Journal of Sport and Exercise Physiology
2023, 16(2): 105-120

Review Article

# The effect of resistance training on endothelial function in young and older with chronic diseases and those with health conditions: a systematic review and meta-analysis

Musa Khalafi[*1], Pejman Taghibeikzadehbadr[2], Behzad Aria[3], Zahra Mohammadi[4]

1 Department of Physical Education and Sports Sciences, Faculty of Humanities, University of Kashan, Kashan, Iran.
2 Department of Sports Physiology, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran
3 Department of Physical Education and Sports Science, School of Psychology and Educational Sciences, Yazd University, Yazd, Iran
4 Department of Cell and Molecular Biology Faculty, Science and Research Branch, Islamic Azad University، Tehran, Iran

**Abstract**

**Background and Purpose:** Endothelial dysfunction plays an important role in the development of cardiovascular diseases. Exercise training may lead to improved endothelial function. However, the effect of resistance training on endothelial function is not clearly understood. In addition, the age and health status of individuals may also play a role in endothelial function, and these factors have not been investigated in response to resistance training. Therefore, the aim of the present meta-analysis is to investigate the effect of resistance training on endothelial function in young and older adults with and without chronic diseases.

**Materials and Methods:** Main databases including PubMed and Web of Science were searched through January 13, 2023, for resistance training studies on the flow mediated dilation (FMD) index. The inclusion criteria for the current research included studies with an exercise training group, human subjects with an average age older than 18 years, measuring endothelial function using FMD, and published in English and Persian language journals. Weighted mean difference (WMD) and 95% confidence interval were used to determine the effect size using CMA2 software. The level of heterogeneity was assessed using the I2 test and the publication bias was also assessed with Egger's test. Subgroup analyses were performed for age (older adults including people over 50 years old and young adults including people under 50 years old), health status (with chronic disease and healthy), and type of study (one-group and two-group). All analyzes were performed using CMA2 software.

**Results:** Twenty-one studies including 701 participants were included in the meta-analysis. The results of data analysis showed that resistance training resulted in a significant increase in FMD [2.07, (CI: 1.26 to 2.88) P=0.001]. Examination of heterogeneity using the I2 test showed that there was a significant heterogeneity (I2=82.92, p=0.001), while Egger's test results (P=0.73) did not confirm the publication bias. Subgroup analysis based on age showed that resistance training in both groups of young [WMD: 2.06, P=0.001] and older [WMD: 1.87, P=0.001] individuals leads to an increase in FMD. In addition, resistance training in both groups of healthy [WMD: 1.770 P=0.001] and patients [WMD: 2.406 P=0.001] individuals lead to an increase in FMD. In addition, the analysis based on the type of study showed that FMD is increased in both single-group [WMD: 1.18, P=0.029] and two-group [WMD: 2.51, P=0.001] studies.

**Conclusion:** In general, the findings of the present meta-analysis show that resistance training is an effective exercise intervention for improving endothelial function, whose beneficial effects occur independent of the age and health status of adults. Therefore, resistance training should be included in the exercise program for adults.

**Keywords:** Resistance training, Endothelial function, Cardiovascular disease, FMD

**How to cite this article:** Khalafi M, Taghibeikzadehbadr P, Aria B, Mohammadi Z. The effect of resistance training on endothelial function in young and older adults with and without chronic diseases: a systematic review and meta-analysis. J Sport Exerc Physiol. 2023; 16(2): 105-120.

*Corresponding Author's E-mail: mousa.khalafi@kashanu.ac.ir
https://doi.org/10.48308/joeppa.2023.103589

Received: 04/03/2023 Revised: 06/05/2023 Accepted: 08/05/2023

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی
۱۴۰۲/ دوره ۱۶/ شماره ۲/ صفحه‌های ۱۰۵-۱۲۰

مقاله مروری

# تأثیر تمرین مقاومتی بر عملکرد اندوتلیال در بزرگسالان سالمند و جوان با بیماری‌های مزمن و سالم: مروری نظام‌مند و فراتحلیل

موسی خلفی*[۱]، پژمان تقی بیک‌زاده بدر[۲]، بهزاد آریا[۳]، زهرا محمدی[۴]

۱. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
۲. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکدهٔ روانشناسی و علوم تربیتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۴. گروه زیست‌شناسی سلولی و مولکولی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

