرد کردن بود. در بخش تمرینات اصلی، ترکیبی از حرکات ایزومتریک (ثباتی) و حرکات پویا به‌کار گرفته شد. تمرینات ثباتی، با استفاده از مطالعه قبلی پایه‌ریزی شد (۱۸). شرکت‌کنندگان وضعیت‌هایی همچون پل باسن، پل جانبی و پلانک را به‌مدت ۸ تا ۳۵ ثانیه حفظ کرده و به‌تدریج با پیشرفت، زمان را افزایش دادند. در این مرحله، از آزمودنی‌ها خواسته می‌شد در حین انقباض ایزومتریک، عضلات شکم را با حفظ ریتم تنفسی منظم فعال نگه دارند. در ادامه، تمرینات قدرتی پویای میان‌تنه در ۱۵ تکرار و ۳ تا ٤ ست با هدف درگیری عضلات راست شکمی (RA)، مایل داخلی و خارجی شکمی (OI) و (OE) و ارکتور اسپاینا (ES) اجرا شد. برنامه تمرینی ساختاریافته و پیشرونده بود و بر اساس سطح آمادگی، آستانه تحمل درد و بار درک‌شده (Visual Analogue Scale) VAS هر شرکت‌کننده، به‌صورت فردی تنظیم و تعدیل می‌شد (۱۹).

گروه EMDS از تحریک عضلانی غیرارادی و غیرتهاجمی با فرکانس بالا (٤۰۰۰ تا ٤۱۵۰ هرتز) از طریق دستگاه TruSculpt Flex شرکت Cutera ایالت متحده بهره‌مند شدند. پروتکل درمانی بر اساس دستورالعمل شرکت سازنده و شواهد کلینیکی موجود، به‌صورت ٦ جلسه و سپس جلسه یادآور طراحی و اجرا شد که مطابق با دوره‌ی استاندارد این مداخله است (۲۰، ۲۱). اگرچه مدت زمان مداخله در این گروه نسبت به دوره تمرینات مرکزی کوتاه‌تر بود، هدف پژوهش ما مقایسه‌ی اثربخشی مداخلات رایج و استاندارد هر روش است، نه یکسان‌سازی طول دوره‌ها. گروه کنترل نیز مطابق اصول مطالعات مداخله‌ای هیچ درمانی دریافت نکرد و صرفا جهت بررسی تغییرات طبیعی به مطالعه اضافه شد. با این حال، این موضوع می‌تواند به‌عنوان یک محدودیت پژوهش در نظر گرفته شود و پیشنهاد

می‌شود در مطالعات آینده پروتکل‌ها با مدت زمان یکسان اجرا گردند تا امکان مقایسه دقیق‌تر فراهم شود. گروه ترکیبی در سه هفته نخست، تحت تحریک EMDS قرار گرفتند و در پنج هفته بعدی تمرینات عضلات مرکزی را انجام دادند. گروه کنترل طی این مدت هیچ مداخله‌ای دریافت نکرد.

نمونه‌گیری خون وریدی ناشتا، تحت شرایط استاندارد آزمایشگاهی در دو نوبت پیش و ۴۸ ساعت پس از مداخله در آزمایشگاه ملل واقع در شهرک سلامت اصفهان انجام شد. سطوح سرمی انسولین با استفاده از روش Chemiluminescent CLIA (Immunoassay و کیت‌های تجاری شرکت اپلایت (Abbott)، ساخت ایالات متحده آمریکا انجام شد. حساسیت سنجش ۰/۵ میکرو واحد در میلی‌لیتر بود (۲۲).

غلظت سرمی گلوکز و تری‌گلیسرید با استفاده از روش کالری‌متریک آنزیمی و کیت‌های تجاری شرکت آدیت دیاگنوستیک ساخت ایران اندازه‌گیری شد. دامنه اندازه‌گیری برای گلوکز ۲۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر و برای تری‌گلیسرید ۱۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر بود. حساسیت روش برای گلوکز حدود ۲ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر و برای تری‌گلیسرید حدود ۵ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر گزارش شد. میزان CRP سرمی با استفاده از روش توربیدیمتریک و کیت شرکت آدیت دیاگنوستیک ساخت ایران اندازه‌گیری شد. دامنه‌ی اندازه‌گیری این آزمون ۰/۱ تا ۱۰ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر و حساسیت آن حدود ۰/۱ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر بود (۲۳).

در این مطالعه، شاخص HOMA-IR برای هر آزمودنی بر اساس غلظت گلوکز و انسولین ناشتا در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون محاسبه شد. مقادیر گلوکز به واحد میلی‌گرم بر دسی‌لیتر (mg/dL) و انسولین به واحد مایکرو واحد در میلی‌لیتر (µU/mL) ثبت شدند (۲۴). محاسبه HOMA-IR با استفاده از فرمول زیر و در نرم‌افزار SPSS انجام گرفت:

فرمول شماره یک

$$HOMA\text{-}IR = (Fasting\ Glucose \times Fasting\ Insulin) / 405$$

شاخص TyG برای هر آزمودنی در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون محاسبه شد. داده‌های لازم شامل ضرب مقدار گلوکز ناشتا (mg/dL) در تری‌گلیسرید سرم (mg/dL) و تقسیم بردو و سپس محاسبه لگاریتم طبیعی بود که و در نرم‌افزار SPSS و با ورود مستقیم مقادیر انجام شد.

