مجله‌ی غدد درون‌ریز و متابولیسم ایران
دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی ـ درمانی شهید بهشتی
دوره‌ی بیست و پنجم، شماره‌ی ۳، صفحه‌های ۲۶۱ ـ ۲۴۵ (مرداد ـ شهریور ۱۴۰۲)

مقاله‌ی مروری

تاثیر تمرین ورزشی بر چربی درون عضلانی در افراد با و بدون بیماری‌های مزمن: یک مرور نظام‌مند و فراتحلیل

دکتر بابک عبادی[۱]، دکتر موسی خلفی[۲]، دکتر محمد امین دلاوری[۱]، دکتر الهام شهاب‌پور[۱]

۱) گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران، ۲) گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم انسانی دانشگاه کاشان، کاشان، ایران. **نشانی مکاتبه با نویسنده مسئول**: بندرعباس، کیلومتر ۹ جاده میناب، دانشگاه هرمزگان، دانشکده علوم انسانی، گروه علوم ورزشی، دکتر بابک عبادی؛ e-mail: b.ebadi@hormozgan.ac.ir

چکیده

مقدمه: نفوذ چربی به درون عضله و انباشت چربی درون عضلانی (**IMAT**) با گسترش مقاومت به انسولین مرتبط است که این امر در نتیجه سالمندی و اختلالات متابولیکی افزایش می‌یابد. در مقابل، تمرین ورزشی ممکن است منجر به کاهش چربی درون عضلانی شود. از این‌رو، هدف فراتحلیل حاضر بررسی اثر تمرین ورزشی بر **IMAT** افراد با وضعیت سلامتی و سنی مختلف می‌باشد. مواد و روش‌ها: جستجو برای مقالات انگلیسی و فارسی زبان در پایگاه‌های اطلاعاتی پاب‌مد، اسکوپوس، وب آو ساینس و مگیران ، بدون محدود کردن سال انتشار، تا ۱۳ اکتبر سال ۲۰۲۳ انجام شد. معیارهای ورود به فراتحلیل شامل بررسی اثر تمرین ورزشی با طول بیشتر از دو هفته بر روی انسان؛ صرف نظر از جنس، سن و وضعیت سلامتی و اندازه‌گیری مقادیر **IMAT** بود. برای محاسبه اندازه اثر تفاوت میانگین استاندارد شده (**SMD**) از مدل اثر تصادفی با احتساب فاصله اطمینان ۹۵ ٪ استفاده شد. یافته‌ها: ۳٤ مداخله تمرین ورزشی مستخرج از مجموع ۲٤ مطالعه؛ که شامل ۱۰۹۱ نفر آزمودنی بود، وارد فراتحلیل حاضر شدند. نتایج نشان داد که تمرین ورزشی منجر به کاهش معنی‌دار **IMAT**، [۰/٤۲ الی **CI=۰/۹۳**، (**SMD=-۰/٦۷**)] با اندازه اثر بزرگ شد و همچنین میزان وزن بدن، درصد چربی بدن و گلوکز خون کاهش معنی‌داری را نشان دادند. نتیجه‌گیری: یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که صرف نظر از نوع تمرین، وضعیت سلامتی و سن آزمودنی‌ها، تمرین ورزشی مداخله‌ای موثر برای کاهش **IMAT** می‌باشد. که می‌تواند نقش موثری در بهبود وضعیت متابولیکی داشته باشد.

واژگان کلیدی: تمرین ورزشی، چربی درون عضلانی، بیماری‌های مزمن

دریافت مقاله: ۱٤۰۲/۱۱/۲۸ـ دریافت اصلاحیه: ۱٤۰۳/۲/۱٦ ـ پذیرش مقاله: ۱٤۰۳/۲/۱٦

مقدمه

بافت چربی درون عضلانی (IMAT)[i] یک انبار پویا برای ذخیره اسیدهای چرب است که در زمان فراوانی لیپیدهای در دسترس، آن‌ها را ذخیره و در زمان افزایش تقاضای انرژی، مورد استفاده قرار می‌دهد.[۱] عضلات اسکلتی سالم عمدتاً از پروتئین‌های انقباضی تشکیل شده‌اند، اما حاوی مقادیر کمی چربی نیز هستند. نسبت چربی عضلانی در عضله اسکلتی می‌تواند تغییر کند و منجر به نفوذ چربی به درون عضلات شود.[۲] افزایش چربی درون عضلانی با ضعف عضلانی، کاهش تحمل گلوکز و التهاب مزمن مرتبط است که منجر به کاهش حساسیت به انسولین برای سنتز طبیعی پروتئین می‌شود.[۲،۳] اگرچه این بافت چربی ۱ الی ۲ درصد از ذخایر چربی بدن را شامل می‌شود اما از لحاظ متابولیکی بسیار فعال است و در توسعه بیماری‌های متابولیکی مانند دیابت نقش مهمی دارد.[۱] از این‌رو، چربی درون عضلانی هدفی برای بهبود مقاومت به انسولین در افراد با وضعیت‌های متابولیکی مختلفی می‌باشد.

i-Intramuscular Adipose Tissue

تمرین ورزشی منظم یکی از راهبردهای اولیه برای درمان و پیشگیری از اختلالات متابولیکی می‌باشد که به واسطه سازوکارهای مختلف؛ مانند بهبود التهاب مزمن و متابولیسم گلوکز و چربی، منجر به بهبود اختلالات متابولیکی می‌شود. علاوه براین، ارتباط نزدیکی نیز بین فعالیت بدنی و تجمع IMAT وجود دارد. از سویی دیگر، بین چاقی و IMAT نیز ارتباط وجود دارد که هردو از نظر مکانیکی با حساسیت انسولینی مرتبط هستند اما اثرات متضادی دارند.[۱] بررسی مطالعات بالینی انجام شده نشان می‌دهند که تمرین ورزشی ممکن است منجر به بهبود مقاومت به انسولین، حداقل در بخشی به واسطه کاهش IMAT، شود.[۱] با این حال، نتایج مطالعات بالینی انجام شده به صورت متناقض گزارش شده است به نحوی که افزایش،[۸-۴] کاهش،[۱۳-۹] عدم‌تاثیر[۱۶-۱۴] در مطالعات قبلی مشاهده شده است. علاوه براین، مولفه‌های تمرین؛ به ویژه نوع تمرین ورزشی، و ویژگی آزمودنی‌ها؛ مانند شاخص چاقی و سن، ممکن است به عنوان تعدیل‌کننده‌های موثر بر اثرات تمرین ورزشی باشند که بررسی نشده‌اند. از این‌رو، هدف فراتحلیل حاضر بررسی تاثیر تمرین تمرین ورزشی و همچنین تعدیل‌کننده‌های نوع تمرین، طول تمرین، سن و نمایه توده بدنی[i] (BMI) بر IMAT در افراد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

نوع مطالعه

فرا تحلیل حاضر بر اساس دستورالعمل موارد ترجیحی در گزارش مرورهای نظام‌مند و فراتحلیل[ii](PRISMA) و کاکرین[iii] انجام شده است.

منابع داده‌ها و روش جستجو

برای انجام فرا تحلیل حاضر جستجوی جامع در پایگاه‌های اطلاعاتی و اسکوپوس[iv]، وب آو ساینس[v]، پابمد[vi] و و مگیران،[vii] از زمان شروع تا تاریخ ۲۱ مهر ماه ۱۴۰۲ (۱۳ اکتبر ۲۰۲۳) انجام شد (به ترتیب ۲۹۹، ۵۳۷ و ۳۴۰ مقاله مستخرج). جستار مورد استفاده برای یافتن مقالات در پابمد به شرح زیر بود:

(walking OR jogging OR training OR exercise OR "Physical activity" OR "exercise training" OR "strengthening programs" AND "muscle fat infiltration" OR "intramuscular fat" OR "muscle adiposity" OR "muscle fatty degeneration" OR "muscle adipogenic replacement" OR "muscle fatty infiltration" OR "fatty muscle degeneration" OR "intramuscular adipose tissue" OR "intramuscular adipose tissue")

علاوه بر این، جستجوی انجام شده در پایگاه فارسی زبان با استفاده از کلید واژه‌های "تمرین ورزشی"، "فعالیت ورزشی"، "فعالیت بدنی"، "ورزش"، "چربی درون عضلانی"، "چربی بین عضلانی"، "بافت چربی"، "توده چربی" انجام شد. در ادامه، برای اطمینان از عدم گم شدن مطالعه واجد شرایط، جستجوی دستی در منابع مقالات وارد شده به فرا تحلیل حاضر نیز انجام شد. تمامی مراحل جستجو بطور مستقل توسط دو نویسنده (ب ع، ا ش) انجام و هر گونه اختلاف‌نظر از طریق مشورت با نویسنده دیگر (م خ) رفع ابهام شد. تمامی مقالات فراخوان شده از جستجوی نظام‌مند وارد نرم‌افزار اند نوت[viii] نسخه ۲۰ شدند و پس از حذف مقالات تکراری بر اساس معیارهای ورود و خروج، بررسی مقالات در دو مرحله انجام گردید. در مرحله اول بررسی مقالات بر اساس عنوان، چکیده و کلید واژه‌ها صورت گرفت. در ادامه مقالات منتخب برای بررسی بیشتر وارد مرحله دوم شدند که شامل مطلعه و بررسی متن کامل مقالات بود. همانند مراحل قبلی جستجو، تمامی مراحل بررسی توسط دو نویسنده یاد شده انجام گرفت و در صورت بروز هرگونه تردید و اختلاف‌نظر با نویسنده دیگری (م خ) رفع ابهام شد.

معیارهای انتخاب مقالات

معیارهای ورود به فراتحلیل براساس دستورالعمل PICOS (جمعیت، مداخله، مقایسه، متغیر و نوع مطالعه) و شامل موارد ذیل بودند: ۱- جمعیت: همه افراد سالم و بیمار صرف نظر از جنس که در دامنه سنی کودک تا سالمند قرار می‌گرفت به غیر از افرادی که دچار فلج نخاعی بودند و همچنین حیوانات. ۲- مداخله: تمرین منظم ورزشی با طول مداخله بیشتر از دو هفته، صرف‌نظر از نوع، شدت، مدت و تواتر تمرین. ۳- مقایسه: مطالعات دارای گروه شاهد و یا دارای مقادیر اندازه‌گیری شده در مرحله پیش‌آزمون. ۴-

i-Body Mass Index
ii-Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses
iii-Cochrane
iv-Scopus
v-Web of Science
vi-PubMed
vii-Magiran
viii-EndNote

متغیر: بافت چربی درون عظلانی به عنوان متغیر اصلی. ۵- نوع مطالعه: مطالعات دو گروهی (با گروه شاهد) و تک گروهی (بدون گروه شاهد). همچنین، سایر معیارهای ورود به مطالعه حاضر شامل مقالات چاپ شده در مجلات انگلیسی و فارسی زبان بودند.

استخراج داده‌ها

متن کامل مقالات وارد شده برای یافتن اطلاعات مورد نظر بررسی شدند. این اطلاعات مشتمل بود بر: ۱- ویژگی-های مطالعه شامل نوع مطالعه و تعداد و حجم نمونه. ۲- اطلاعات پیکر سنجی آزمودنی‌ها؛ مانند سن و شاخص توده بدنی و وضعیت سلامتی. ۳- ویژگی‌های مداخلات ورزشی؛ مثل نوع، مدت، شدت، تواتر و طول تمرین .٤. متغیرهای اصلی و فرعی فراتحلیل حاضر؛ شامل میانگین و انحراف استاندارد داده‌ها در هر دو مرحله پیش و پس آزمون و یا میانگین تغییرات (اختلاف پیش آزمون و پس آزمون) به همراه انحراف استاندارد. نام نویسنده اول، سال انتشار، تعداد نمونه در هر گروه نیز استخراج شد. برای برآورد انحراف استاندارد از خطای معیار از فرمول $SD=S\times\sqrt{N}$ استفاده شد. همچنین، در مطالعاتی که داده‌ها به صورت نمودار گزارش شده‌بودند، استخراج داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار گت دیتا[i] انجام گرفت.[۱۷،۱۸] نهایتاً در مطالعاتی که بیش از یک گروه تمرین ورزشی داشتند، داده‌های هرگروه بصورت مجزا وارد شد.