## چکیده

**زمینه و هدف:** اختلال در عملکرد اندوتلیال نقش مهمی در توسعهٔ بیماری‌های قلبی- عروقی ایفا می‌کند. تمرینات ورزشی ممکن است به بهبود عملکرد اندوتلیال منجر شود. با این همه تأثیر تمرین مقاومتی بر عملکرد اندوتلیال به‌وضوح شناخته نشده است. افزون‌بر این سن و وضعیت سلامت افراد نیز ممکن است در عملکرد اندوتلیال نقش داشته باشد که این عوامل نیز در پاسخ اندوتلیال به تمرین مقاومتی بررسی نشده است. ازاین‌رو هدف فراتحلیل حاضر بررسی تأثیر تمرین مقاومتی بر عملکرد اندوتلیال در بزرگسالان سالمند و جوان دارای بیماری‌های مزمن و سالم است.

**مواد و روش‌ها:** جست‌وجو در پایگاه‌های اطلاعاتی اصلی شامل پاب مد و وب او ساینس تا تاریخ ۲۳ دی ۱۴۰۱ (۱۳ ژانویهٔ ۲۰۲۳) برای مطالعات تمرین مقاومتی بر روی شاخص FMD صورت گرفت. معیارهای ورود به پژوهش شامل مطالعات دارای گروه تمرین ورزشی، آزمودنی انسان با میانگین سن بزرگ‌تر از ۱۸ سال، اندازه‌گیری عملکرد اندوتلیال با استفاده از FMD و چاپ‌شده در نشریه‌های انگلیسی‌زبان بود. تفاوت میانگین وزنی (WMD) و فاصلهٔ اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار CMA2 به‌منظور تعیین اندازهٔ اثر استفاده شد. سطح ناهمگونی با استفاده از آزمون $I^2$ و سوگیری انتشار نیز با آزمون Egger بررسی شد. همچنین تحلیل زیرگروهی برای سن (بزرگسال سالمند شامل افراد بالای ۵۰ سال و بزرگسالان جوان شامل افراد کمتر از ۵۰ سال)، وضعیت سلامتی (دارای بیماری مزمن و سالم) و نوع مطالعه (تک‌گروهی و دوگروهی) انجام گرفت. همهٔ تحلیل‌ها با استفاده نرم‌افزار CMA2 انجام پذیرفت.

**نتایج:** ۲۱ تحقیق شامل ۷۰۱ آزمودنی وارد فراتحلیل شدند. نتایج تحلیل داده‌ها نشان داد که تمرین مقاومتی به افزایش معناداری FMD منجر شد [P=۰/۰۰۱، (۱/۲۶ تا ۲/۸۸ :CI) ۲/۰۷]. بررسی ناهمگونی با استفاده از آزمون $I^2$ نشان داد که ناهمگونی معناداری وجود داشت (PT=۰/۰۰۱، $I^2$= ۸۲/۹۲)، درحالی‌که نتایج آزمون Egger (P=۰/۷۳) سوگیری انتشار را تأیید نکرد. تحلیل زیرگروهی بر اساس سن نشان داد که تمرین مقاومتی در هر دو گروه افراد جوان [P=۰/۰۰۱، WMD: ۲/۰۶] و سالمند [P=۰/۰۰۱، WMD: ۱/۸۷] به افزایش FMD منجر می‌شود. همچنین تمرین مقاومتی در هر دو گروه افراد سالم [P=۰/۰۰۱، WMD: ۱/۷۷] و بیمار [P=۰/۰۰۱، WMD: ۲/۴۰] به افزایش FMD منجر می‌شود. افزون‌بر این تحلیل بر اساس نوع پژوهش نشان داد که مقادیر FMD در هر دو مطالعات تک‌گروهی [P=۰/۰۲۹، WMD: ۱/۱۸] و دوگروهی [P=۰/۰۰۱، WMD: ۲/۵۱] افزایش می‌یابد.

**نتیجه‌گیری:** به‌طور کلی یافته‌های فراتحلیل حاضر نشان می‌دهد که تمرین مقاومتی مداخلهٔ ورزشی مؤثری برای بهبود عملکرد اندوتلیال است که تأثیرات مفید آن مستقل از سن و وضعیت سلامت آزمودنی‌ها اتفاق می‌افتد. ازاین‌رو تمرین مقاومتی باید در برنامهٔ تمرین ورزشی بزرگسالان گنجانده شود.