فرمول شماره دو

$$TyG = Ln\ [Triglyceride\ (mg/dL) \times Glucose\ (mg/dL) / 2]$$

شاخص CTI با ادغام اطلاعات مربوط به مقاومت به انسولین (از طریق TyG) و التهاب (از طریق CRP) ارزیابی جامع‌تری ارائه می‌دهد (۲۵). این امر، آن را به طور بالقوه برای شناسایی افراد در معرض خطر ابتلا به بیماری‌هایی که هم مقاومت به انسولین و هم التهاب در آنها نقش دارند، مانند نارسایی قلبی یا سایر بیماری‌های قلبی- عروقی، مفیدتر می‌کند. عدد ثابت ۰/۴۱۲ یک ضریب وزنی است که از تحقیقات به دست آمده است و CRP با واحد میلی گرم بر لیتر اندازه گیری می‌شود (۲۶).

فرمول شماره سه

$$CTI = 0.412 * \ln(CRP) + TyG$$

تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه‌ی ۲۷ (version 27, IBM Corporation, Armonk, NY) انجام گرفت. توزیع نرمال متغیرها با آزمون Shapiro-Wilk و همگنی واریانس‌ها با آزمون Leven بررسی شد. مقایسه درون‌گروهی متغیرها با آزمون t زوجی و مقایسه بین‌گروهی تغییرات با تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) انجام شد. در موارد مشاهده تفاوت معنادار، از آزمون تعقیبی Bonferroni استفاده شد. سطح معنی‌داری در تمامی آزمون‌ها $P < ۰/۰۵$ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

مقایسه‌ی ویژگی‌های آنتروپومتریک و جمعیت‌شناختی ۴۸ شرکت‌کننده در چهار گروه پژوهش، تفاوت معناداری را در متغیرهای پایه مانند سن، شاخص توده‌ی بدنی، درصد چربی نشان نداد (جدول ۱). نتایج حاصل از مداخلات تمرین، تحریک بیوالکتریکی و ترکیب آن‌ها نشان‌دهنده‌ی بهبود قابل‌توجهی در برخی شاخص‌های متابولیکی و التهابی بود، در حالی‌که این تغییرات در گروه کنترل معنادار نبودند.

طبق یافته‌های جدول ۱، میانگین و انحراف معیار متغیرهای آنتروپومتریک شامل سن، شاخص توده‌ی بدن، درصد چربی بدن و توده‌ی عضلانی برای گروه‌های کنترل، تمرین، تحریک و ترکیبی در

جدول ۱. ویژگی‌های آنتروپومتریک و جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان در چهار گروه مورد مطالعه

متغیر	کنترل	تمرینات میان تنه	تحریک الکتریکی	ترکیبی	F	P
سن (سال)	۴۵/۳۳ ± ۶/۲۹	۴۵/۷۵ ± ۶/۱۷	۴۴/۰۸ ± ۶/۵۱	۴۴/۶۰ ± ۶/۱۶	۰/۴۰	۰/۷۵
شاخص توده بدنی (kg)	۲۴/۸۰ ± ۱/۶۹	۲۵/۶۴ ± ۱/۸۱	۲۵/۸۰ ± ۱/۷۷	۲۶/۱۵ ± ۱/۵۵	۱/۳۵	۰/۲۷
درصد چربی	۲۵/۶۱ ± ۲/۵۴	۲۵/۵۰ ± ۲/۶۱	۲۶/۶۹ ± ۲/۰۰	۲۶/۸۳ ± ۱/۹۴	۱/۱۲	۰/۳۵
توده‌ی عضله(kg)	۳۰/۰۵ ± ۱/۹۰	۲۹/۷۸ ± ۰/۹۱	۳۱/۸۲ ± ۱/۳۷	۲۹/۶۲ ± ۱/۸۷	۵/۰۵	۰/۰۰۴

پیش‌آزمون ارائه شده‌اند. مقادیر P حاصل از آزمون ANOVA جهت بررسی هم‌سان بودن اولیه بین گروه‌ها گزارش شده است.

سطح تری‌گلیسرید (TG) پس از مداخله در هر سه گروه تمرین، تحریک و ترکیبی کاهش معناداری داشتولی تحلیل بین‌گروهی تفاوت معناداری را نشان نداد.دو گروه تمرین و ترکیب کاهش معناداری در CRP داشتند که نشان‌دهنده اثرات ضدالتهابی این مداخلات است. گروه تحریک کاهش غیرمعنادار، و گروه کنترل افزایش جزئی و غیرمعنادار را تجربه کردند. با این حال، در مقایسه بین گروه‌ها، تفاوت معناداری مشاهده نشد، که می‌تواند به اندازه نمونه، دامنه نوسانات فردی و محدودیت‌های آماری مربوط باشد. (جدول ۲).

در جدول ۲، مقادیر میانگین و انحراف معیار برای چهار شاخص متابولیکی شامل انسولین (µIU/mL)، مقاومت به انسولین (HOMA-IR)، تری‌گلیسرید (mg/dL) و CRP (mg/L) در چهار گروه (کنترل، تمرین میان‌تنه، تحریک الکتریکی، و ترکیبی) در دو زمان پیش‌آزمون و پس‌آزمون ارائه شده است. مقادیر P درون‌گروهی بر اساس آزمون t زوجی و مقادیر P بین‌گروهی بر اساس ANOVA محاسبه شده‌اند. سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

بر اساس آزمون تی زوجی، سطح گلوکز پلاسما ناشتا (FPG)، انسولین، HOMA-IR در هر سه گروه مداخله کاهش معناداری داشت (P < ۰/۰۰۱). تحلیل بین‌گروهی در پس‌آزمون نیز توسط آزمون ANOVA تفاوت معناداری را بین گروه‌ها در متغیرهای گلوکز و HOMA-IR نشان داد. نتایج آزمون تعقیبی Bonferroni برای مقایسه‌ی زوجی گروه‌ها، گروه تمرین و ترکیب را مؤثرتر از کنترل نشان داد (جدول ۳ و ٤).