بررسی کیفیت مقالات

برای بررسی کیفیت مطالعات مورد شمول فراتحلیل حاضر؛ از مقیاس پدرو[ii] برای مطالعات دو گروهی و NIH برای مطالعات تک‌گروهی استفاده شد. ارزیابی کیفیت مطالعات توسط یک نویسنده (ب ع) انجام و توسط نویسنده دیگر (م خ) تایید شد. مقیاس پدرو شامل ۱۱ مورد می‌باشد که دو مورد آن؛ شامل یکسو و دوسو کور بودن مطالعه، به دلیل عدم امکان اجرای آن در مداخلات ورزشی کنار گذاشته شد. در مجموع بررسی کیفیت مطالعات با استفاده از ۹ مورد ارائه شده در جدول ۱ انجام شد که دارای امتیاز بین ۰ تا ۹ بودند. مقیاس NIH به بررسی کیفیت مطالعات تک گروهی می‌پردازد و دارای ۱۲ مورد است که در جدول ۲ آمده است. امتیاز نهایی از کم تا زیاد نشان‌دهنده کیفیت مقالات بود و ترتیبی اتخاذ شد که مطالعات با امتیاز کمتر از ۵ از فراتحلیل حذف گردند.[۱۹]

روش‌های آماری

به منظور محاسبه اندازه اثر، SMD با فاصله اطمینان ۹۵ درصد (CI) و با استفاده از مدل اثر تصادفی محاسبه شد (٤٣). اندازه اثر با دستورالعمل کاکرین به‌صورت زیر تفسیر می‌شود: بین ۰ تا ۰/۱۹، نشان‌دهنده اندازه اثر ناچیز، بین ۰/۲۰ تا ۰/٤۹ اندازه اثر کوچک، بین ۰/۵۰ تا ۰/۷۹ اندازه اثر متوسط و نهایتاً بزرگتر از ۰/۸۰ نشان‌دهنده اندازه اثر بزرگ می‌باشد. همچنین برای بررسی ناهمگونی بین مطالعات از آزمون I^2 استفاده شد که طبق دستورالعمل کاکرین اگر کمتر از ۲۵ درصد باشد ناهمگونی خفیف، بیشتر از ۲۵ درصد ناهمگونی کم، بیشتر از ۵۰ درصد ناهمگونی متوسط و بیشتر از ۷۵ درصد ناهمگونی بالا را نشان می‌دهد. ارزش p کمتر از ۰/۱ در آزمون ایگر[iii] و تحلیل بصری فونل پلات[iv] به عنوان ملاک‌های وجود سوگیری انتشار درنظر گرفته شد. درصورت وجود سوگیریی، از روش اصلاح و پر کردن[v] برای تصحیح آن استفاده شد. کلیه تحلیل‌ها و نمودارها با نرم افزار CMA2 انجام گردید.

یافته‌ها

جستجو از مجموع ۱۱۷٦ مقاله‌ای که وارد نرم‌افزار اند نوت شدند، مقالات تکراری حذف و ۷۷۷ مقاله در مرحله اول مورد بررسی قرار گرفتند. پس از بررسی اولیه تعداد ٦۷۸ مقاله حذف و ۹۹ مقاله وارد مرحله دوم شدند که ازین تعداد پس از مطالعه کامل متن مقالات، ٦۸ مقاله حذف و ۳۱ مقاله انتخاب شدند که در طی مراحل استخراج داده‌ها ۷ مقاله به دلیل عدم وجود داده‌های کافی و روشن کنار گذاشته و در-نهایت ۲٤ مقاله وارد ارزیابی شدند. دلایل حذف مقالات پس از بررسی متن کامل در نمودار ۱ ارائه شده است. در مجموع ۱۲ مطالعه دارای گروه تمرین ورزشی با گروه شاهد،[۲۰-۳۱] ۷ مطالعه دارای بیش از یک گروه تمرینی[۲۳، ۳٤-۳٦، ۳۸، ۳۹، ٤۱] و ۵ مطالعه دارای گروه ورزشی تنها[۲۴، ۳۲، ۳۳، ۳۷، ٤۲] بودند. اطلاعات جامع مطالعات ذکر شده در جدول ۳ ارائه شده است.

i-Get data
ii-PEDro
iii-Egger
iv-Funnel Plot
v-Trim and Fill

جدول۱- امتیازات پدرو* مربوط به مقالات مورد بررسی در فراتحلیل

نام تحقیق	اساس شاخص منتخب	تقسیم تصادفی	تقسیم آزمودنی توسط فرد غیرمرتبط	تشابه ویژگی‌های پیش‌آزمون	یک سوکور محققان	جمع‌آوری پیامد اولیه از ٪۸۵ آزمودنی‌ها	تحلیل تمایل به درمان	مقایسه آماری بین گروهی	اندازه‌گیری در مراحل و فواصل	امتیاز کل PEDRO
برنان و همکاران[۲۰] (۲۰۲۱)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	۹
برت و همکاران[۲۱] (۲۰۰۸)	✓	✓	–	✓	✓	✓	–	✓	✓	۷
جاشوا و همکاران[۲۲] (۲۰۱۰)	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	✓	۷
کو و همکاران[۲۳] (۲۰۱۰)	✓	✓	-	✓	-	✓	-	✓	✓	٦
قاسمی کرم و همکاران[۲٤] (۲۰۲۱)	✓	✓	-	✓	-	✓	-	✓	✓	٦
ماساهیرو همکاران[۲۵] (۲۰۱۷)	✓	✓	-	✓	-	✓	-	✓	✓	٦
مایکل دورهیم و همکاران[۲٦] (۲۰۰۸)	✓	✓	-	✓	-	✓	-	-	✓	٥
اوگاوا و همکاران[۲۷] (۲۰۲۰)	✓	✓	-	✓	-	✓	-	✓	✓	٦
رایان و همکاران[۲۸] (۲۰۱٤)	✓	-	-	✓	-	✓	-	✓	✓	٥
سئو و همکاران[۲۹] (۲۰۲۱)	✓	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	✓	۷
سیگوه و همکاران[۳۰] (۲۰۲۰)	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	✓	۷
وچنر همکاران[۳۱] (۲۰۲۰)	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	۸

* PEDro

جدول۲- خطر ارزیابی سوگیری ابزار ارزیابی کیفیت NIH. برای مطالعات مورد شمول فراتحلیل

نام تحقیق	معیار ۱	معیار ۲	معیار ۳	معیار ۴	معیار ۵	معیار ۶	معیار ۷	معیار ۸	معیار ۹	معیار ۱۰	معیار ۱۱	معیار ۱۲	امتیاز کل
بولسترلی و همکاران[۲] (۲۰۲۱)	✓	✓	✓	–	–	✓	✓	–	–	✓	–	✓	۷
گاجزا و همکاران[۳۲] (۲۰۱۱)	✓	✓	✓	–	–	✓	✓	✓	✓	✓	–	✓	۹
گاجزا و همکاران[۳۳] (۲۰۱٤)	✓	✓	✓	–	-	✓	✓	✓	✓	✓	–	✓	۹
جاکوب و همکاران[۳٤] (۲۰۱٤)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	۱۲
کونوکپا و همکاران[۳۵] (۲۰۱۸)	✓	✓	✓	–	-	✓	✓	✓	–	✓	✓	✓	۹
لی سوجانگ و همکاران[۳٦] (۲۰۱۹)	✓	✓	✓	–	✓	✓	✓	✓	–	✓	–	✓	۹
لی یائو و همکاران[۳۷] (۲۰۰۷)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	–	–	✓	–	–	۸
اگاوا و همکاران[۳۸] (۲۰۲۳)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	–	–	✓	–	✓	۹
مارکوس و همکاران[۳۹] (۲۰۰۸)	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	–	✓	–	✓	۸
نیکلاس و همکاران[٤۰] (۲۰۱۵)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	–	✓	–	✓	۱۰
پائولو بروسیگینی و همکاران[٤۱] (۲۰۱۹)	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	–	–	✓	✓	✓	۸
سانتااستو و همکاران[٤۲] (۲۰۱۵)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	–	✓	✓	–	✓	۱۰

(۱) سوال تحقیق، (۲) معیارهای واجد شرایط بودن و جمعیت مورد مطالعه، (۳) شرکت‌کنندگان در مطالعه نماینده جمعیت‌های بالینی مورد هدف، (٤) ثبت نام همه شرکت‌کنندگان واجد شرایط (۵) حجم نمونه، (٦) توصیف مداخله به وضوح (۷) توصیف اندازه‌گیری‌های نتیجه به وضوح، اعتبار و پایایی دارند، (۸) یک‌سو کور بودن محققان، (۹) نرخ پیگیری، (۱۰) تجزیه و تحلیل آماری،(۱۱) اندازه-گیری‌های متعدد نتیجه، (۱۲) مداخلات در سطح گروه و تلاش برای نتیجه در سطح فردی.

ویژگی آزمودنی و برنامه ورزشی. در مجموع ۱۰۹۱ نفرآزمودنی وارد فراتحلیل شدند که ۷۷۸ نفر بیمار و ۳۱۳ نفر فرد سالم تشکیل می‌دادند که ازین بین ٥٦۹ نفر فرد سالمند، ٤۰٤ نفر افراد جوان و میانسال و نهایتاً ۱۱۸ نفر را کودکان و نوجوانان شامل می‌شدند. در ارتباط با تمرین ورزشی، انواع مختلف تمرین ورزشی شامل تمرین مقاومتی، تمرین هوازی و تمرین ترکیبی و تناوبی در این مطالعات بکار گرفته شده است. طول مداخلات از ۸ هفته الی ۱۲ ماه و از یک الی ۵ جلسه در هفته متغیر بودند که جزییات کامل این متغیرها به تفصیل در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول۳- ویژگی آزمودنی‌ها و برنامه تمرین