**واژه‌های کلیدی:** تمرین مقاومتی، عملکرد اندوتلیال، بیماری قلبی-عروقی، FMD

**نحوه استناد به این مقاله:** خلفی م، تقی بیک‌زاده بدر پ، آریا ب، محمدی ز. تأثیر تمرین مقاومتی بر عملکرد اندوتلیال در بزرگسالان سالمند و جوان با بیماری‌های مزمن و سالم: مروری نظام‌مند و فراتحلیل. نشریهٔ فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی.۱۴۰۲؛۱۶(۲):۱۰۵-۱۲۰.

* رایانامهٔ نویسندهٔ مسئول: mousa.khalafi@kashanu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۳ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۸

## مقدمه

اندوتلیوم نقش مهمی در تعدیل عملکرد عروقی با سنتز و آزاد کردن عوامل تنظیم‌کنندهٔ مشتق از اندوتلیوم، از جمله پروستاگلندین و نیتریک اکساید ایفا می‌کند. عملکرد نامناسب اندوتلیال اغلب به‌دلیل کاهش تولید یا عمل این تنظیم‌کننده‌هاست (۱،۲). شواهد علمی نشان داده‌اند که عملکرد طبیعی اندوتلیال برای اطمینان از حفظ شرایط مناسب عروقی ضروری است و اختلال در عملکرد اندوتلیال مشخصهٔ دامنهٔ گسترده‌ای از بیماری‌های قلبی- عروقی است (۱). در شرایط بالینی، ارزیابی عملکرد اندوتلیال با توجه به رابطهٔ آن با بیماری‌های قلبی- عروقی مورد توجه فزاینده‌ای قرار گرفته است. عملکرد اندوتلیال عروقی را می‌توان با استفاده از گشادشدگی عروقی حاصل از جریان خون (FMD) اندازه‌گیری کرد که بازتابی از گشادشدگی آندوتلیال وابسته به نیتریک اکساید در پاسخ به یک محرک ایسکمیک گذراست (۳). تحقیقات انجام‌گرفته نشان داده‌اند که افزایش یک درصدی در FMD می‌تواند به کاهش تا ۱۲ درصدی بیماری‌های قلبی- عروقی منجر شود (۴). ازاین‌رو FMD به‌عنوان عامل اصلی و مهم در توسعهٔ بیماری‌های قلبی- عروقی و همچنین هدف درمانی برای این بیماری‌ها معرفی شده است.

تمرینات ورزشی منظم نقش مؤثری در بهبود نشانگرهای سلامت قلبی- عروقی از جمله چربی احشایی، چربی کبدی، التهاب، شاخص‌های گلایسمی و همچنین عملکرد اندوتلیال دارد (۵-۸). از سویی تمرینات ورزشی منظم به بهبود عملکرد اندوتلیال و عروق منجر می‌شود (۴، ۹،۱۰). با این همه، آثار تمرینات ورزشی به مؤلفه‌های تمرین از جمله نوع تمرین ورزشی وابسته است که ممکن است به سازگاری‌های متفاوتی منجر شود (۱۱،۱۲). در پژوهش‌های متنوعی نشان داده شده است که تمرینات هوازی می‌تواند به بهبود عملکرد اندوتلیال منجر شود (۱۴،۱۳). در این زمینه، افزایش ۱/۴۵ درصدی در مقدار FMD پس از تمرین هوازی در بیماران با فشار خون بالا مشاهده شده است (۱۳). با وجود این تمرینات مقاومتی نیز روش تمرین مناسبی برای کاهش خطر بیماری‌های قلبی- عروقی به‌واسطهٔ بهبود عوامل خطرزای قلبی- عروقی مانند کاهش فشار خون، مقاومت به انسولین، تودهٔ چربی احشایی و همچنین عوامل التهابی است (۱۵-۱۸). از سوی دیگر، بهبود در عملکرد اندوتلیال در نتیجهٔ تمرین مقاومتی نیز ممکن است عامل مهمی در کاهش خطر بیماری‌های قلبی- عروقی باشد. ولی در مورد تمرینات مقاومتی با توجه به پژوهش‌های انجام‌گرفته اتفاق‌نظری در مورد تأثیرات آن بر عملکرد اندوتلیال به‌ویژه با توجه به سن و وضعیت سلامتی آزمودنی‌ها وجود ندارد (۱۹). یافته‌های متناقض در مورد اثر تمرین مقاومتی در چند پژوهش بر عملکرد اندوتلیال نشان از عدم تأثیر (۲۰) یا حتی اثر منفی (۲۱) بر عملکرد اندوتلیال داشت.