طبق یافته‌های جدول ۳، میزان FPG تنها بین دو گروه کنترل و تمرین و همچنین کنترل و ترکیب معنادار بود.

طبق یافته های جدول ٤، میزان HOMA-IR تنها بین دو گروه کنترل و تمرین و همچنین کنترل و ترکیب معنادار بود.

بررسی شاخص TyG، به‌عنوان نشانگری از مقاومت به انسولین، کاهش معناداری را در گروه‌های تمرین، تحریک و ترکیب نشان داد، در حالی‌که در گروه کنترل تغییر معناداری نداشت. تحلیل بین‌گروهی نشان داد که تفاوت بین گروه‌ها در پس‌آزمون معنادار بود و گروه ترکیبی بیشترین کاهش را تجربه کرد (جدول ۵). بر اساس آزمون Bonferroni تفاوت بین کنترل و تمرین در مرز معناداری و تفاوت بین کنترل و تحریک معنادار نبود. تنها تفاوت معنی دار بین گروه کنترل و گروه ترکیب مشاهده شد که بیانگر اثربخشی بالاتر مداخله ترکیبی در کاهش TyG است (جدول ٦).

در جدول ۵، مقادیر میانگین و انحراف معیار برای شاخص های متابولیکی ترکیبی شاخص Tyg و CTI در دو زمان پیش‌آزمون و پس‌آزمون ارائه شده است. مقادیر P درون‌گروهی بر اساس آزمون t زوجی و مقادیر P بین‌گروهی براساس ANOVA محاسبه شده‌اند. سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

شاخص CTI که بار ترکیبی التهاب و مقاومت به انسولین را منعکس می‌کند، در گروه کنترل افزایش غیرمعناداری مشاهده شد در سایرگروه‌ها کاهش معناداری گزارش شد تنها گروه ترکیبی موفق شد از چارک چهارم شاخص (نشان‌دهنده‌ی بالاترین سطح ریسک

جدول ۲. مقایسه‌ی شاخص‌های متابولیکی و التهابی در درون‌گروهی و بین‌گروهی در پیش‌آزمون و پس‌آزمون بین گروه‌های مورد مطالعه

متغیر	زمان	کنترل	تمرینات میان تنه	تحریک الکتریکی	ترکیبی	F	P
FPG (mg/dL)	قبل از مداخله	۱۰۰/۰۰ ± ۶/۵۵	۱۰۱/۵۰ ± ۶/۳۰	۹۸/۴۲ ± ۶/۲۱	۱۰۰/۸۳ ± ۵/۰۸	۷/۹	<۰/۰۰۱
	بعد از مداخله	۱۰۰.۰۸±۶.۲۷	۹۲.۹۲±۴.۱۰	۹۴.۶۷±۴.۹۶	۹۱.۰۸±۳.۲۹		
	P (t زوجی)	۰.۸۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱		
انسولین (µIU/mL)	قبل از مداخله	۱۰.۸۶±۱.۹۷	۹.۷۲±۲.۴۰	۹.۴۵±۱.۶۸	۱۱.۳۱±۱.۵۹	۲/۸۳	۰.۰۵
	بعد از مداخله	۱۰.۹۴±۱.۸۸	۹.۱۹±۲.۳۵	۹.۰۸±۱.۶۱	۱۰.۴۳±۱.۶۳		
	P (t زوجی)	۰/۵۳	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱		
HOMA-IR	قبل از مداخله	۲.۶۷±۰.۴۵	۲.۴۲±۰.۵۲	۲.۲۹±۰.۴۲	۲.۸۲±۰.۴۴	۵/۴۱	۰/۰۰۱
	بعد از مداخله	۲.۶۹±۰.۴۲	۲.۱۰±۰.۴۷	۲.۱۲±۰.۳۷	۲.۳۵±۰.۳۸		
	P (t زوجی)	۰.۴۶	<۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱		
TG (mg/dL)	قبل از مداخله	۱۶۰.۶۶±۲۲.۲۷	۱۶۱.۶۲±۲۹.۷۳	۱۶۵/۷۱ ± ۲۶/۱۳	۱۷۹/۹۴ ± ۲۷/۸۱	۱/۵۱	۰/۲۲
	بعد از مداخله	۱۶۳.۳۰±۱۹.۵۲	۱۴۷.۰۹±۲۹.۵۴	۱۵۴/۸۶ ± ۲۶/۵۹	۱۴۳/۶۷ ± ۲۱/۶۱		
	P (t زوجی)	۰.۲۸	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱		
CRP (mg/l)	قبل از مداخله	۳/۰۶ ± ۰/۹۹	۳/۴۵ ± ۰/۹۶	۳.۰۲±۰.۹۱	۳/۴۹ ± ۰/۸۲	۰/۱۲	۰/۹۵
	بعد از مداخله	۳/۱۱ ± ۰/۹۵	۳/۰۲ ± ۰/۹۰	۲/۸۱ ± ۱/۱۰	۲/۹۶ ± ۰/۷۲		
	P (t زوجی)	۰/۲۰	<۰/۰۰۱	۰/۱۸	<۰/۰۰۱		