مطالعه (سال)	تعداد گروه‌های تمرینی مطالعه	نمونه (جنسیت)	ویژگی آزمودنی‌ها	سن (سال)	شاخص توده بدن (کیلوگرم بر متر مربع)	نوع ورزش	توصیف مداخلات ورزشی و شاهد	طول مداخله (جلسه در هفته)	متغیر	نحوه اندازه‌گیری متغیر
برنان و همکاران[۲۰] (۲۰۲۱)	۲ گروه شامل: ۱. تمرین با رژیم غذایی ۲. رژیم غذایی به تنهایی	۸۶ (زن و مرد غیرفعال)	سالمند و چاق	گروه تمرین ۶۶/۸±۳/۴ گروه شاهد ۷۰/۰±۴/۶	گروه تمرین ۳۷/۳±۵/۴ گروه شاهد ۳۵/۷±۴/۴	ترکیبی (هوازی و مقاومتی)	تمرین هوازی۴۵ دقیقه، با شدت ۵۰ الی ۸۰ درصد ضربان قلب ذخیره تمرین ورزشی مقاومتی با دستگاه که شامل ۹ حرکت ورزشی در ۲ الی ۳ ست با شدتی که حداکثر بتوانند ۱۰ الی ۱۲ تکرار بزنن با وهله‌های ۳۰ دقیقه‌ای در هر جلسه	۶ماه (۵-۴)	IMAT عضله ران	تصویربرداری رزونانس مغناطیسی(MRI)
بولسترلی و همکاران[۲] (۲۰۲۱)	تک گروهی	۱۱ (زن و مرد)	سالم	۲۰ /۹±۱/۷	--	مقاومتی	۴ ست تمرین پرس پا یا جلو ران با ۸ الی ۱۲ تکرار	۸ هفته (۳)	IMAT عضله ران	MRI
برت و همکاران[۲۱] (۲۰۰۸)	۲ گروه شامل: ۱. تمرین ۲. شاهد	۴۲ (زن و مرد)	سالمند	گروه تمرین ۷۶/۷±۱/۰ گروه شاهد ۷۷/۴±۱/۰	گروه تمرین ۳۰/۷±۱/۴ گروه شاهد ۳۰/۴±۱/۳	ترکیبی (هوازی، مقاومتی، انعطاف پذیری و تعادل)	تمرین: فعالیت ورزشی به مدت ۴۰ الی ۶۰ دقیقه شامل تمرین هوازی، مقاومتی، تعادلی و انعطاف پذیری شاهد: آموزش بهداشت سالمندی	۱۲ ماه (۲-۵)	IMAT عضله ران	توموگرافی کامپیوتری (CT Scan)
گاجزا و همکاران[۳۲] (۲۰۱۱)	تک گروهی	۱۷ (مرد بالغ سالم)	سالم	تمرین ۲۲/۲±۱/۰	تمرین ۳/۱ ±۲۴/۹	مقاومتی	۵ ست تمرین مقاومتی اکستنشن آرنج با ۱۰ تکرار بیشینه یک دقیقه استراحت بین ست	۱۲ هفته (۵)	IMAT عضله بازو	MRI
گاجزا و همکاران[۳۳] (۲۰۱۴)	تک گروهی	۱۷نفر (مرد جوان)	ژنوتایپ پلی مورفیسم (INSIG2)	تمرین ۲۲/۰ ± ۱/۱	تمرین ۲۵/۴ ± ۴/۰	مقاومتی	۵ ست اکستنشن آرنج دوطرفه با ۱۰ تکرار بیشینه با استراحت یک دقیقه ای	۱۲ هفته (۵)	IMAT عضله سه سر بازو	MRI
جاکوب و همکاران[۳۴] (۲۰۱۴)	۲ گروه شامل: ۱.تمرین مقاومتی سنتی ۲. تمرین مقاومتی برونگرا	۷۷ (زن و مرد)	سالمند	گروه تمرین ۱: ۷۴/۶ ± ۶/۲ گروه تمرین ۲: ۷۶/۲ ± ۷/۴	گروه تمرین ۱: ۲۹/۱ ± ۶/۲ گروه تمرین ۲: ۲۷/۱ ± ۴/۸	مقاومتی	تمرین مقاومتی بالاتنه برای هر دو گروه یکسان بود و دو گروه فقط در نوع تمرین مقاومتی پایین تنه تفاوت داشتند. در گروه سنتی ۳ ست پرس پا نشسته با ۶۰ الی ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه انجام شد در گروه اکسنتریک مقاومت بازکننده‌های ران و زانو با دستگاه استپر – ارگومتر خوابیده با سرعت ۱۲ الی ۱۸ دور در دقیقه انجام شد. به مدت ۶۰ دقیقه	۱۲ هفته(۳)	IMAT عضلات ران	MRI
جاشوا و همکاران[۲۲] (۲۰۱۰)	۲گروه شامل: ۱.تمرین با رژیم ۲. شاهد با رژیم (رژیم یکسان)	۲۷ (زن و مرد)	سالمند دارای اضافه وزن	تمرین ۶۶/۰ ± ۳/۸ شاهد ۶۷/۴ ± ۴/۸	تمرین ۳۱/۶ ± ۳/۸ شاهد ۳۱/۹ ± ۳/۴	مقاومتی	۴۰ دقیقه فعالیت مقاومتی با شدت متوسط در ۴ ست با تکرارهای ۸ الی ۱۲	۱۰ هفته (۳	IMAT عضلات ران	CT Scan
کونوکپا و همکاران[۳۵] (۲۰۱۸)	۳ گروه شامل: ۱. تمرین مردان جوان ۲. تمرین مردان سالمند ۳. تمرین زنان سالمند	۲۲ (زن و مرد)	سالمند و جوان	گروه تمرین ۱: ۲۰/۰ ± ۱ گروه تمرین ۲: ۷۴/۰ ± ۳ گروه تمرین۳: ۶۹/۰ ± ۲	گروه تمرین ۱: ۲۶/۴ ± ۱/۶ گروه تمرین ۲: ۲۶/۱ ± ۱/۴ گروه تمرین۳: ۲۵/۱ ± ۱/۷	هوازی	۲۰ الی ۴۵ دقیقه با شدت ۶۰ الی ۸۰ درصد ضربان قلب ذخیره	۱۲ هفته (۵-۴)	IMAT عضله ران	MRI

ادامه جدول ۳-

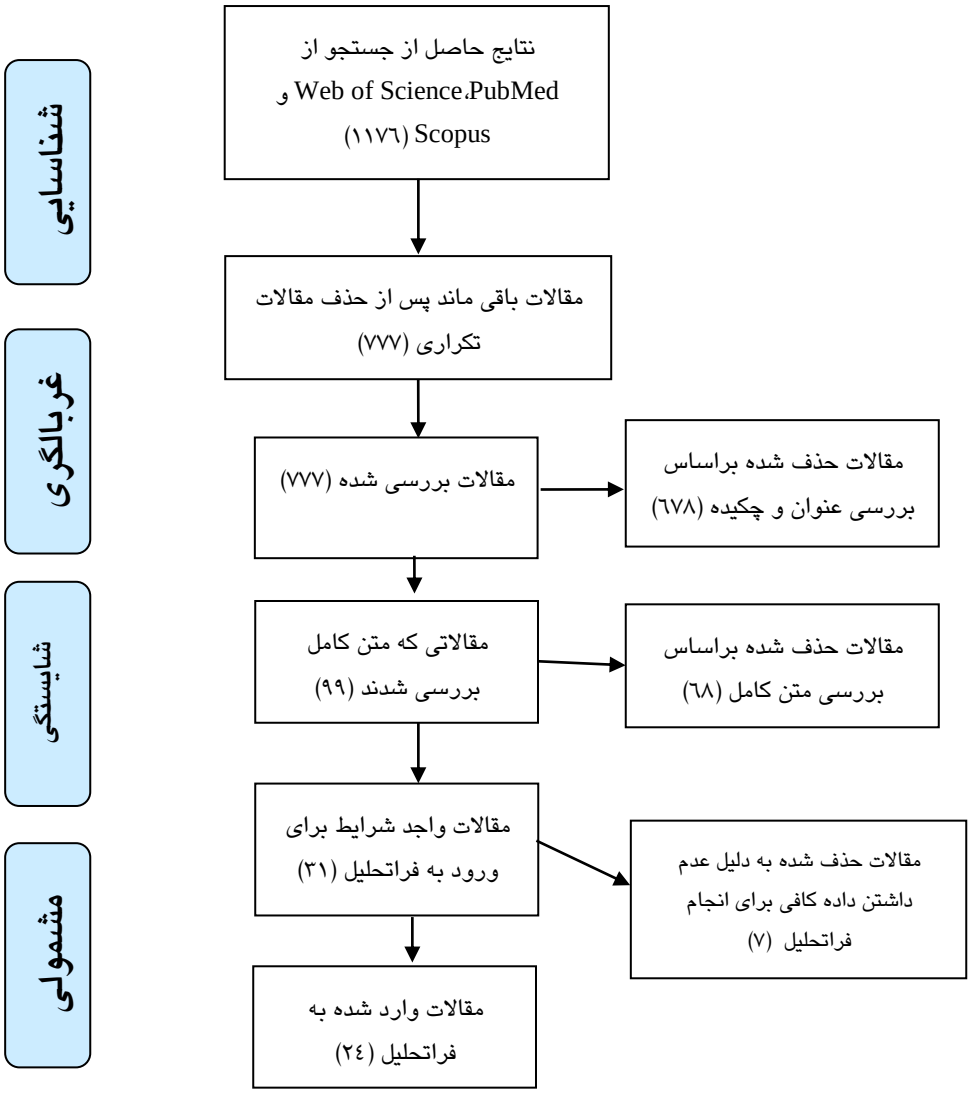
کو و همکاران[۳۳] (۲۰۱۰)	۳ گروه شامل: ۱. تمرین مقاومتی ۲.تمرین هوازی ۳. شاهد	٤٤ نفر (زن)	دیابت نوع ۲	گروه تمرین ۱: ٦/۲ ± ٥٥/۷ گروه تمرین ۲: ۷/۰ ± ٥٥/۷ گروه شاهد: ۸/۱ ± ٥۷/۸	گروه تمرین ۱: ۲/۳ ± ۲۷/۱ گروه تمرین ۲: ۲/٤ ± ۲۷/۱ گروه شاهد ۲/۸ ± ۲۷/٤	هوازی مقاومتی	تمرین مقاومتی با نوارکشی با ٤۰ الی ٥۰ درصد حداکثر ظرفیت ورزشی (۳ ست با تکرارهای ۱٥ الی ۲۰) تمرین هوازی شامل ٦۰ دقیقه پیاده‌روی با شدت ۳/٦ الی ٥/۲ مت شاهد: زندگی غیر فعال	۱۲ هفته (٥)	IMAT عضله ران	CT Scan
لی سوجانگ و همکاران [۳٦] (۲۰۱۹)	۳ گروه شامل: ۱. تمرین مقاومتی ۲.تمرین هوازی ۳. تمرین ترکیبی	۱۱۸ (نوجوان)	اضافه وزن و چاق	گروه تمرین۱: ۱/٦ ± ۱٤/٤ گروه تمرین ۲: ۱/٦ ± ۱٤/٤ گروه تمرین ۳: ۱/۷ ± ۱٤/٥	گروه تمرین۱: ۳/۸ ± ۳۳/٤ گروه تمرین ۲: ٤/۰ ± ۳۳/۷ گروه تمرین ۳: ٤/۱ ± ۳۲/۳	هوازی مقاومتی ترکیبی	٦۰ دقیقه فعالیت هوازی با شدت ٥۰ الی ٦۰ درصد اکسیژن مصرفی پیک مقاومتی: ۲ ست فعالیت ورزشی با دستگاه های مقاومتی با تکرارهای ۱۲ الی ۱٥ عددی بعلاوه درازو نشست و شنا تا حد خستگی به مدت ٦۰ دقیقه ترکیبی: همان فعالیت هوازی ولی به مدت ۳۰ دقیقه بعلاوه ۳۰ دقیقه فعالیت مقاومتی بالا ولی در یک ست	٦ ماه (۳)	IMAT عضلات ران	CT Scan
لی یائو و همکاران [۳۷] (۲۰۰۷)	تک گروهی	۹۸ (زن و مرد)	میانسال و سالمند دارای ژنوتیپ پلی‌مورفیسم (ADRB2)	مردان ۱/۲ ± ٦٤/٤ زنان ۱/۲ ± ٦۲/۷		مقاومتی	باز کردن زانوی پای راست با دستگاه جلو ران برقی ٤ ست برای افراد بالای ۷٥ سال و ٥ ست برای افراد ۷٥ سال به پایین با تکرار ۱٥ الی ۲۰ و فواصل استراحتی بین ست‌ها به ترتیب ۳۰، ۹۰، ۱٥۰ و ۱۸۰ ثانیه	۱۰ هفته (۳)	IMAT عضله ران	CT Scan
قاسمی کرم و همکاران [۳٤] (۲۰۲۱)	۲ گروه ۱. تمرین ۲. شاهد	۳٦ (مرد)	سالمند دچار استئوسارکوپنیا	تمرین ۳/٦ ± ۷۷/۸ شاهد ٤/۷ ± ۷۹/۲	تمرین ۳/۰ ± ۲٥/۰ شاهد ۱/۹ ± ۲٤/٥	مقاومتی شدید	در ٥ مزوسیکل انجام گرفت ۱. ۸ حرکت ورزشی تک ست و ٤ حرکت ورزشی ۲ ست با ۸ الی ۱٥ تکرار و فواصل استراحتی ۹۰ الی ۱۲۰ ثانیه ۲. ۱٤ حرکت ورزشی با یک ست و ۹۰ ثانیه استراحت با برنامه تکرار ذخیره(RIR) ۳. برنامه حداکثر تکرار حرکت اکستنشن کمر که یک سوم . ٤-٥. رویکرد سوپرست و نهایتاً دراپ ست پایین تنه	۱٦ ماه (۳)	IMAT عضلات ران	MRI
مارکوس و همکاران [۳۹] (۲۰۰۸)	۲ گروه ۱. تمرین هوازی ۲. تمرین ترکیبی	۱٥ نفر (زن و مرد)	مبتلا به دیابت نوع دوم	هوازی ٦/۲ ± ٥۸/٥ ترکیبی ٦/۹ ± ٥۰/۷	هوازی ٤/٤ ± ۲۹/۸ ترکیبی ٦/۰ ± ۳٥/۰	هوازی ترکیبی	تمرین هوازی با شدت ٦۰٪ الی ۸٥٪ ضربان قلب بیشینه تمرین ترکیبی قسمت هوازی همان برنامه اجرا شد بعلاه تمرین مقاومتی که از دستگاه استپر برقی اکسنتریک استفاده شد این فعالیت بین ٥ دقیقه الی۲۰ دقیقه افزایش یافت. شدت فعالیت با مقیاس بورگ تاحدی سخت اندازه‌گیری شد.	۱٦ هفته (۳)	IMAT عضلات ران	MRI
ماساهیرو همکاران [۳٥] (۲۰۱۷)	۲گروه ۱. گروه تمرین ۲. گروه شاهد	۷٥ نفر (زن و مرد)	سالمند	تمرین ٤/۱ ± ۷۰/٤ شاهد ۳/۹ ± ۷۱/۳	تمرین ۲/۸ ± ۲۳/۰ شاهد ۲/٤ ± ۲۳/۰	هوازی تناوبی	تناوب یک دقیقه راه رفتن و یک دقیقه جاگینگ و تکرار این‌کار ۹۰ مرتبه و جمعا ۱۸۰ دقیقه در هفته با شدت کم شاهد: سبک زندگی معمول	۱۲ هفته (۱)	IMAT عضلات ران	CT Scan