بر اساس نتایج فراتحلیل‌های پیشین تمرینات ورزشی به بهبود عملکرد اندوتلیال منجر می‌شوند. در همین زمینه، اخیراً خلفی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که تمرین تناوبی با شدت بالا به افزایش FMD به میزان ۳/۸ درصد در بزرگسالان با و بدون بیماری‌های مزمن منجر می‌شود (۷). در فراتحلیلی دیگر، گزارش شده است که تمرین مقاومتی ممکن است به بهبود عملکرد اندوتلیال در بزرگسالان منجر شود (۴). این احتمال وجود دارد که تمرین مقاومتی به‌واسطهٔ افزایش گذرا در فشار خون، ایجاد ایسکمی موضعی و همچنین ایجاد نوسانات تنش برشی (۲۲) به بهبود عملکرد اندوتلیال بینجامد. با این همه، سن و وضعیت سلامت آزمودنی‌ها نقش مهمی در سازگاری به تمرینات ورزشی ایفا می‌کند. بیماری‌های متابولیکی مانند دیابت، سندروم متابولیک و چاقی به اختلال در عملکرد اندوتلیال منجر می‌شوند. در این زمینه رابطهٔ قوی بین چاقی شکمی و گسترش مقاومت به انسولین با اختلال در عملکرد اندوتلیال گزارش شده است (۲۳،۲۴)، به‌طوری‌که مقاومت به انسولین با تأثیرات منفی بر عملکرد عروقی حتی در بیماران بدون بیماری عروق کرونر همراه است (۲۵). سن نیز به‌عنوان عامل مهمی در عملکرد اندوتلیال نقش دارد که ممکن است به‌واسطهٔ کاهش گشادشدگی وابسته به اندوتلیوم شریان محیطی در پاسخ به محرک‌های شیمیایی مانند استیل کولین یا محرک مکانیکی مانند نیروی برشی باشد (۲۶). همچنین کاهش فراهمی زیستی مولکول گشادکنندهٔ نیتریک اکسید سنتزشده از طریق اندوتلیوم در نتیجهٔ فشار اکسایشی سازوکار اصلی و مهم دیگر برای کاهش گشادشدگی وابسته به اندوتلیوم با افزایش سن است (۲۶). ازاین‌رو هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر تمرین مقاومتی بر شاخص FMD با مدنظر قرار دادن وضعیت

سلامت و سن آزمودنی‌ها بود.

## روش پژوهش

**روش اجرای پژوهش:** تحقیق حاضر بر اساس راهنمای کاکرین و شیوه‌نامهٔ موارد ترجیحی در گزارش مقالات مرور نظام‌مند و فراتحلیل (PRISMA) انجام گرفت (۲۷). به‌منظور استخراج مقالات اصیل، جست‌وجویی در پایگاه‌های اطلاعات الکترونیکی PubMed، Web of Science با استفاده از کلیدواژه‌های تمرین ورزشی، تمرین مقاومتی، اندوتلیال عروقی، ساختار عروقی و FMD از زمان شروع تا تاریخ ۲۳ دی ۱۴۰۱ (۱۳ ژانویهٔ ۲۰۲۳) انجام گرفت. جست‌وجوی انجام‌گرفته در پایگاه‌های اطلاعاتی محدود به مطالعات انسانی و زبان انگلیسی بود. کلیدواژه‌های به‌کار گرفته‌شده و نحوهٔ دقیق جست‌وجو برای استخراج مقالات از پایگاه‌های Medline از طریق PubMed به‌صورت زیر بود:

(StrengthtrainingORresistancetrainingORresistance exerciseORstrengthexerciseORweighttraining) AND("brachialartery," "brachialarterydilation," "lowmediateddilation," "endothelialfunction," "endothelium," "arterybloodflow," "arterydilation," "flow-mediated," "flow-mediated," "vascular," "vascular endothelium," "vascular reactivity," and "vasodilation")

افزون‌بر این، جست‌وجوی دستی با استفاده از موتور جست‌وجوی Google scholar انجام گرفت. فهرست منابع مقالات استخراج‌شده نیز مورد جست‌وجوی دستی قرار گرفت. همهٔ مراحل جست‌وجوی مقالات به‌صورت مستقل توسط دو نفر از نویسندگان (م.خ و پ.ت) انجام گرفت و هر نوع اختلاف‌نظر از طریق مشورت با نفر سوم (ب، الف) حل شد.