جدول ۳. آزمون تعقیبی بنفرونی برای بررسی معنی‌داری FPG بین گروه‌ها

مقایسه بین گروه ها	MD	P	تفسیر
کنترل VS تمرین	۷/۱۶	۰	تمرین مؤثرتر از کنترل
کنترل VS تحریک	۵/۴۲	۰/۰۵	تفاوت معنی‌دار نیست
کنترل VS ترکیب	۹	<۰/۰۰۱	ترکیب مؤثرتر از کنترل
تمرین VS تحریک	۱/۷۵-	۱	تفاوت معنی‌دار نیست
تمرین VS ترکیب	۱/۸۳	۱	تفاوت معنی‌دار نیست
تحریک VS ترکیب	۳/۵۸	۰/۴۴	تفاوت معنی‌دار نیست

جدول٤. آزمون تعقیبی بنفرونی برای بررسی HOMA-IR معنی داری بین گروه ها

مقایسه بین گروه ها	MD	P	تفسیر
کنترل VS تمرین	۰/۵۹	۰/۰۱	تمرین مؤثرتر از کنترل
کنترل VS تحریک	۰/۵۷	۰/۲۸	تفاوت معنی‌دار نیست
کنترل VS ترکیب	۰/۳۴	۰/۰۱	ترکیب مؤثر تر از کنترل
تمرین VS تحریک	۰/۰۲-	۱	تفاوت معنی‌دار نیست
تمرین VS ترکیب	۰/۲۵-	۰/۸۷	تفاوت معنی‌دار نیست
تحریک VS ترکیب	۰/۲۳-	۱	تفاوت معنی‌دار نیست

جدول ۵. مقایسه شاخص‌های ترکیبی بین گروهی و درون گروهی در پیش‌آزمون و پس‌آزمون بین گروه‌های مورد مطالعه

متغیر	زمان	کنترل	تمرینات میان تنه	تحریک الکتریکی	ترکیبی	F آماره	P سطح معنی داری
TYG	قبل از مداخله	۸/۹۸ ± ۰/۱۹	۸/۹۹ ± ۰/۱۹	۸/۹۸ ± ۰/۱۸	۹/۱۰ ± ۰/۱۶		
	بعد از مداخله	۹/۰۰ ± ۰/۱۷	۸/۸۱ ± ۰/۲۱	۸/۸۸ ± ۰/۱۹	۸/۷۷ ± ۰/۱۴	۳/۶۴	۰/۰۲
	P (t زوجی)	۰/۲۶	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱		
CTI	قبل از مداخله	۹/۴۲ ± ۰/۲۶	۹/۴۸ ± ۰/۲۸	۹/۴۳ ± ۰/۲۰	۹/۶۱ ± ۰/۱۶		
	بعد از مداخله	۹/۴۵ ± ۰/۲۵	۹/۲۴ ± ۰/۳۱	۹/۲۷ ± ۰/۲۵	۹/۲۱ ± ۰/۱۷	۲/۳۱	۰/۰۹
	P (t زوجی)	۰/۱۵	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱		

متابولیک-التهابی) به چارک سوم منتقل شود که نشان‌دهنده‌ی کاهش ریسک بالینی است (جدول٦). در مقایسه بین گروه‌ها، تفاوت معناداری مشاهده نشد.

جدول ٦. آزمون تعقیبی بنفرونی برای بررسی معنی داری TyG بین گروه‌های مورد مطالعه

مقایسه بین گروه ها	MD	P	تفسیر
کنترل VS تمرین	۰/۱۹	۰/۰۷	تفاوت معنی‌دار نیست
کنترل VS تحریک	۰/۱۱	۰/۷۴	تفاوت معنی‌دار نیست
کنترل VS ترکیب	۰/۲۲	۰/۰۲	ترکیب مؤثرتر از کنترل
تمرین VS تحریک	-۰/۰۷	۱/۰۰	تفاوت معنی‌دار نیست
تمرین VS ترکیب	۰/۰۳	۱/۰۰	تفاوت معنی‌دار نیست
تحریک VS ترکیب	۰/۱۱	۰/۸۹	تفاوت معنی‌دار نیست

بر اساس آزمون Bonferroni: تفاوت بین کنترل و تمرین (P = ۰/۰۷) در مرز معناداری بود، اما از نظر آماری معنادار تلقی نمی‌شود. تفاوت بین کنترل و تحریک (P = ۰/۷٤) نیز معنادار نبود. تنها تفاوت معنادار بین کنترل و گروه ترکیب مشاهده شد (MD = ۰/۲۲، P = ۰/۰۲) که بیانگر اثربخشی بالاتر مداخله ترکیبی در کاهش TyG است.

بحث

یافته‌های این پژوهش نشان داد که مداخلات غیر دارویی شامل تمرینات عضلات مرکزی، تحریک الکتریکی، و به‌ویژه ترکیب این دو روش، تأثیر معناداری بر بهبود شاخص‌های متابولیکی و التهابی در مردان کم‌تحرک میانسال دارد. این نتایج با تاکید بر اهمیت مداخلات غیردارویی، بر نقش تمرین و تحریک در تنظیم عملکرد متابولیکی بدن نقش دارند.