ادامه جدول ۳-

مایکل دورهیم و همکاران [۲۶] (۲۰۰۸)	۲ گروه ۱.گروه تمرین زنان ۲. گروه تمرین مردان	۷۳ نفر (زن و مرد)	غیر فعال دارای اضافه وزن و دیسلیپیدمیا	زنان ۵/۶ ± ۵۴/۰ مردان ۶/۴ ± ۵۰/۹	زنان ۵/۶ ± ۵۴/۰ مردان ۲/۵ ± ۳۰/۴	هوازی	افراد هرگروه تصادفی یکی از سه شدت را انجام دادند. فعالیت هوازی شدید: با شدت ۶۵ الی ۸۰ درصد اکسیژن مصرفی اوج فعالیت هوازی با شدت متوسط: همان تمرین بالا با مصرف انرژی ۱۴ کیلو کالری بر کیلوگرم در هفته با شدت ۶۵ الی ۸۰ درصد اکسیژن مصرفی اوج فعالیت شدت کم: همان تمرین با مصرف انرژی ۱۴ کیلو کالری بر کیلوگرم در هفته با شدت ۴۰ الی ۵۵ درصد اکسیژن مصرفی اوج	۸ الی ۹ ماه (؟)	IMAT عضلات ران	CT Scan
نیکلاس و همکاران [۴۰] (۲۰۱۵)	تک گروهی	۶۳ نفر (زن و مرد)	چاق و دارای اضافه وزن	تمرین ۳/۶ ± ۶۹/۴	تمرین ۲/۴ ± ۳۰/۷	مقاومتی	تمرین با ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه در ۳ ست و ۱۰ تکرار با استراحت ۱ دقیقه بین ست‌ها انجام شد.	۶ ماه (۳)	IMAT عضلات ران	CT Scan
اوگاوا و همکاران [۳۷] (۲۰۲۰)	۲ گروه ۱.گروه تمرین مقاومتی ۲. گروه شاهد	۲۰ نفر (مرد)	سالم استراحت در بستر	تمرین ۷/۶ ± ۳۱/۳ شاهد ۷/۱ ± ۳۴/۰	تمرین ۱/۹ ± ۲۴/۱ شاهد ۲/۵ ± ۲۴/۶	مقاومتی	فعالیت مقاومتی پایین تنه با ۷۵ الی ۸۰٪ توان تا حد خستگی، هر پا جداگانه و بین تمرین یک پا تا پای دیگر ۹۰ ثانیه استراحت به مدت ۲۲ دقیقه شاهد: عدم ورزش	۸ هفته (۳)	IMAT عضلات ران	MRI
اگاوا و همکاران [۳۸] (۲۰۲۳)	۲ گروه ۱. تمرین مقاومتی با وزنه‌های آزاد ۲. تمرین مقاومتی با وزن بدن	۳۷ نفر (زن و مرد)	جوان و میانسال سالم	تمرین ۱ ۶/۸ ± ۵۰/۶ تمرین ۲ ۱۱/۱ ± ۴۵/۸	تمرین ۱ ۲/۷ ± ۲۲/۲ تمرین ۲ ۲/۲ ± ۲۱/۹	مقاومتی	۱. تمرین مقاومتی با وزنه‌های آزاد شامل ۵ حرکت در سه ست با ۸ الی ۱۲ تکرار و با ۷۰٪ یک تکرار بیشینه انجام شد. ۲. تمرین بر اساس وزن بدن انجام همان حرکات بر روی صندلی در حالت نشسته و با کمک نوار کشی حداکثر تعداد تکراری که قادر به انجام آن بودند معیار قرار داده شد. هر جلسه ۶۰ دقیقه	۸ هفته (۲)	IMAT عضلات ران	MRI
پائولو بروسیگینی و همکاران [۴۱] (۲۰۱۹)	۲ گروه ۱. تمرین هوازی ۲. تمرین مقاومتی	۱۲ (مرد)	سالمند	تمرین ۱ ۴/۲ ± ۶۹/۳ تمرین ۲ ۴/۲ ± ۶۹/۳	تمرین ۱ ۲/۸ ± ۲۶/۵ تمرین ۲ ۲/۴ ± ۲۵/۹	هوازی اینتروال (HIT) مقاومتی	برنامه تمرین ۸ هفته تمرین اینتروال بعد ۴ ماه بی تمرینی بعد ۸ هفته تمرین مقاومتی بوده است HIT: تمرین دوچرخه کارسنج با ۷ اینتروال ۲ دقیقه‌ای با شدت ۸۵ تا ۹۵ درصد VO2Max با استراحت‌های فعال ۲ دقیقه‌ای رکاب زدن با ۴۰ درصد حداکثراکسیژن مصرفی ۴۵ تا ۵۰ دقیقه ۲. تمرین مقاومتی با دستگاه جلو ران در ۴ ست با ۷ تکرار بیشینه زده شد با فواصل استراحتی ۳ دقیقه	۸ هفته (۳)	IMAT چهارسر ران	MRI
رایان و همکاران [۲۸] (۲۰۱۴)	۲گروه ۱. کاهش وزن با رژیم غذایی ۲. کاهش وزن با رژیم و ورزش	۶۵ (زن)	پیر یائسه با اضافه وزن و یا چاق	۵۰ الی ۷۶ ساله	گروه ۱ ۱ ± ۳۴/۰ گروه ۲ ۱ ± ۳۲/۰	هوازی	تمرین با شدت ۵۰ الی ۸۵٪ ضربان قلب ذخیره و مدت ۴۵ دقیقه در هر جلسه روی نوارگردان و الپتیکال انجام شد	۶ ماه (۳)	IMAT کمر	CT Scan
سانتااستو و همکاران [۴۲] (۲۰۱۵)	تک گروهی	۱۵ نفر (زن و مرد)	سالمند بالای ۶۰ سال دچار اضافه وزن و چاق	تمرین ۶/۲ ± ۶۹/۹	تمرین ۳/۱ ± ۳۲/۰	ترکیبی	هوازی شامل ۶۰ الی ۷۵ دقیقه راه رفتن روی تردمیل به مدت ۹ هفته و ۱۵۰ دقیقه در هفته با شدت مقیاس درک فشار بورگ (تا حدودی سخت=۱۳) تمرین مقاومتی بدون وزنه انجام می‌شد که بار تمرین به صورت تدریجی ۰/۵ پوند افزایش میافت تا به ۲۰ پوند برسد.	۱۲ ماه (۳-۵)	IMAT عضلات ران	CT Scan

ادامه جدول ۳-

سئو و همکاران[۲۹] (۲۰۲۱)	۲گروه ۱. گروه تمرین مقاومتی الاستیک ۲. گروه شاهد	۲۲ نفر (زن)	سالمند دچار سارکوپنی	تمرین ۷۰/۳ ± ۵/۳۸ شاهد ۷۲/۹ ± ٤/۷۵	تمرین ۲۲/۹ ± ۲/۰۲ شاهد ۲۲/٤ ± ۱/۵۲	مقاومتی الاستیک	۵۰ دقیقه فعالیت ورزشی مقاومتی کل بدن، ۳ الی ۵ ست با تکرارهای ٦ الی ۱۵، شدت تمرین براساس مقیاس درک فشار ، ٦، الی ۸ انجام گرفت شاهد: عدم ورزش	۱٦ هفته (۳)	IMAT عضلات ران	CT Scan
سیگوه و همکاران[۳۰] (۲۰۲۰)	۲ گروه ۱. تمرین مقاومتی ۲. شاهد	۳٤ نفر (زن و مرد)	سالمند دچار ضعف بدنی	گروه تمرین مقاومتی ۸٦/٦ ± ٦/۹ گروه شاهد ۸٤/۵ ± ۷/۲	گروه تمرین مقاومتی ۲٤/۳ ± ۳/۷ گروه شاهد ۲٦/۸ ± ۳/۳	مقاومتی	تمرین مقاومتی پیشرونده در دو حرکت جلو ران و پرس پا در ۲ الی ٤ ست با٦ الی ۱۲ تکرار بیشینه با ۲ دقیقه استراحت بین ست‌ها شاهد: عدم ورزش هر دو گروه هر روز یک مکمل پروتئینی شیر دریافت می‌کردند.	۱۰ هفته (۲)	IMAT چهارسر ران	CT Scan
وچنر همکاران[۳۱] (۲۰۲۰)	۲ گروه ۱. تمرین مقاومتی ۲. گروه شاهد	٦۵ نفر (زن و مرد)	دچار سرطان پانکراس	تمرین ٦۱/۰ ± ۹/۲ شاهد ٦۰/٦ ± ۷/۹	تمرین ۲۳/۳ ± ۳/۳ شاهد ۲۵/۷ ± ۲/۹	مقاومتی	بیماران ۸ فعالیت ورزشی مقاومتی در هر جلسه مدت ٦۰ دقیقه در ۲ الی ۳ ست و ۸ الی ۱۲ تکرار با شدت ٦۰ الی ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه انجام دادند گروه شاهد مراقبت‌های معمول خود را در مرکز سرطان دنبال می‌کردند.	٦ ماه (۲)	IMAT بین مهره‌ای کمر L3 – L4	CT Scan