معیارهای انتخاب مقاله: معیارهای ورود به پژوهش شامل موارد زیر بود: الف) مقالات چاپ‌شده در مجلات انگلیسی‌زبان، ب) پژوهش انسانی روی افراد بزرگ‌تر از ۱۸ سال، ج) بررسی اثر تمرین مقاومتی با طول مداخلهٔ بیشتر از دو هفته، د) اندازه‌گیری عملکرد اندوتلیال با استفاده از FMD. در مورد نوع تحقیقات، مطالعات دوگروهی تمرین مقاومتی در برابر کنترل یا تک‌گروهی دارای گروه تمرین مقاومتی وارد تحقیق حاضر شدند. در خصوص آزمودنی‌ها بدون هیچ محدودیتی افراد بالای ۱۸ سال وارد پژوهش شدند. در خصوص تمرین ورزشی، هر نوع تمرین مقاومتی از جمله تمرین ایزومتریک، تمرین مقاومتی سنتی، تمرین با کتل بال، تمرین با کش های مقاومتی وارد پژوهش حاضر شدند. در مورد شدت تمرینات انجام‌گرفته محدودیتی در پژوهش حاضر در نظر گرفته نشد. معیارهای خروج از پژوهش شامل تحقیقات انجام‌گرفته روی نمونه‌های غیرانسانی، مقالات غیراصیل شامل مقالات مروری و فراتحلیل، مطالعاتی انجام‌گرفته با محدودیت جریان خون و مداخلات دارویی همراه با تمرین مقاومتی و مطالعات انجام‌گرفته با ویبریشن بود. فرایند بررسی مقالات شامل بررسی مقالات بر اساس عنوان و چکیده و همچنین بررسی کامل مقالات بر اساس معیارهای ورود و خروج پژوهش توسط دو نویسنده (م.خ و پ.ت) به‌صورت مستقل انجام گرفت و هر نوع اختلاف‌نظر از طریق مشورت با نویسندهٔ سوم (ب، الف) حل شد.

استخراج داده‌ها: داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز از هریک از مقالات استخراج شد. این داده‌ها و اطلاعات مشتمل بر موارد زیر بود: الف) ویژگی پژوهش شامل نوع مطالعه و حجم نمونه، ب) ویژگی آزمودنی‌ها شامل جنسیت، وضعیت سلامت، سن و BMI، ج) ویژگی برنامهٔ تمرین مقاومتی شامل نوع تمرین، طول تمرین، تعداد جلسات و شدت و مدت هر جلسهٔ تمرین، د) مقادیر FMD. همچنین به‌منظور محاسبهٔ اندازهٔ اثر، داده‌های مربوط به FMD شامل میانگین و انحراف استاندارد برای هر دو گروه تمرین و کنترل در دو مرحلهٔ پیش‌آزمون و پس‌آزمون، استخراج شد. برای مطالعات تک‌گروهی، تنها داده‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون گروه تمرین استخراج شد. در صورت نبود داده‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون، از میانگین تغییرات (پس‌آزمون-پیش‌آزمون) و انحراف استاندارد مربوط استفاده شد. استخراج داده‌ها توسط دو نویسنده (م.خ و پ.ت) به‌صورت مستقل انجام گرفت و هر نوع اختلاف‌نظر از طریق مشورت با یکدیگر حل شد.

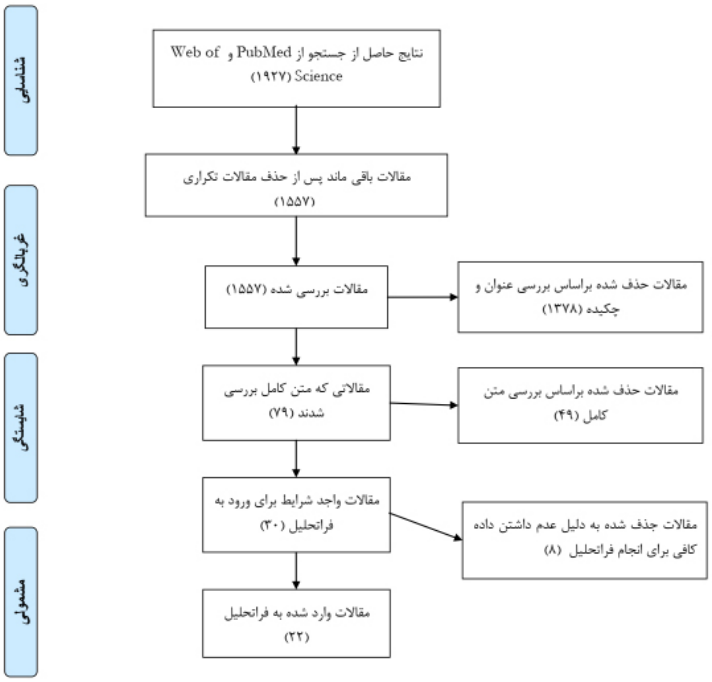
بررسی کیفیت تحقیقات: به‌منظور ارزیابی کیفیت مطالعات واردشده به پژوهش از فهرست Pedro استفاده شد که ابزاری معتبر برای مطالعات بالینی است (۲۸). این ابزار شامل ۱۱ معیار است. با توجه به اینکه معیار کور کردن شرکت‌کنندگان و کور کردن مداخله‌گر برای مداخلات ورزشی قابل اجرا نبود، از ارزیابی کنار گذاشته