کاهش سطح گلوکز ناشتا و شاخص HOMA-IR در گروه‌های مداخله بیانگر بهبود حساسیت انسولینی شرکت‌کنندگان بود. این بهبود می‌تواند ناشی از افزایش مصرف گلوکز در عضلات فعال‌شده، بهبود عملکرد گیرنده‌های انسولین و ارتقاء اکسیداسیون چربی در پاسخ به تمرین و تحریک باشد. این یافته با مطالعه‌ی Graham و همکاران که نشان دادند تمرینات عضلات مرکزی با بهبود ظرفیت هوازی موضعی و افزایش فعالیت میتوکندریایی در عضلات شکمی، می‌تواند اثرات مطلوبی بر هموستاز گلوکز داشته باشد (۲۶).

همچنین Chen و همکاران در مطالعه‌ی خود بر روی مردان سالم نشان دادند تحریک بیوالکتریکی نیز با فعال‌سازی غیرارادی فیبرهای عضلانی، به‌ویژه در افرادی که فعالیت بدنی کافی ندارند، می‌تولند پاسخ‌های متابولیکی مشابه با تمرین ایجاد کندکه با مطالعه‌ی حاضر همسو می‌باشد (۲۷). با وجود آنکه در گروه تحریک، بهبود در برخی شاخص‌ها دیده شد، اما ترکیب آن با تمرین سنتی باعث افزایش اثربخشی گردید. این اثر افزایشی در کاهش TyG و CTI نیز مشاهده شد که شاخص‌هایی ترکیبی برای ارزیابی مقاومت به انسولین و التهاب مزمن هستند.

شاخص CRP تنها در گروه‌های تمرین و ترکیب کاهش معناداری نشان داد. از آنجایی که پاسخ التهابی ممکن است به زمان و نوع تحریک وابسته باشد، احتمالاً بی‌تحرکی از هفته سوم تا هشتم و فاصله‌ی زمانی بین آخرین جلسه‌ی تحریک تا زمان خون‌گیری در گروه EDMS مانع از مشاهده کاهش معنی‌دار در CRP شده است. همچنین، تمرین بدنی با کاهش سطوح سایتوکاین‌های التهابی و افزایش آدیپونکتین می‌تواند به کاهش التهاب مزمن کمک کند (۲۸).

کاهش معنادار در شاخص TyG در گروه ترکیب، حاکی از بهبود همزمان در متابولیسم گلوکز و چربی است. TyG به‌عنوان شاخصی حساس و غیرتهاجمی برای پیش‌بینی مقاومت به انسولین شناخته می‌شود و پژوهش‌های اخیر بر ارتباط آن با خطر ابتلا به دیابت (۲۹)، کبد چرب (۳۰) و بیماری‌های قلبی (۳۱) تأکید دارند.

در نهایت، شاخص CTI نیز به‌عنوان ترکیب CRP و TyG، توانست تغییرات ناشی از مداخلات را به‌خوبی منعکس کند. این کاهش می‌تواند بیانگر آن باشد که ترکیب مداخلات تمرینی و تحریک الکتریکی ممکن است کارآمد، باشد.

مطالعات بین‌المللی نشان داده‌اند که ورزش هوازی می‌تواند تأثیر مثبت بر بیومارکرهای متابولیک و التهابی داشته باشد. برای مثال، Wang و همکاران در متاتحلیلی بر روی بیماران پیش‌دیابتی دریافتند که تمرین هوازی منجر به کاهش معنی‌دار در FBG، HbA1c و BMI می‌شود، که نشان‌دهنده‌ی بهبود مقاومت به انسولین و التهاب غیرمستقیم است (۳۲).

همچنین یک متاتحلیل اخیر نشان داد که ترکیبی از تمرینات مقاومتی و هوازی می‌تولند به‌طور قابل توجهی باعث کاهش HOMA-IR، CRP و TNF-α در بالغین کم‌تحرک بدون دیابت شود (۳۳). این نشان می‌دهد که مداخلات ترکیبی مشابه نیز تأثیر مؤثر روی مسیرهای التهابی-متابولیکی دارند و با نتایج مطالعه‌ی حاضر همسو می‌باشد.

با این حال، برخی مطالعات کارآزمایی بالینی تصادفی سازی شده فقط به کاهش CRP (و بدون تغییر TyG یا شاخص‌های التهابی دیگر) اشاره کردند؛ به‌ویژه در بیماران دیابتی با HbA1c بالا (۳٤) این ناهمسویی احتمالا به‌خاطر تفاوت در شدت تمرین، ویژگی نمونه (دیابتی یا غیردیابتی)، یا طول دوره مداخله است. برای مثال، Fernández-Rodríguez و همکاران در متاتحلیلی شامل ۱۳ مطالعه‌ی کارآزمایی بالینی تصادفی‌سازی شده روی بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲، نشان دادند که تمرین مقاومتی به‌طور معنی‌داری CRP را کاهش می‌دهد (میانگین تفاوت −۰.۵۹ mg/dL، ۹۵٪ CI: −۰.۸۸ تا −۰/۳۰)، در حالی‌که سایر بیومارکرها شامل TNF-α و IL-6 تغییر قابل توجهی نداشتند (۳٤). به عبارتی کاهش CRP پس از تمرین مقاومتی مشهود بود ولی نتایج در سایر بیومارکرها ناچیز بود.