نمودار ۱- نمایش روند جستجو

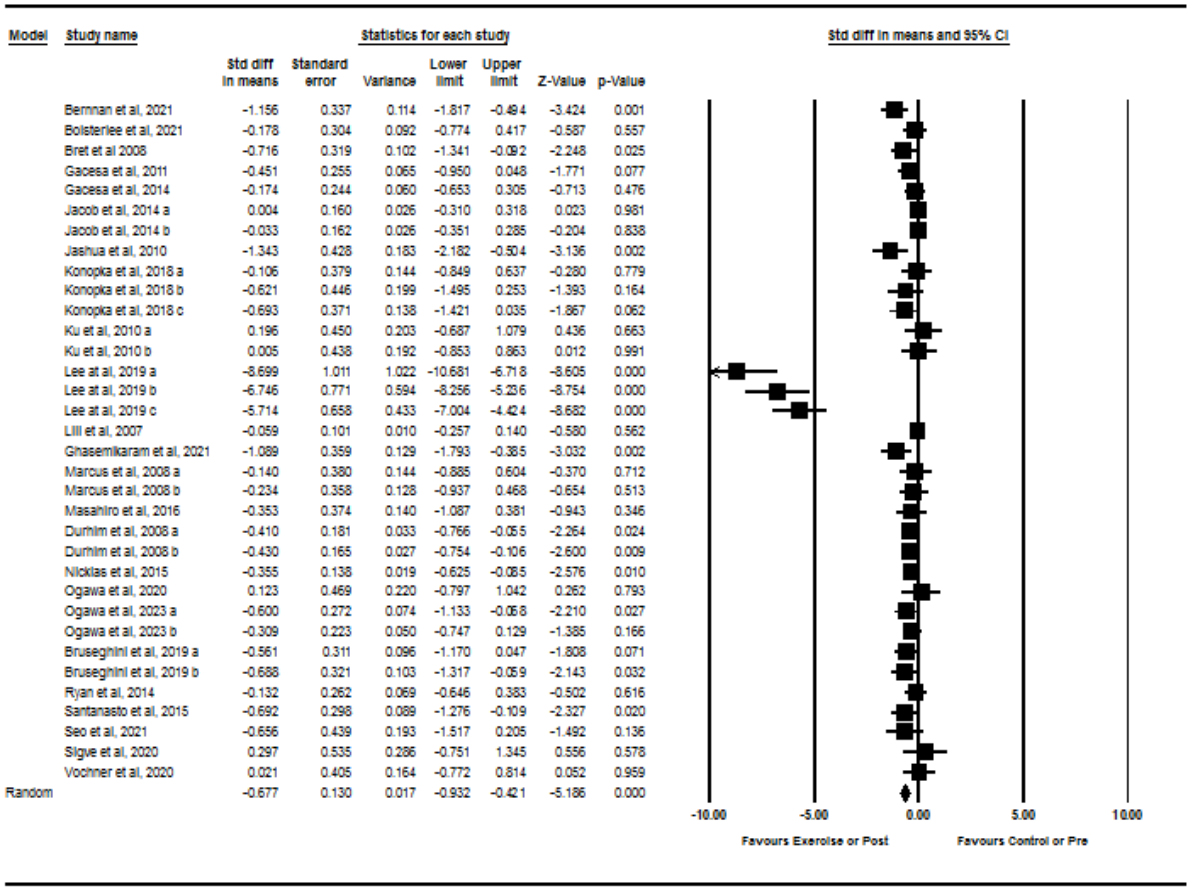
فراتحلیل

نتایج ۳۴ مداخله مستخرج از ۲۴ مطالعه واجد شرایط به فراتحلیل حاضر؛ که برای اندازه‌گیری بافت چربی درون عضلانی از MRI[i] و CT Scan[ii] استفاده کرده بودند، نشان داد که تمرین ورزشی منجر به کاهش معنی‌داری در چربی درون عضلانی با اندازه اثر متوسط [p=۰/۰۰۱، (۰/۴۲- الی ۰/۹۳- :CI) SMD=۰/۶۷-] شده است (شکل ۲). همچنین بررسی ناهمگونی نشان داد که ناهمگونی بالا و معنی‌داری وجود دارد (I^2=۸۶/۸۴، p=۰/۰۰۱). از تحلیل بصری فونل پلات برای بررسی وجود سوگیری انتشار استفاده شد که نتایج نشان‌دهنده سوگیری بود و نتایج آزمون ایگر آن را تایید کرد (p=۰/۰۰۱). همچنین در تصحیح سوگیری انتشار با استفاده از روش، اصلاح و پر کردن منجر به اضافه شدن ۱۱ مورد به سمت چپ منحنی شد که در نتیجه آن اندازه اثر افزایش یافت [(۰/۸۰- الی ۱/۴۳- :CI) SMD=۱/۱۲].

فراتحلیل اثر نوع فعالیت ورزشی بر IMAT. نتایج تحلیل زیر گروهی داده‌ها نشان داد که تمرین هوازی [p=۰/۰۰۱، (۰/۱۹- الی ۱/۱۸- :CI) ۰/۶۹-]، مقاومتی [p=۰/۰۰۱، (۰/۱۸- الی ۰/۷۵- :CI) ۰/۴۶-] و ترکیبی [p=۰/۰۰۱، (۰/۳۳- الی ۲/۸۰- :CI) ۱/۵۶-] منجر به کاهش معنی‌داری در میزان چربی درون عضلانی می‌شود.

فراتحلیل اثر طول مداخله ورزشی بر IMAT. نتایج تحلیل زیر گروهی داده‌ها بر اساس طول مداخله ورزشی نشان داد که هر دو مداخلات کوتاه مدت [p=۰/۰۰۱، (۰/۴۸- الی ۱/۲۵- :CI) ۰/۸۶-] و بلند مدت [p=۰/۰۰۱، (۰/۲۷- الی ۰/۶۱- :CI) ۰/۴۴-] منجر به کاهش معنی‌داری در میزان چربی درون عضلانی می‌شود.

i-Magnetic Resonance Imaging
ii-Computed Tomography Scan



شکل ۲- نمودار انباشت (Forest Plot) مربوط به اثر تمرین ورزشی بر چربی درون عضلانی

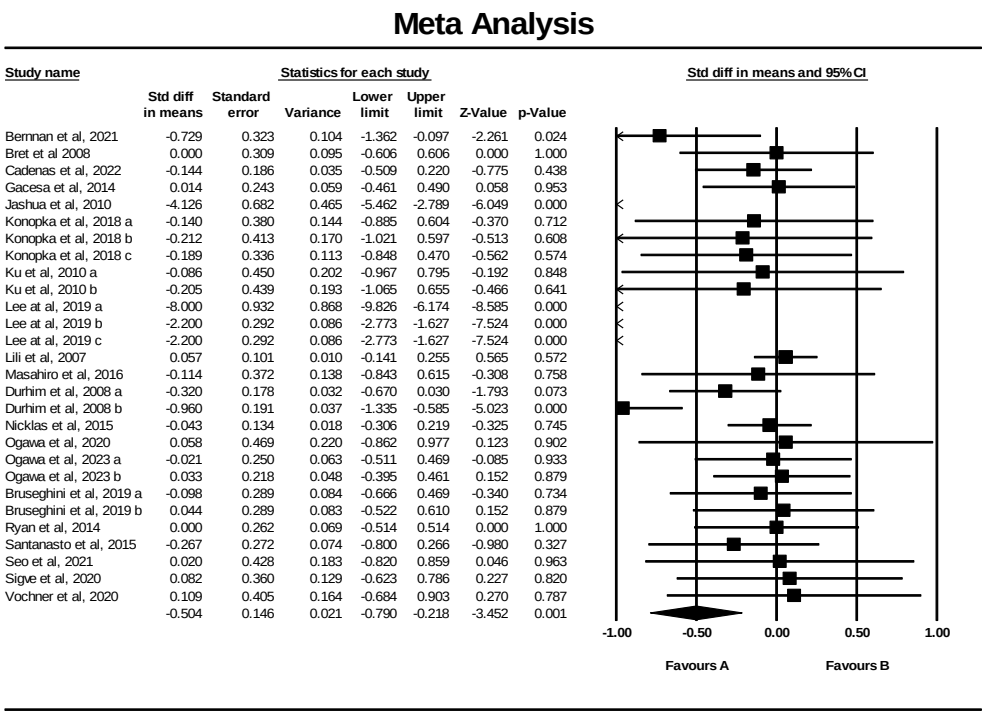
فراتحلیل اثر سن آزمودنی‌ها بر IMAT. نتایج تحلیل زیر گروهی داده‌ها بر اساس سن آزمودنی‌ها نشان داد که تمرین ورزشی منجر به کاهش معنی‌داری در میزان چربی درون عضلانی در بزرگسالان [p=۰/۰۰۱، (۰/۱۰- الی ۰/۳۳- CI:) ۰/۲۲-] و سالمندان [p=۰/۰۰۱، (۰/۲۷- الی ۰/۶۶- CI:) ۰/۴۷-] می‌شود. تحلیل زیر گروهی برای کودکان و نوجوانان به دلیل تعداد کم مطالعات انجام نشد.

فراتحلیل اثر وضعیت سلامت آزمودنی‌ها بر IMAT. نتایج تحلیل زیر گروهی داده‌ها بر اساس وضعیت سلامت آزمودنی‌ها نشان داد که تمرین ورزشی منجر به کاهش معنی‌داری در میزان چربی درون عضلانی در افراد با بیماری مزمن [p=۰/۰۰۱، (۰/۵۹- الی ۱/۴۰- CI:) ۰/۹۹-] و فاقد بیماری مزمن [p=۰/۰۰۱، (۰/۱۱- الی ۰/۴۱- CI:) ۰/۲۶-] می‌شود.

فراتحلیل اثر نوع مطالعه بر IMAT. نتایج تحلیل زیر گروهی داده‌ها بر اساس نوع مطالعه نشان داد که که تمرین ورزشی منجر به کاهش معنی‌داری در میزان چربی درون عضلانی در هر دو مطالعات تک گروهی [p=۰/۰۰۱، (۰/۵۴- الی ۱/۲۹- CI:) ۰/۹۱-] و دو گروهی [p=۰/۰۰۸، (۰/۱۰- الی ۰/۶۷- CI:) ۰/۳۸-] می‌شود.

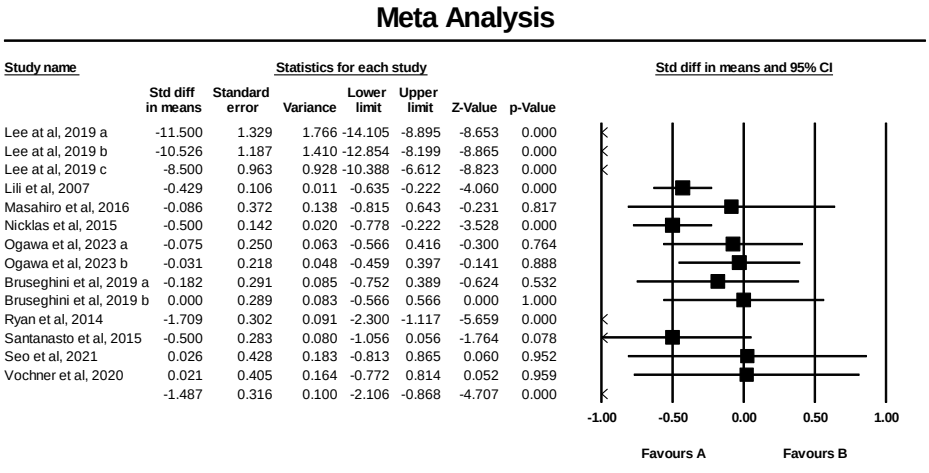
وزن بدن. تعداد ۲۸ مداخله ورزشی جهت بررسی اثر تمرین ورزشی بر تغییرات وزن بدن آزمودنی‌ها وارد فراتحلیل حاضر شدند (شکل ۳). نتایج آماری نشان داد که تمرین ورزشی منجر به کاهش معنی‌داری وزن بدن آزمودنی‌ها می‌شود [p=۰/۰۰۷، (۰/۳۰- الی ۱/۹۰- CI:) WMD:-۱/۱۰kg]. همچنین، ناهمگونی بالا و معنی دار بین مطالعات وجود داشت (I^2=۹۷/۶۸، p=۰/۰۰۱). در ارتباط با سوگیری انتشار، تحلیل بصری فونل پلات نشان‌دهنده سوگیری انتشار بود در حالی‌که آزمون ایگر[i] آن را تایید نکرد (p=۰/۴۵).

i-Egger



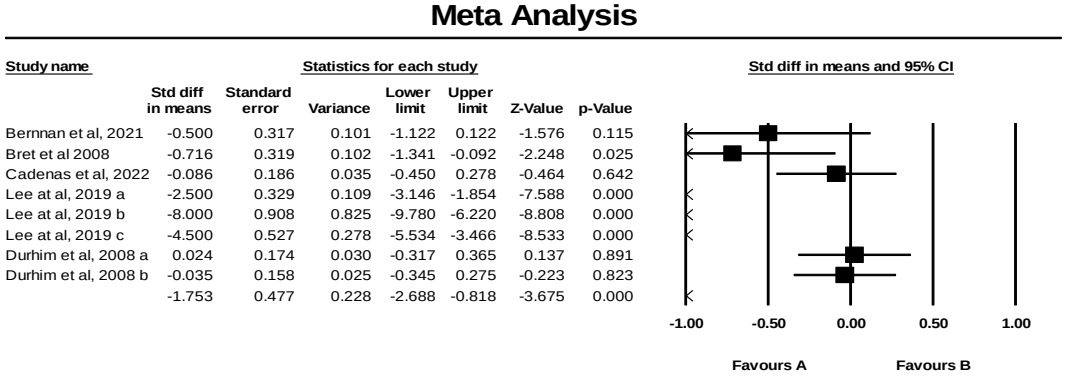
شکل۳- نمودار انباشت (Forest Plot) مربوط به اثر تمرین ورزشی بر وزن بدن

درصد چربی. تعداد ۱٤ مداخله ورزشی جهت بررسی اثر تمرین ورزشی بر تغییرات وزن بدن آزمودنی‌ها وارد فراتحلیل حاضر شدند(شکل ٤). نتایج آماری نشان داد که تمرین ورزشی منجر به کاهش معنی‌داری درصد چربی آزمودنی‌ها می‌شود [p=۰/۰۰۷، (۰/۸٤- الی ۱/٦۸-:CI) WMD:-۱/۲٦%]. همچنین، ناهمگونی بالا و معنی‌دار بین مطالعات وجود داشت (I^2=۹۸/۳۵، p=۰/۰۰۱). در ارتباط با سوگیری انتشار، تحلیل بصری فونل پلات نشان‌دهنده سوگیری انتشار بود در حالی‌که آزمون ایگر آن را تایید نکرد (p=۰/۲۵).