شدند. بنابراین ارزیابی کیفیت مطالعات با استفاده از نه معیار انجام گرفت که دارای دامنهٔ امتیاز صفر تا نه به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ کیفیت پایین و کیفیت بالا برای مطالعات بود. معیارهای ارزیابی در جدول ۲ ارائه شده است. ارزیابی کیفیت تحقیقات توسط دو نویسنده (م.خ و پ.ت) به‌صورت مستقل انجام گرفت و هر نوع اختلاف‌نظر از طریق مشورت با یکدیگر حل شد.

**تحلیل آماری:** فراتحلیل حاضر به‌منظور بررسی اثر تمرین مقاومتی بر FMD انجام گرفت. با توجه به گزارش مقادیر FMD با واحد یکسان، برای محاسبهٔ اندازه از تفاوت میانگین وزنی WMD و فاصلهٔ اطمینان ۹۵ درصد (CIs) با استفاده از مدل اثر تصادفی صورت گرفت. تفسیر اندازهٔ اثر بر اساس شیوه‌نامهٔ کاکرین به شرح زیر صورت گرفت: صفر تا ۰/۱۹، ۰/۲ تا ۰/۴۹، ۰/۵ تا ۰/۷۹ و ۰/۸ و بزرگ‌تر از ۰/۸ به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ اندازهٔ اثر خفیف، کوچک، متوسط و بزرگ بود. به‌منظور بررسی ناهمگونی (عدم تجانس) از آزمون $I^2$ استفاده شد که تفسیر آن بر اساس شیوه‌نامهٔ کاکرین به‌صورت زیر انجام گرفت: کمتر از ۲۵ درصد، بیشتر از ۲۵ درصد، بیشتر از ۵۰ درصد و بیشتر از ۷۵ درصد به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ ناهمگونی خفیف، ناهمگونی کم، ناهمگونی متوسط و ناهمگونی بالا بود. بررسی سوگیری انتشار با استفاده از تحلیل بصری فونل پلات (با اضافه شدن یا نشدن مطالعات به سمت چپ و راست منحنی) و همچنین آزمون Egger به‌عنوان تعیین‌کنندهٔ ثانویه صورت گرفت، که سطح معناداری برای آزمون Egger $p<0/1$ در نظر گرفته شد. افزون‌بر این، با توجه به اهداف تحقیق حاضر، تحلیل زیرگروهی بر اساس وضعیت سلامت (افراد سالم و افراد با بیماری‌های مزمن)، سن (افراد مسن و افراد جوان) و نوع مطالعه (تک‌گروهی و دوگروهی) صورت گرفت. همهٔ آزمون‌ها با استفاده از نرم‌افزار CMA2 صورت گرفت.

## نتایج

جست‌وجو: بر اساس جست‌وجو در پایگاه‌های اطلاعاتی، ۹۵۶ مقاله از پاب مد و ۹۷۱ مقاله از وب او ساینس به‌دست آمد که پس از حذف مقالات تکراری، ۱۵۵۷ مقاله برای بررسی‌های بیشتر باقی ماندند. پس از بررسی مقالات بر اساس عنوان و چکیده، ۷۹ مقاله به‌منظور مطالعه متن کامل انتخاب شدند. پس از بررسی متن کامل مقالات، در نهایت ۲۱ مقاله وارد فرایند فراتحلیل شدند (۱۹، ۲۰، ۲۹-۴۷) و ۵۸ مقاله حذف شدند. همهٔ مطالعات واردشده به پژوهش دارای گروه‌های تمرین مقاومتی تنها (۱۹، ۲۰، ۲۹، ۳۹، ۴۱، ۴۲، ۴۵) یا گروه‌های تمرین مقاومتی در برابر گروه کنترل بودند. همچنین از بین تحقیقات واردشده، یک مطالعه دارای بیش از یک گروه تمرین ورزشی بودند (۳۷) که مداخلات تمرین مقاومتی به‌صورت مجزا وارد فرا تحلیل شد. بنابراین ۲۱ مطالعه دارای ۲۲ مداخلهٔ ورزشی مستقل وارد فراتحلیل حاضر شدند. اطلاعات کامل تحقیقات واردشده به پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.