تا جایی که بررسی‌ها نشان داد، این پژوهش از نخستین مطالعات مداخله‌ای است که به‌صورت مستقیم تأثیر تمرین ورزشی و تحریک الکتریکی عضلانی را بر شاخص ترکیبی (CTI مورد ارزیابی قرار داده است. کاهش مشاهده شده در CTI پس از مداخله در این مطالعه نشان داد که این شاخص می‌تواند به‌عنوان یک نشانگر ترکیبی و پاسخ‌پذیر برای پایش تغییرات وضعیت التهابی- متابولیکی مورد استفاده قرار گیرد.

کاهش معنادار گلوکز، انسولین، شاخص مقاومت به انسولین (HOMA-IR) و TyG در گروه‌های تمرین و ترکیبی، نشان داد که تمرینات کر به‌ویژه در ترکیب با تحریک الکتریکی، می‌توانند به‌عنوان یک مداخله پیشگیرانه برای مردان در معرض خطر متابولیک مورد استفاده قرار گیرند، حتی بدون نیاز به ورزش‌های هوازی سنگین یا رژیم‌های غذایی سخت‌گیرانه.

بهبود وضعیت محور آنابولیک- کاتابولیک و کاهش سطح CRP نشان‌دهنده نقش این مداخلات در بازتنظیم عملکرد غدد درون‌ریز و کاهش التهاب زمینه‌ای است. این ویژگی‌ها به‌ویژه در مشاوره با مردان میانسالی که دچار افت انرژی، خستگی مزمن یا کاهش میل و انگیزش حرکتی هستند، بسیار سودمند خواهد بود.

محدودیت‌های پژوهش

این مطالعه بر روی گروهی از مردان میانسال با دامنه سنی ۳۵ تا ۵۵ سال و تعداد محدود (٤٨ نفر) انجام شد. بنابراین، تعمیم نتایج به سایر گروه‌های سنی (مثلا سالمندان یا جوانان) و جنسیت‌ها نیازمند

مطالعات تکمیلی با نمونه‌های وسیع‌تر است. گروه تحریک فقط ۳ هفته (با یک جلسه یادآور در هفته هشتم) تحت مداخله قرار گرفت، در حالی‌که گروه تمرین و ترکیب، مداخله ۸ هفته‌ای داشتند. این تفاوت در زمان‌بندی می‌تواند بر شدت پاسخ‌ها و مقایسه‌ی مستقیم بین گروه‌ها اثر بگذارد.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که هر دو مداخله تمرینات عضلات مرکزی و تحریک بیوالکتریکی، می‌توانند موجب بهبود معنادار شاخص‌های متابولیکی (FPG، انسولین، HOMA-IR، TG، TyG) و کاهش بار التهابی (CRP، CTI) در مردان میانسال کم‌تحرک شوند. ترکیب این دو روش باعث افزایش اثربخشی در مقایسه با مداخله‌های منفرد شد. همچنین شاخص CTI به‌عنوان یک نشانگر ترکیبی توانست تغییرات ناشی از مداخله را نمایان سازد. این نتایج ممکن است بر اهمیت بهره‌گیری از راهکارهای غیر دارویی و نوآورانه برای ارتقاء سلامت متابولیکی در جمعیت‌های در معرض خطر به عنوان راهکارهای پیشگیرانه و کاهش بار جهانی بیماری مؤثر باشد.

مطالعات آینده می‌توانند دهک‌های جمعیتی شاخص CTI (Q1–Q4) را برای طبقه‌بندی امکان مقایسه ریسک متابولیکی- التهابی در جمعیت ایرانی را مشخص کنند، مشابه رویکردی که در تحقیق BMC Endocrine Disorders انجام شده و مشاهده شده است با افزایش دهک CTI، متغیرهای خطر متابولیکی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابند (۶) این اقدام می‌تواند ارزش پایش CTI را در شاخص‌های سلامت‌محور میان جمعیت ایرانی تقویت کند.

تشکر و قدردانی

این مطالعه، حاصل پایان‌نامه‌ی دوره دکتری تخصصی رشته‌ی فیزیولوژی ورزشی با شماره علمی ۱۶۲۹۶۶۳۰۵ دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان می‌باشد و با حمایت این دانشگاه انجام شده است.