شکل ۴- نمودار انباشت (Forest Plot) مربوط به اثر تمرین ورزشی بر درصد چربی بدن

گلوکز. تعداد ۸ مداخله ورزشی جهت بررسی اثر تمرین ورزشی بر تغییرات گلوکز خون آزمودنی‌ها وارد فراتحلیل حاضر شدند(شکل۵). نتایج آماری نشان داد که کاهش معنی-داری بر میزان گلوکز خون {(p=۰/۰۰۱، Mean = -۰/۹۸٤ df)۰/٤۳۷- الی CI= -۱/۵۳۱-} در اثر فعالیت ورزشی وجود دارد.



شکل ۵- نمودار انباشت (Forest Plot) مربوط به اثر تمرین ورزشی بر گلوکز خون

بحث

هدف از فراتحلیل حاضر ارزیابی اثر تمرین ورزشی بر تغییرات IMAT می‌باشد. بطور کلی میزان استفاده از بافت چربی درون عضلانی در حین ورزش برای سالیان متمادی مورد بحث و اختلاف‌نظر بوده است. برخی مطالعات گزارش کرده‌اند که مقدار چربی درون عضلانی که با استفاده از استخراج بیوشیمیایی اندازه‌گیری شده بودند، پس از یک وهله فعالیت ورزشی کاهش معنی‌داری نداشته است.[٤٥،٤٦] در همین حال گزارش‌هایی نیز موجود است که نشان می‌دهد پس از یک وهله فعالیت ورزشی بافت چربی درون عضلانی به‌طور انتخابی کاهش پیدا کرده است در حالی‌که چربی زیر پوستی بدون تغییر مانده است، که این امر می‌تواند اطلاعات مناسبی درباره متابولیسم بافت چربی درون عضلانی و ورزش و بیماری‌ها ارائه کند.[٤٧،٤٨] بسیاری از شرایط فیزیولوژیکی و پاتولوژیکی (مانند افزایش سن، سبک زندگی بی‌تحرک، همچنین افزایش سیتوکین‌های التهابی، کاهش پاسخ هورمونی آنابولیک، و اختلالات متابولیک عمومی) منجر به سیر تحلیل عضلانی می‌شود، پدیده‌ای که با از دست دادن قدرت و توان عضلانی و افزایش نفوذ چربی مشخص می-شود. داده‌ها نشان می‌دهد که بافت چربی درون عضلانی ممکن است یک شاخص برجسته برای ردیابی فعالیت وابسته به متابولیک و کیفیت عضلات اسکلتی باشد. افزایش و تجمع بافت چربی درون عضلانی با اختلال عملکرد عضلانی مرتبط است و تا حد زیادی به عدم تحرک نسبت داده می‌شود، اما با افزایش سن نیز مرتبط است. بافت چربی درون عضلانی با کاهش سطح قدرت مطلق و نسبی که منجر به ضعف عضلانی می‌شود، بر کیفیت و عملکرد عضله تأثیر منفی می-گذارد، که نهایتاً عملکرد عضلانی ضعیف با سطوح بالای بافت چربی درون عضلانی در بزرگسالان مبتلا به بیماری‌های شدید و مزمن ویا با سطوح پایین فعالیت بدنی همراه است.[٤١]

روشن است که کاهش مقادیر بافت چربی درون عضلانی در تارهای عضلانی نوع I، بیشتر از تارهای نوع I I می‌باشد. نوع فیبر عضلانی هنگام تفسیر استفاده از بافت چربی درون عضلانی از اهمیت حیاتی برخوردار است و احتمالاً به دلیل الگوهای بکارگیری نوع فیبر در شدت تمرین متوسط و خواص متابولیکی خاص فیبرهای عضلانی نوع I می‌باشد. فیبرهای عضلانی به طور کلی به انواع آهسته انقباض I (آهسته اکسیداتیو)، سریع انقباض IIA (گلیکولیتیک اکسیداتیو سریع) و سریع انقباض IIX (گلیکولیتیک سریع) تقسیم می‌شوند. در یک مطالعه کلاسیک، آن‌ها دریافتند که افراد

تمرین نکرده نسبت ۵۰/۵۰ فیبرهای سریع (نوع IIA و III) به آهسته انقباض (نوع I) دارند. با این حال، در جمعیت ورزشکار، دوندگان مسافت‌های طولانی و میانی ۶۰ تا ۷۰ ٪ فیبرهای کند انقباض داشتند، در حالی‌که دوندگان سرعت ۸۰٪ آرایش فیبر سریع انقباض داشتند. علاوه بر این، مشخص شده است که وزنه برداران نخبه و قدرتی دارای آرایش فیبر سریع انقباض قابل توجهی (۶۰٪) نسبت به ورزشکاران استقامتی (۴۰٪) هستند. فعالیت ورزشی از طریق مکانیزم‌های متعددی می‌تواند موجب تغییر در ایزوفرمهای MHC و به دنبال آن تغییر در فنوتیپ تار عضلانی شود. همچنین فعالیت ورزشی میتواند با جلوگیری از تغییرایزوفرم های نوعI به II ناشی از بی‌تحرکی و حتی تنظیم مثبت ایزوفرم‌هایی مانندeMHC، مانع از کاهش قدرت عضلانی شود و بهبود و سلامت تار عضلانی را به همراه داشته باشد.[۴۹] الیاف نوع I نه تنهاظرفیت بیشتری برای متابولیسم اکسیداتیو دارند، بلکه ویژگی‌های خاصی را نشان می‌دهند که ذخیره و استفاده از بافت چربی درون عضلانی را ارتقا می‌دهد، الیاف نوع I دارای محتوای بافت چربی درون عضلانی دو تا سه برابر بیشتر و فراوانی پروتئین‌های وآنزیم‌های مرتبط لیپولیتیک هستند.[۴۹]با این‌حال، مطالعه‌ای، کاهش وزنی بافت چربی درون عضلانی تقریبا ۲۰ درصد را در تارهای عضلانی نوع II گزارش کرده است.[۵۰]این نشان می‌دهد که اکثر مطالعات تا به امروز احتمالاً برای تشخیص تغییرات نسبتاً کوچک در محتوای وزنی بافت چربی درون عضلانی در الیاف نوع II با ورزش ضعیف و ناکافی بوده‌اند. مشخص نیست که چرا چنین تنوع زیادی در ارزیابی بافت چربی درون عضلانی در فیبرهای عضلانی نوع II در مقایسه با فیبرهای نوع I وجود دارد. یک توضیح بالقوه این است که تمام مطالعات با استفاده از رویکرد نوع خاص فیبر عضلانی، فیبرها را به عنوان نوع I یا نوع II بر اساس وجود (یا عدم وجود) زنجیره سنگین میوزین نوع I به تنهایی تعریف می‌کنند. به طور معمول، هیچ گزارشی از محتوای بافت چربی درون عضلانی به طور خاص در الیاف نوع IIa، نوع IIx یا هیبریدی که ترکیبی از ایزوفرم‌های زنجیره سنگین میوزین را بیان می‌کنند، وجود ندارد. با این وجود، با توجه به تفاوت‌ها در الگوهای استخدام واحد حرکتی در طول ورزش طولانی و همچنین تفاوت‌های متابولیکی ذاتی انواع فیبرهای عضلانی، این احتمال وجود دارد که تفاوت‌هایی در استفاده از بافت چربی درون عضلانی در بین رشته‌های نوع IIa، نوع IIx و هیبریدی وجود داشته باشد.[۵۱]

این مطالعه فراتحلیل رابطه بین استفاده از بافت چربی درون عضلانی و متغیرهای کلیدی تمرین (نوع فعالیت ورزشی و مدت) و ویژگی‌های فیزیولوژیکی (سن، BMI، وضعیت سلامت، گلوکز و توده و درصد چربی بدن) را در مطالعات با گروه شاهد و بدون گروه شاهد بررسی کرده است. داده‌ها هنگامی که در یک مدل تک متغیره مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند، متغیرهای مربوط به وزن، BMI، گلوکز، توده و درصد چربی بدن در ارتباط با میزان کاهش بافت چربی درون عضلانی ناشی از ورزش نشان داده شده‌اند. بافت چربی درون عضلانی همان‌طور که از اسمش پیداست؛ ارتباط بسیار نزدیکی با عضلات اسکلتی دارد و در حین فعالیت ورزشی، همچنان که نیاز به انرژی افزایش می‌یابد بسیار منطقی به‌نظر می‌رسد که این قطرات چربی به عنوان منبع آماده اسیدهای چرب آزاد وارد فرایند اکسیداسیون بشوند. موقعیت آناتومیکی بافت چربی درون عضلانی، در محفظه میوفاشیال و با اتصال عروقی مستقیم به بافت‌هایی که به لحاظ متابولیک فعال‌تر هستند، مشابه وضعیت چربی درون احشایی با پیوند عروقی مستقیم آن با کبد در شکم است، گرچه این ویژگی بافت چربی درون عضلانی بر اساس جنسیت متفاوت نیست.[۲۶]مارکوس ۲۰۰۸ نشان داد که افرادی که دچار بیماری‌های سخت و مزمنی مثل دیابت هستند چون پیش از فعالیت ورزشی سطوح بالاتری از گلوکز را دارا می‌باشند پاسخ بهتری به فعالیت ورزشی نسبت به افراد سالم می‌دهند. همچنین تمرین ورزشی با سازگاری‌های متابولیکی از قبیل افزایش پروتئین‌های میتوکندری درگیر در تنفس سلولی مثل سیترات سینتاز، افزایش فعالیت گلیکوژن سینتاز و افزایش محتوای پروتئینی GLUT4 و تغییرات ساختاری ناشی از تمرین مقاومتی همچون افزایش محتوای پروتئینی تارهای انقباضی که منجر به بالا بردن متابولیسم پایه می‌شود نهایتاً باعث افزایش مصرف گلوکز خواهد شد. همچنین تمرین استقامتی منجر به افزایش پروتئین میتوکندری وبا بهبود در نسبت تعداد مویرگ به فیبر عضلانی، در نتیجه موجب افزایش توزیع سوبستراها می‌شود. در نهایت، چاقی موضعی، به‌ویژه افزایش ذخایر چربی احشایی و عضلانی، مستقیماً با حساسیت به انسولین از طریق مسیرهای سیتوکینی ویژه چربی، همچون تأثیر مستقیم ذخیره‌سازی چربی درون

عضلانی بر عملکرد گیرنده انسولین در بافت عضلانی مرتبط است. ازین_رو، کاهش توده چربی از طریق فعالیت ورزشی، تأثیر نامطلوب این عوامل را کاهش می‌دهد.[۳۹] با این‌حال، نشان داده است که نفوذ بافت چربی درون عضلانی با تولید نیروی ناکارآمد، به دلیل تغییر زاویه نفوذی که در دسته‌های فیبر عضلانی ایجاد می‌کند، و بنابراین بافت انقباضی کمتر در واحد حجم، منجر به عملکرد پایین عضلات اسکلتی می‌شود. علاوه بر ایجاد تغییردر ویژگی‌های ساختاری عضلات اسکلتی توسط بافت چربی درون عضلانی، ارتباط بین عضلات اسکلتی و بافت چربی ممکن است از طریق میوکین‌هایی مانند میوستاتین رخ دهد و به طور بالقوه منجر به کاهش عملکرد شود، زیرا نفوذپذیری بافت چربی در عضلات منجر به افزایش میوستاتین خواهد شد.[۳۵]