**شکل ۱. نمودار جست‌وجو و انتخاب مقالات**

ویژگی آزمودنی‌ها: روی‌هم‌رفته ۷۰۱ آزمودنی در قالب ۲۱ مطالعه وارد پژوهش حاضر شدند. چهار مطالعه دارای آزمودنی زن (۳۰، ۳۶، ۳۸، ۴۸)، ۶ مطالعه دارای آزمودنی مرد (۱۹، ۲۹، ۳۵، ۳۷، ۴۵، ۴۹) و ۱۱ مطالعه دارای آزمودنی زن و مرد (۳۱، ۳۲، ۳۴، ۳۵، ۳۹-۴۲، ۴۶، ۴۷، ۵۰) بودند. محدودهٔ سنی و شاخص تودهٔ بدنی آزمودنی‌ها به‌ترتیب تقریباً از ۱۸ تا ۷۱ سال و ۲۲ تا ۳۵ کیلوگرم بر مترمربع بود. تحلیل زیرگروهی بر اساس وضعیت سلامت آزمودنی‌های صورت گرفت، به‌نحوی که آزمودنی‌های مبتلا به جمله دیابت نوع دو، چاقی، سندروم تخمدان پلی‌کیستیک، فشار خون بالا، شریان محیطی، سندروم متابولیکی به‌عنوان زیرگروه بیماران مزمن قرار گرفتند. همچنین یک تحقیق روی زنان یائسه انجام گرفته بود که با توجه به تأثیرات یائسگی بر افزایش اختلال عملکرد اندوتلیال این مطالعه نیز در زیرگروه بیماری مزمن قرار گرفت. بر این اساس، آزمودنی‌های واردشده به فراتحلیل حاضر افراد سالم (۱۹، ۲۹، ۳۴، ۳۵، ۳۷، ۳۹، ۴۱، ۴۲، ۴۵، ۴۸، ۵۰) و دارای بیماری‌های مزمن (۳۰، ۳۲، ۳۵، ۳۶، ۳۸، ۴۰، ۴۶، ۴۷) بودند. همچنین تحلیل زیرگروهی بر اساس سن آزمودنی برای افراد بزرگسال جوان (میانگین سنی کمتر از ۵۰ سال) و بزرگسال سالمند (میانگین سنی بزرگ‌تر مساوی ۵۰ سال) انجام گرفت که ۱۲ مطالعه در زیرگروه بزرگسال جوان (۱۹، ۲۹-۳۲، ۳۴، ۳۷، ۳۹، ۴۱، ۴۳-۴۵) و نه مطالعه در زیرگروه بزرگسال سالمند (۲۰، ۳۳، ۳۵، ۳۶، ۳۸، ۴۰، ۴۲، ۴۶، ۴۷) قرار گرفتند. جزئیات کاملی از ویژگی‌های آزمودنی‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. شیوه‌های تمرین مقاومتی: مطالعات واردشده به فراتحلیل حاضر، از انواع مختلف تمرین مقاومتی شامل تمرین مقاومتی پویا (۱۷ مطالعه) و تمرین مقاومتی ایستا (چهار مطالعه) استفاده کرده بودند. طول مداخلات تمرینی از چهار هفته تا یک سال بود که هشت هفته بیشترین استفاده را در بین مطالعات داشت. تعداد جلسات تمرینی در بیشتر مطالعات سه جلسه در هفته بود. جزئیات کامل برنامه‌های تمرینی در جدول ۱ آورده شده است.