References

1. Tang PM-K, Zhang Y-Y, Hung JS-C, Chung JY-F, Huang X-R, To K-F, et al. DPP4/CD32b/NF-κB circuit: a novel druggable target for inhibiting CRP-driven diabetic nephropathy. Mol Ther 2021; 29(1): 365-75.
2. Cavallo FR, Golden C, Pearson-Stuttard J, Falconer C, Toumazou C. The association between sedentary behaviour, physical activity and type 2 diabetes markers: a systematic review of mixed analytic approaches. PLoS One 2022; 17(5): e0268289.
3. Yuan S, Li X, Liu Q, Wang Z, Jiang X, Burgess S, Larsson SC. Physical activity, sedentary behavior, and type 2 diabetes: mendelian randomization analysis. J Endocr Soc 2023; 7(8): bvad090.
4. Zhang S, Huo Z, Borné Y, Meng G, Zhang Q, Liu L, et al. Adherence to a healthy lifestyle including sleep and sedentary behaviors and risk of metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease in Chinese adults. Prev Med 2024; 184: 107971.
5. Sun Y, Guo Y, Ma S, Mao Z, Meng D, Xuan K, et al. Association of C-reactive protein-triglyceride glucose index with the incidence and mortality of cardiovascular disease: a retrospective cohort study. Cardiovasc Diabetol 2025; 24(1): 313.
6. Shan Y, Liu Q, Gao T. Application of the C-reactive protein-triglyceride glucose index in predicting the risk of new-onset diabetes in the general population aged 45 years and older: a national prospective cohort study. BMC Endocr Disord 2025; 25(1): 126.
7. Tang N, Chen X, Li H, Cheng S, Hu Yn, Wang L, et al. Association of C reactive protein triglyceride glucose index with mortality in coronary heart disease and type 2 diabetes from NHANES data. Sci Rep 2025; 15(1): 24687.
8. Sakellariou G, Katsantonis M, Fouliras P. Probabilistic Measurement of CTI Quality for Large Numbers of Unstructured CTI Products. Electronics. 2025; 14(9): 1826.
9. Nabipoorashrafi SA, Seyedi SA, Rabizadeh S, Ebrahimi M, Ranjbar SA, Reyhan SK, et al. The accuracy of triglyceride-glucose (TyG) index for the screening of metabolic syndrome in adults: a systematic review and meta-analysis. Nutr Metab Cardiovasc Dis 2022; 32(12): 2677-88.
10. Liu J, Bai R, Chai Z, Cooper ME, Zimmet PZ, Zhang L. Low-and middle-income countries demonstrate rapid growth of type 2 diabetes: an analysis based on Global Burden of Disease 1990–2019 data. Diabetologia 2022; 65(8): 1339-52.
11. Surya N, Someshwar HP. Low-Cost telerehabilitation in low-and middle-income countries (LMICs): Overcoming barriers to access and improving healthcare delivery. NeuroRehabilitation 2025; 56(1): 30-6.
12. Manuskiatti W, Nanchaipruek Y, Gervasio MK, Lektrakul N. Efficacy and safety of electrical multidirectional stimulation for abdominal contouring in Thai subjects with normal body mass index. Dermatol Surg 2022; 48(5): 591-3.
13. Akagi R, Miyokawa Y, Shiozaki D, Yajima Y, Yamada K, Kano K, et al. Eight-week neuromuscular electrical stimulation training produces muscle strength gains and hypertrophy, and partial muscle quality improvement in the knee extensors. Journal of Sports Sciences 2023; 41(24): 2209-28.
14. Wahba AY, Elessawy HA. Effect of aerobic training versus core circuit exercises on cardiovascular risk in metabolic syndrome. Egyptian Journal of Physical Therapy 2024; 19(1): 12-7.
15. Manuskiatti W, Nanchaipruek Y, Gervasio MK, Lektrakul N, Apinuntham C. Combination of monopolar 2 MHz radiofrequency and electrical

multidirectional stimulation for reducing abdominal circumference and enhancing the muscle definition in subjects with overweight range body mass index. Lasers Surg Med 2022; 54(9): 1198-206.
16. Kissane RW, Hauton D, Tickle PG, Egginton S. Skeletal muscle adaptation to indirect electrical stimulation: divergence between microvascular and metabolic adaptations. Exp Physiol 2023; 108(6): 891-911.
17. Bayles MP. ACSM's exercise testing and prescription. Lippincott Williams & Wilkins; 2023.
18. França FR, Burke TN, Hanada ES, Marques AP. Segmental stabilization and muscular strengthening in chronic low back pain: a comparative study. Clinics (Sao Paulo) 2010; 65(10): 1013-7.
19. Begum MR, Hossain MA. Validity and reliability of visual analogue scale (VAS) for pain measurement. Journal of Medical Case Reports and Reviews 2019; 2(11).
20. Spring L, Peters J. Muscle Toning and Contouring. Procedures in Cosmetic Dermatology: Lasers, Lights, and Energy Devices-E-Book. Elsevier; 2022. p. 167.
21. Rajanala S, Kaminer MS, Rohrer TE. The History of Nonlaser Energy-Based Devices in Dermatology. Dermatol Surg 2025; 51(6): 575-82.
22. Sheikh-Ahmad M, Nakhleh A, Riskin A, Yovanovich E, Chen-Konak L, Reut M, Saiegh L. The correlation between testosterone, inflammation and cytokine status in type-2 diabetes men. Andrologia 2022; 54(10): e14526.
23. Karim DMR. Measurement of body fat and its relation with cardiac risk factors in human subject: © University of Dhaka; 2025.
24. Biagetti B, Aulinas A, Casteras A, Perez-Hoyos S, Simo R. HOMA-IR in acromegaly: a systematic review and meta-analysis. Pituitary 2021; 24(2): 146-58.
25. Chen J, Yan L, He L, Wang W. Association between different dimensions of the C-reactive protein-triglyceride-glucose index and future cardiovascular disease risk in individuals with cardiovascular-kidney-metabolic syndrome stages 0–3: a nationwide cohort study. Diabetol Metab Syndr 2025; 17(1): 299.
26. Graham J, Barnes M. Metabolic Training: The Ultimate Guide to the Ultimate Workout: Human Kinetics; 2023.
27. Chen Y-C, Davies RG, Hengist A, Carroll HA, Perkin OJ, Betts JA, Thompson D. Effects of neuromuscular electrical stimulation on energy expenditure and postprandial metabolism in healthy men. Appl Physiol Nutr Metab 2022; 47(1): 27-33.
28. Papagianni G, Panayiotou C, Vardas M, Balaskas N, Antonopoulos C, Tachmatzidis D, et al. The anti-inflammatory effects of aerobic exercise training in patients with type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. Cytokine 2023; 164: 156157.
29. Luo P, Cao Y, Li P, Li W, Song Z, Fu Z, et al. TyG index performs better than HOMA-IR in Chinese type 2 diabetes mellitus with a BMI< 35 kg/m2: a hyperglycemic clamp validated study. Medicina (Kaunas) 2022; 58(7): 876.
30. Tamini S, Bondesan A, Caroli D, Marazzi N, Sartorio A. The ability of the Triglyceride-Glucose (TyG) index and modified TyG indexes to predict the presence of metabolic-Associated fatty liver disease and metabolic syndrome in a pediatric population with obesity. J Clin Med 2025; 14(7): 2341.
31. Miao Y, Wang Y, Wan Q. Association between TyG index with obesity indicators and coronary heart disease: a cohort study. Sci Rep 2025; 15(1): 8920.
32. Wang Y, Li H, Yang D, Wang M, Han Y, Wang H. Effects of aerobic exercises in prediabetes patients: a systematic review and meta-analysis. Front Endocrinol (Lausanne) 2023; 14: 1227489.
33. 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. Sci Rep 2024; 14(1): 1936.
34. Fernández-Rodríguez R, Monedero-Carrasco S, Bizzozero-Peroni B, Garrido-Miguel M, Mesas AE, Martínez-Vizcaíno V. Effectiveness of resistance exercise on inflammatory biomarkers in patients with type 2 diabetes mellitus: a systematic review with meta-analysis. Diabetes Metab J 2023; 47(1): 118-34