نتایج مطالعه فراتحلیل حاضر نشان داد که کاهش بافت چربی درون عضلانی در طول مداخله ورزشی در افراد سالم و بیمار رخ می دهد و بیانگر این واقعیت است که هم افراد سالم و هم بیمار می‌توانند از مزایای تمرین ورزشی برای بهبود کیفیت و کارایی عضلانی خود بهره ببرند. با در نظر گرفتن نوع تمرین ورزشی که در این فراتحلیل به سه نوع تمرین هوازی، مقاومتی و ترکیبی تقسیم شده بود، نتایج حاکی از اثر مثبت تمرین ورزشی هوازی و مقاومتی بر کاهش بافت چربی درون عضلانی می‌باشد، با این‌حال تمرین ترکیبی اثر معنی‌داری را نشان نداد. به دلیل فراوانی بیشتر پروتئین‌ها وآنزیم‌های لیپولیتیک مرتبط با بافت چربی، سازوکارهای اصلی برای نرخ بالاتر کاهش بافت چربی درون عضلانی شامل موارد زیر می‌باشند: تغییر نوع فیبر به سمت نسبت بیشتری از الیاف اکسیداتیو، ظرفیت اکسیداتیو عضلانی بالاتر و ظرفیت بیشتر برای ذخیره و تجزیه ذخایر بافت چربی درون عضلانی.[۴۹] با افزایش چربی سرمی و سپس چربی درون عضلانی، موادی از قبیل سرامیدها، DAG[i] و استیل کوآی زنجیره بلند در سلول افزایش می‌یابد. این مواد مقاومت به انسولین را با سازوکارهای مختلف بوجود می‌آورند. برای مثال، با افزایش DAG درون عضلانی، PKC-θ[ii] افزایش می‌یابد که منجر به غیرفعال شدن IRS-1[iii] می‌شود و در نهایت، GLUT4[iv] جهت برداشت گلوکز، به غشا انتقال نمی‌یابد. به‌نظر می‌رسد که افزایش چربی درون عضلانی نقش اولیه و مهمی در تشخیص مقاومت به انسولین ایفا نماید و تمرین ورزشی با تنظیم بازگردش و مصرف چربی باعث بهبود حساسیت به انسولین می‌شود. از سویی دیگر، تمرین ورزشی از طریق افزایش پروتئین‌های درگیر در اکسیداسیون از قبیل PGC-،PPAR2[v] 1α1[vi]، ظرفیت اکسیداتیو عضلات اسکلتی را افزایش می‌دهد.[۵۲] به‌نظر می‌رسد تعداد کمتر مطالعات مرتبط به تمرین ترکیبی (۵ مطالعه) عامل اصلی در مغایرت نتایج باشد چه بسا این که در صورت بالا بودن تعداد آزمودنی‌ها و مطالعات، انتظار نتایج متفاوتی در این نوع از تمرین ورزشی نیز می‌رود.

بخش دیگری از فراتحلیل حاضر به بررسی رابطه سن آزمودنی‌ها و میزان اثربخشی تمرین ورزشی در تغییرات بافت چربی درون عضلانی افراد پرداخته است. آزمودنی‌ها در این مطالعه به سه دسته، کودک و نوجوان تا ۱۷ سال، بالغ و میانسال ۱۸ الی ٦٤ سال و نهایتاً افراد سالمند بالای ٦٥ سال تقسیم شدند. نتایج آماری نشان دادند که تمرین ورزشی در همه گروه با کاهش بافت چربی درون عضلانی همراه شده است که این تغییرات بویژه در افراد مسن با اندازه اثر بزرگ همراه بود. نشان داده شده است که سالمندی با از دست دادن عضله و افزایش نفوذ چربی در عضلات ران در زنان همراه است، افزایش نفوذ چربی در عضلات تنه با افزایش سن در زنان یائسه مشاهده شده است که به موازات آن بافت چربی درون عضلانی ران افزایش یافته است. داده‌ها در یک بازه ۳۰ ساله حاکی از افزایش بافت چربی تنه زنان ۱۸ تا ۷۰ ساله در دوره پس از یائسگی می‌باشد. شایان توجه است که در زنان چاق و دارای اضافه وزن، چاقی به افزایش بافت چربی درون عضلانی در این عضلات کمک می‌کند.[۲۸] زنان مسن خطر و تمایل بیشتری برای کاهش عملکرد مرتبط با چاقی دارند. در زنان یائسه مبتلا به پوکی استخوان، قدرت اکستنسور پشت و تحرک ستون فقرات کمری پیش‌بینی‌کننده قابل توجهی برای کیفیت زندگی هستند. عملکرد مناسب اکستنسورهای تنه برای تثبیت وضعیت تنه در حرکت رو به جلو مورد نیاز هستند. اهمیت بالینی ترکیب ضعیف تنه با ارتباط بین ضعیف شدن عضلات

i-Diacylglycerol
ii-Protein Kinase C-theta
iii-Insulin Receptor Substrate 1
iv-Glucose Transporter Type 4

v-Peroxisome Proliferator–activated Receptors 2
vi-Peroxisome Proliferator-activated Receptor-gamma

و کاهش عملکرد فیزیکی همراه است. همچنین افزایش نفوذ چربی عضلانی با قدرت عضلانی بازکننده تحتانی زانو و همچنین محدودیت‌های حرکتی آینده در بین افراد مسن و عملکرد آن‌ها مرتبط است. علاوه براین، کاهش تراکم ستون فقرات یا ضعیف شدن عضله، که منعکس‌کننده افزایش چربی در عضلات ستون فقرات است، با گوژ پشتی در مردان و زنان مسن مرتبط بوده است.[۲۸]

اثربخشی تمرین مقاومتی برای کاهش بافت چربی درون عضلانی در افراد بزرگسال و مسن قبلاً مستند شده است،[۴۰] اگرچه شدت تمرین همچنان مسئله مهم و اصلی است؛ همان‌گونه که نشان داده شده است تمرین برونگرا با شدت زیربیشینه، با هیچ کاهشی در بافت چربی درون عضلات ران همراه نبود.[۳۴] داده‌های روشن و قطعی کمتری در مورد اثربخشی تمرین استقامتی، برای کاهش نفوذ بافت چربی درون عضلانی در افراد مسن سالم وجود دارد. با این‌حال، مطالعه بروسگینی نشان می‌دهد که حتی دوره‌های کوتاه مدت تمرین هوازی با شدت بالا ممکن است برای کاهش بافت چربی درون عضلانی در افراد سالم مسن موثر باشد.[۴۱] مرور سوابق علمی نشان داده است که ظرفیت آنزیم های اکسیداتیو در افراد با مقاومت به انسولین، پایین است، و ناکارآمدی متابولیکی را بوجود می‌آورد. این ناکارآمدی، متابولیسم چربی و گلوکز در عضلات را دچار نقصان می‌کند و منجر به بروز مقاومت به انسولین و دیابت نوع ۲ می‌شود. البته با فعالیت حداکثری آنزیم‌های اکسیداتیو، حساسیت انسولینی زیاد می‌شود. در این راستا، گزارش شده است که افزایش ظرفیت اکسیداتیو پس از تمرین ورزشی منجر به بهبود حساسیت انسولین می‌شود.[۵۳] بررسی مکانیسم‌های محتمل بیانگر این ارتباط است که تمرین ورزشی با افزایش CPT13[i] و کاهش DAG و سرامیدها ارتباط دارد.[۳۶] احتمالاً تمرین ورزشی با هدف قرار دادن چربی‌ها برای اکسیداسیون و تامین انرژی، منجر به کاهش تجمع چربی‌هایی از قبیل DAG شده و مقاومت به انسولین را کاهش می‌دهد.[۵۴] از سویی، افراد چاق دارای مقاومت به انسولین، آمادگی بیشتری برای مصرف چربی در طی تمرین ورزشی نسبت به افراد لاغر کم تحرک دارند که به نظر می‌رسد سازوکار تقابلی بین میتوکندری و تجمع چربی برای اکسیداسیون و بازگردش آن وجود داشته باشد.[۵۵] از آنجایی‌که دی‌آسیل گلیسرول از طریق لیپولیز و یا سنتز تری آسیل گلیسرول در عضله بوجود می‌آید، محتمل به‌نظر می‌رسد که تمرین ورزشی از طریق افزایش لیپولیز و متابولیسم چربی درون عضلانی، این کار را انجام دهد.[۵۶]

نتیجه‌گیری: براساس یافته‌های فراتحلیل حاضر، تمرین ورزشی هوازی و مقاومتی به عنوان راهکاری مناسب در کاهش توده چربی درون عضلانی در همه گروه‌های سنی و همچنین در افراد سالم و دچار بیماری‌های مزمن می‌باشد. مداخله ورزشی با کمک به کاهش وزن بدن، درصد چربی بدن، کاهش شاخص توده بدن و همچنین گلوکز و با بهبود حساسیت انسولینی برای رسیدن به این مهم امری ضروری به‌نظر می‌رسد. از نقاط قوت تحقیق حاضر، لحاظ تنوع تمرینی و بازه‌های سنی آزمودنی‌ها و همچنین روش‌های دقیق تشخیص و اندازه‌گیری بود، با این‌حال به دلیل کمبود شواهد تحقیق؛ تنوع ویژگی‌های خصیصه‌ای جامعه از جمله (نوع بیماری، نوع تارها کند انقباض و تند انقباض، رژیم غذایی افراد و نژاد آزمودنی‌ها) و همچنین حجم تمرین ورزشی و بسیاری از محدودیت‌های دیگر، به نظر می‌رسد نیاز به مطالعات بیشتر همچنان باقی می‌ماند.

سپاس‌گزاری: از داوران محترم به خاطر ارائه نظرات ساختاری و علمی سپاس‌گزاری می‌شود.

تعارض منافع: نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچگونه تعارض منافعی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

i- Camptothecin 13

References

1. Shaw CS, Clark J, Wagenmakers AJ. The effect of exercise and nutrition on intramuscular fat metabolism and insulin sensitivity. Annu Rev Nutr 2010; 30: 13-34.
2. Bolsterlee B, Bye EA, Eguchi J, Thom J, Herbert RD. MRI-based Measurement of Effects of Strength Training on Intramuscular Fat in People with and without Spinal Cord Injury. Med Sci Sports Exerc 2021; 53: 1270-5.
3. Waters DL. Intermuscular adipose tissue: a brief review of etiology, association with physical function and weight loss in older adults. Ann Geriatr Med Res 2019; 23: 3-8.
4. Dubé JJ, Amati F, Stefanovic-Racic M, Toledo FG, Sauers SE, Goodpaster BH. Exercise-induced alterations in intramyocellular lipids and insulin resistance: the athlete's paradox revisited. Am J Physiol-Endocrinol Metab 2008; 294: E882-E8. P
5. Kiens B, Essen-Gustavsson B, Christensen N, Saltin B. Skeletal muscle substrate utilization during submaximal exercise in man: effect of endurance training. The Journal of physiology 1993; 469: 459-78.

6. Phillips S, Green H, Tarnopolsky M, Heigenhauser G, Hill R, Grant S. Effects of training duration on substrate turnover and oxidation during exercise. J Appl Physiol 1996; 81: 2182-91.
7. Pruchnic R, Katsiaras A, He J, Kelley DE, Winters C, Goodpaster BH. Exercise training increases intramyocellular lipid and oxidative capacity in older adults. Am J Physiol-Endocrinol Metab 2004; 287: E857-E62.
8. Tarnopolsky MA, Rennie CD, Robertshaw HA, Fedak-Tarnopolsky SN, Devries MC, Hamadeh MJ. Influence of endurance exercise training and sex on intramyocellular lipid and mitochondrial ultrastructure, substrate use, and mitochondrial enzyme activity. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology 2007; 292: R1271-R8.
9. Solomon TP, Sistrun SN, Krishnan RK, Del Aguila LF, Marchetti CM, O'Carroll SM, et al. Exercise and diet enhance fat oxidation and reduce insulin resistance in older obese adults. J Appl Physiol 2008; 104: 1313-9.
10. Bruce CR, Thrush AB, Mertz VA, Bezaire V, Chabowski A, Heigenhauser GJ, et al. Endurance training in obese humans improves glucose tolerance and mitochondrial fatty acid oxidation and alters muscle lipid content. Am J Physiol-Endocrinol Metab 2006; 291: E99-E107.
11. Bruce C, Kriketos A, Cooney G, Hawley J. Disassociation of muscle triglyceride content and insulin sensitivity after exercise training in patients with Type 2 diabetes. Diabetologia 2004; 47: 23-30.
12. Bergman B, Butterfield G, Wolfel E, Casazza G, Lopaschuk G, Brooks G. Evaluation of exercise and training on muscle lipid metabolism. Am J Physiol-Endocrinol Metab 1999; 276: E106-E17.
13. Alsted TJ, Nybo L, Schweiger M, Fledelius C, Jacobsen P, Zimmermann R, et al. Adipose triglyceride lipase in human skeletal muscle is upregulated by exercise training. Am J Physiol-Endocrinol Metab 2009; 296: E445-E53.
14. Gan SK, Kriketos AD, Ellis BA, Thompson CH, Kraegen EW, Chisholm DJ. Changes in aerobic capacity and visceral fat but not myocyte lipid levels predict increased insulin action after exercise in overweight and obese men. Diabetes Care 2003; 26: 1706-13.
15. Helge JW, Dela F. Effect of training on muscle triacylglycerol and structural lipids: a relation to insulin sensitivity? Diabetes 2003; 52: 1881-7.
16. Hurley B, Nemeth P, Martin 3rd W, Hagberg J, Dalsky G, Holloszy J. Muscle triglyceride utilization during exercise: effect of training. J Appl Physiol 1986; 60: 562-7.
17. Wan X, Wang W, Liu J, Tong T. Estimating the sample mean and standard deviation from the sample size, median, range and/or interquartile range. BMC Med Res Methodol 2014; 14: 135.
18. Hozo SP, Djulbegovic B, Hozo I. Estimating the mean and variance from the median, range, and the size of a sample. BMC Med Res Methodol 2005; 5: 13.
19. De Morton NA. The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: a demographic study. Aust J Physiother 2009; 55: 129-33.
20. Brennan AM, Standley RA, Anthony SJ, Grench KE, Helbling NL, DeLany JP, et al. Weight Loss and Exercise Differentially Affect Insulin Sensitivity, Body Composition, Cardiorespiratory Fitness, and Muscle Strength in Older Adults With Obesity: A Randomized Controlled Trial. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 2022; 77: 1088-97.
21. Goodpaster BH, Chomentowski P, Ward BK, Rossi A, Glynn NW, Delmonico MJ, et al. Effects of physical activity on strength and skeletal muscle fat infiltration in older adults: a randomized controlled trial. J Appl Physiol 2008; 105: 1498-503.
22. Avila JJ,Gutierres JA, Sheehy ME, Lofgren IE, Delmonico MJ. Effect of moderate intensity resistance training during weight loss on body composition and physical performance in overweight older adults. Eur J Appl Physiol 2010; 109: 517-25.
23. Ku YH, Han KA, Ahn H, Kwon H, Koo BK, Kim HC, et al. Resistance Exercise Did Not Alter Intramuscular Adipose Tissue but Reduced Retinol-binding Protein-4 Concentration in Individuals with Type 2 Diabetes Mellitus. J Int Med Res 2010; 38: 782-91.
24. Ghasemikaram M, Chaudry O, Nagel AM, Tider M, Jakob F, Kemmler W, et al. Effects of 16 months of high intensity resistance training on thigh muscle fat infiltration in elderly men with osteosarcopenia. GeroScience 2021; 43: 607-17.
25. Ikenaga M, Yamada Y, Kose Y, Morimura K, Higaki Y, Kiyonaga A, et al. Effects of a 12-week, short-interval, intermittent, low-intensity, slow-jogging program on skeletal muscle, fat infiltration, and fitness in older adults: randomized controlled trial. Eur J Appl Physiol 2017; 117: 7-15.
26. Durheim MT, Slentz CA, Bateman LA, Mabe SK, Kraus WE. Relationships between exercise-induced reductions in thigh intermuscular adipose tissue, changes in lipoprotein particle size, and visceral adiposity. Am J Physiol-Endocrinol Metab 2008; 295: E407-E12.
27. Ogawa M, Belavý DL, Yoshiko A, Armbrecht G, Miokovic T, Felsenberg D, et al. Effects of 8 weeks of bed rest with or without resistance exercise intervention on the volume of the muscle tissue and the adipose tissues of the thigh. Physiol Rep 2020; 18: e14560.
28. Ryan AS, Harduarsingh-Permaul AS. Effects of weight loss and exercise on trunk muscle composition in older women. Clin Interv Aging 2014; 9: 395-402.
29. Seo MW, Jung SW, Kim SW, Lee JM, Jung HC, Song JK. Effects of 16 Weeks of Resistance Training on Muscle Quality and Muscle Growth Factors in Older Adult Women with Sarcopenia: A Randomized Controlled Trial. Int J Environ Res Public Health 2021; 18: 6762
30. Aas SN, Breit M, Karsrud S, Aase OJ, Rognlien SH, Cumming KT, et al. Musculoskeletal adaptations to strength training in frail elderly: a matter of quantity or quality? J Cachexia Sarcopenia Muscle 2020; 11: 663-77.
31. Wochner R, Clauss D, Nattenmüller J, Tjaden C, Bruckner T, Kauczor HU, et al. Impact of progressive resistance training on CT quantified muscle and adipose tissue compartments in pancreatic cancer patients. PLoS One 2020; 15: e0242785.
32. Gacesa JZP, Dusko KB, Grujic NG. Triceps Brachii Strength and Regional Body Composition Changes After Detraining Quantified by MRI. J Magn Reson Imaging 2011; 33: 1114-20.
33. Gacesa JZP, Secher NH, Momcilovic M, Grujic NG. Association between intramuscular fat in the arm following arm training and INSIG2. Scand J Med Sci Sports 2014; 24: 907-12.
34. Jacobs JL, Marcus RL, Morrell G, LaStayo P. Resistance Exercise with Older Fallers: Its Impact on Intermuscular Adipose Tissue. Biomed Res Int 2014: 2014: 398960.

35. Konopka AR, Wolff CA, Suer MK, Harber MP. Relationship between intermuscular adipose tissue infiltration and myostatin before and after aerobic exercise training. Am J Physiol-Regul Integr Comp Physiol 2018; 315: R461-R468.
36. Lee S, Libman I, Hughan K, Kuk JL, Jeong JH, Zhang D, et al. Effects of Exercise Modality on Insulin Resistance and Ectopic Fat in Adolescents with Overweight and Obesity: A Randomized Clinical Trial. J Pediatr 2019; 206: 91-98.e1.
37. Yao L, Delmonico MJ, Roth SM, Hand BD, Johns J, Conway J, et al. Adrenergic receptor genotype influence on midthigh intermuscular fat response to strength training in middle-aged and older adults. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 2007; 62: 658-63.
38. Ogawa M, Hashimoto Y, Mochizuki Y, Inoguchi T, Kouzuma A, Deguchi M, et al. Effects of free weight and body mass-based resistance training on thigh muscle size, strength and intramuscular fat in healthy young and middle-aged individuals. Exp Physiol 2023; 108: 975-85.
39. Marcus RL, Smith S, Morrell G, Addison O, Dibble LE, Wahoff-Stice D, et al. Comparison of Combined Aerobic and High-Force Eccentric Resistance Exercise With Aerobic Exercise Only for People With Type 2 Diabetes Mellitus. Phys Ther 2008; 88: 1345-54.
40. Nicklas BJ, Chmelo E, Delbono O, Carr JJ, Lyles MF, Marsh AP. Effects of resistance training with and without caloric restriction on physical function and mobility in overweight and obese older adults: a randomized controlled trial. Am J Clin Nutr 2015; 101: 991-9.
41. Bruseghini P, Capelli C, Calabria E, Rossi AP, Tam E. Effects of High-Intensity Interval Training and Isoinertial Training on Leg Extensors Muscle Function, Structure, and Intermuscular Adipose Tissue in Older Adults. Front Physiol 2019; 10: 1260.
42. Santanasto AJ, Newman AB, Strotmeyer ES, Boudreau RM, Goodpaster BH, Glynn NW. Effects of changes in regional body composition on physical function in older adults: A pilot randomized controlled trial. J Nutr Health Aging 2015; 19: 913-21.
43. Copas J, Shi JQ. Meta-analysis, funnel plots and sensitivity analysis. Biostatistics 2000; 1: 247-62.
44. Egger M, Smith GD, Schneider M, Minder C. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. BMJ 1997; 315: 629-34.
45. van Loon LJ. Use of intramuscular triacylglycerol as a substrate source during exercise in humans. J Appl Physiol 2004; 97: 1170-87.
46. Watt MJ, Heigenhauser GJ, Spriet LL. Intramuscular triacylglycerol utilization in human skeletal muscle during exercise: is there a controversy? J Appl Physiol 2002; 93: 1185-95.
47. Koh HCE, Nielsen J, Saltin B, Holmberg HC, Ørtenblad N. Pronounced limb and fibre type differences in subcellular lipid droplet content and distribution in elite skiers before and after exhaustive exercise. J Physiol 2017; 595: 5781-95.
48. Chee C, Shannon CE, Burns A, Selby AL, Wilkinson D, Smith K, et al. Relative contribution of intramyocellular lipid to whole-body fat oxidation is reduced with age but subsarcolemmal lipid accumulation and insulin resistance are only associated with overweight individuals. Diabetes 2016; 65: 840-50.
49. Shaw CS, Swinton C, Morales-Scholz MG, McRae N, Erftemeyer T, Aldous A, et al. Impact of exercise training status on the fiber type-specific abundance of proteins regulating intramuscular lipid metabolism. J Appl Physiol 2020; 128: 379-89.
50. De Bock K, Richter E, Russell A, Eijnde B, Derave W, Ramaekers M, et al. Exercise in the fasted state facilitates fibre type-specific intramyocellular lipid breakdown and stimulates glycogen resynthesis in humans. J Physiol 2005; 564: 649-60.
51. Schiaffino S, Reggiani C. Fiber types in mammalian skeletal muscles. Physiol Rev 2011; 91: 1447-531.
52. Irrcher I, Adhihetty PJ, Joseph A-M, Ljubicic V, Hood DA. Regulation of mitochondrial biogenesis in muscle by endurance exercise. Sports Med 2003; 93: 783-93.
53. Bruce CR, Brolin C, Turner N, Cleasby ME, van der Leij FR, Cooney GJ, et al. Overexpression of carnitine palmitoyltransferase I in skeletal muscle in vivo increases fatty acid oxidation and reduces triacylglycerol esterification. Am J Physiol Endocrinol Metab 2007; 292: E1231-E7.
54. Coen PM, Dubé JJ, Amati F, Stefanovic-Racic M, Ferrell RE, Toledo FG, et al. Insulin resistance is associated with higher intramyocellular triglycerides in type I but not type II myocytes concomitant with higher ceramide content. Diabetes 2010; 59: 80-8.
55. Goodpaster BH, Wolfe RR, Kelley DE. Effects of obesity on substrate utilization during exercise. Obes Res 2002; 10: 575-84.
56. Argentino DP, Dominici FP, Al-Regaiey K, Bonkowski MS, Bartke A, Turyn D. Effects of long-term caloric restriction on early steps of the insulin-signaling system in mouse skeletal muscle. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 2005; 60: 28-34.

Review Article

The Effect of Exercise Training on Intramuscular Adipose Tissue in Individuals with and without Chronic Diseases: A Systematic Review and Meta-analysis

Ebadi B[1], Khalafi M[2], Delavari MA[1], Shahabpour E[1]

[1]Department of Sport Sciences, Faculty of Humanities Sciences, University of Hormozgan, Hormozgan, Iran.
[2]Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Humanities, University of Kashan, Kashan, I.R. Iran.

e-mail: b.ebadi@hormozgan.ac.ir

Received: 15/11/2023 **Accepted:** 05/05/2024

Abstract

Introduction: Fat infiltration into the muscles and the accumulation of intramuscular adipose tissue (IMAT) are associated with the development of insulin resistance, which tends to increase with aging and metabolic disorders. In contrast, exercise training may lead to a decrease in IMAT. Therefore, the present meta-analysis aims to investigate the effect of exercise training on IMAT in individuals with various health conditions and ages. Materials and Method: A comprehensive search was conducted in the Web of Science, Scopus, and PubMed databases from their inception to October13 2023. The inclusion criteria for the meta-analysis included studies investigating the effect of exercise training with an intervention lasting more than two weeks, measuring IMAT values, involving human subjects of any gender, age, or health status. Standardized mean difference (SMD) and 95% confidence intervals (CIs) were used to calculate the effect size using random-effect model. Results: Thirty-four interventions derived from a total of 24 studies comprising 1091 subjects were included in the present meta-analysis. The results showed that exercise significantly reduced IMAT tissue with a large effect size [(SMD= -0.67), CI= 0.42 to 0.93]. Additionally, body weight, body fat percentage, and blood glucose levels significantly decreased. Conclusion: These findings suggest that regardless of the type of exercise, health status, and age of subjects, exercise training is an effective intervention to reduce IMAT, which may play effective significant role in improving metabolic status.

Keywords: Exercise training, Intramuscular adipose tissue, Chronic diseases