DOI: *10.48305/jims.v43.i846.1913*

Journal of Isfahan Medical School **Vol. 43, No. 846, 2nd Week, March 2026**

Received: 15.07.2025 Accepted: 14.02.2026 Published: 05.03.2026

Effects of Core Training and Electromagnetic Muscle Directional Stimulation (EMDS) on Improving Metabolic-Inflammatory Markers in the Preclinical Stage: A Non-Pharmacological Intervention

Shokoofeh Samouei[1], Khosro Jalali Dehkordi[2], Farzaneh Taghian[3]

Original Article

Abstract

Background: The transition to middle age is often accompanied by an increased prevalence of insulin resistance and low-grade chronic inflammation, particularly among sedentary men. Implementing innovative non-pharmacological interventions during the preclinical stage may help attenuate or even reverse the progression toward chronic diseases by improving markers such as insulin resistance, C-reactive protein (CRP), and the Cardiometabolic Triage Index (CTI). This study aimed to investigate the effects of structured core training, Electromagnetic Muscle Directional Stimulation (EMDS), and their combination on the Triglyceride-Glucose (TyG) index and CTI, as surrogate biomarkers for cardiometabolic risk and type 2 diabetes in sedentary middle-aged men with desk-based occupations.

Methods: In this quasi-experimental pre-test/post-test trial, 48 sedentary middle-aged men were randomly assigned to four groups: control, core training, EMDS, and combined intervention. The intervention consisted of eight weeks of progressive and individualized core training, tailored based on each participant's fitness level, pain tolerance threshold, and perceived exertion (Visual Analogue Scale, VAS). The EMDS group underwent seven sessions of stimulation using the TruSculpt Flex device, while the combined group received both interventions. Fasting venous blood samples were collected before and after the intervention to assess fasting blood sugar (FBS), insulin, HOMA-IR, triglycerides (TG), CRP, as well as composite indices TyG and CTI. Data were analyzed using paired t-tests, ANOVA, and Bonferroni post hoc tests with a significance level set at $P<0.05$ (SPSS version 27).

Findings: The participants had a mean age of 44.94 ± 6.28 years, mean BMI of 25.60 ± 1.71 kg/m², and mean body fat percentage of 26.16 ± 2.29%. Significant reductions in FBS, insulin, HOMA-IR, and TG were observed across intervention groups ($P<0.001$). The TyG index decreased significantly in all three intervention groups, with notable between-group differences ($P=0.02$). CTI showed significant improvement in the core training and combined groups, whereas CRP exhibited a non-significant reduction in the EMDS group ($P=0.18$).

Conclusion: The combined application of core training and EMDS appears to effectively reduce insulin resistance and inflammatory burden, thereby improving metabolic health in sedentary middle-aged men. Furthermore, CTI demonstrated greater sensitivity to training and combined interventions, highlighting its potential as a health-oriented biomarker for future preventive strategies.

Keywords: Core training, Electromagnetic Muscle Stimulation, Insulin resistance, Inflammation, Cardiometabolic index

Citation: Samouei Sh, Jalali Dehkordi Kh, Taghian F. **Effects of Core Training and Electromagnetic Muscle Directional Stimulation (EMDS) on Improving Metabolic-Inflammatory Markers in the Preclinical Stage: A Non-Pharmacological Intervention.** J Isfahan Med Sch 2026; 43(846): 1913-22.

1- Ph.D. Candidate, Department of Sports Physiology, Faculty of Sports Sciences, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
2- Department of Sports Physiology, Faculty of Sports Sciences, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
3- Department of Sports Physiology, Faculty of Sports Sciences, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
Corresponding Author: Khosro Jalali Dehkordi, Department of Sports Physiology, Faculty of Sports Sciences, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran; Email: khosrojalali@gmail.com