فراتحلیل. ۲۱ مطالعه (شامل ۲۲ مداخلهٔ تمرین مقاومتی) برای بررسی اثر تمرینات مقاومتی بر روی FMD وارد فراتحلیل شدند. تحلیل داده‌ها نشان داد که تمرین مقاومتی اثر معناداری بر افزایش FMD در بزرگسالان دارد [P=۰/۰۰۱، (CI: ۲/۸۸۴ تا ۱/۲۶۷) ۲/۰۷] (شکل ۱). بررسی ناهمگونی با استفاده از آزمون $I^2$ نشان داد که ناهمگونی بالا و معناداری وجود دارد (P=۰/۰۰۱، $I^2$: ۸۲/۹۲۲). بررسی سوگیری انتشار با استفاده از تحلیل بصری فونل پلات نشان‌دهندهٔ سوگیری انتشار بود که یک مطالعه به سمت چپ منحنی اضافه کرد، درحالی‌که نتایج آزمون Egger (P=۰/۷۳) آن را تأیید نکرد.

**جدول ۱. ویژگی آزمودنی‌ها و شیوهٔ تمرینی**

| مطالعه (سال) | نمونه (جنسیت) | ویژگی آزمودنی‌ها | نوع تحقیق | سن (سال) | شاخص تودهٔ بدن (کیلوگرم بر مترمربع) | توصیف مداخلات تمرینی و کنترل | طول مداخله و نوع تمرین (جلسه در هفته) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| آلن و همکاران (۲۰۰۳) (۲۹) | ۱۴ (مرد) | مردان سالم | تمرین مقاومتی | ۲۶±۵/۷ | ۲۲±۱/۷ | ۶۰ درصد از انقباض بیشینه داوطلبانه چنگ زدن دست | چهار هفته تمرین مقاومتی (پنج جلسه) |
| آلمنینگ و همکاران (۲۰۱۵) (۳۰) | ۱۷ (زن) | زنان مبتلا به سندروم تخمدان پلی‌کیستیک | تمرین مقاومتی<br>گروه کنترل | ۲۷/۲±۵/۵ | ۲۶/۷±۶ | سه ست، هشت تکرار با ۷۵ درصد شدت بیشینه و یک دقیقه استراحت بین نوبت‌ها (هشت دستگاه)<br>گروه کنترل: به گروه کنترل توصیه شد که در هفته حدود ۱۵۰ دقیقه تمرین با شدت متوسط داشته باشند | ده هفته تمرین مقاومتی (سه جلسه) |
| بک و همکاران (۲۰۱۳) (۳۱) | ۳۰ (زن، مرد) | آزمودنی‌های سالم | تمرین مقاومتی<br>گروه کنترل | تمرین مقاومتی: ۲۱/۲±۱/۵۱<br>گروه کنترل: ۲۰/۱±۱/۱ | تمرین مقاومتی ۲۷/۵±۴/۱<br>گروه کنترل ۴±۲۷/۳ | تمرین مقاومتی: ۲ نوبت با ۸ تا ۱۲ تکرار تا خستگی ارادی، (هفت دستگاه)<br>گروه کنترل: بدون انجام حرکات ورزشی | هشت هفته تمرین مقاومتی و (سه جلسه) |
| بوئنو و همکاران (۲۰۲۰) (۳۲) | ۲۷ (زن، مرد) | بیماران مبتلا به فشار خون بالا | تمرین مقاومتی<br>گروه کنترل | ۳۰-۵۹ | تمرین مقاومتی ۳۱/۴±۵/۵<br>گروه کنترل ۳۵/۰±۳/۱ | تمرین مقاومتی: دو تا سه نوبت با هشت تا ۲۰ تکرار زیر بیشینه (هشت دستگاه)<br>گروه کنترل: بدون انجام حرکات ورزشی | ۱۲ هفته تمرین مقاومتی (۳ جلسه) |
| بویدن و همکاران (۲۰۲۱) (۱۹) | ۱۷ (مرد) | مردان جوان سالم | تمرین مقاومتی | ۲۱±۲ | ۲۴/۱±۳ | چهار نوبت، ده تکرار، ۸۰ درصد تکرار بیشینه، بین نوبت‌ها دو دقیقه ریکاوری | چهار هفته تمرین مقاومتی (سه جلسه) |
| کیسی و همکاران (۲۰۰۷) (۲۰) | ۱۳ (مرد) | زنان سالم بی‌تحرک پس از یائسگی | تمرین مقاومتی | ۵۸/۴±۱/۵ | ۲۵/۵±۳/۲ | ۱ نوبت با ۱۲ تکرار در شدت ۵۰ درصد یک تکرار بیشینه | ۱۸ هفته تمرین مقاومتی (دو جلسه) |

**ادامه جدول ۱. ویژگی آزمودنی‌ها و شیوهٔ تمرینی**

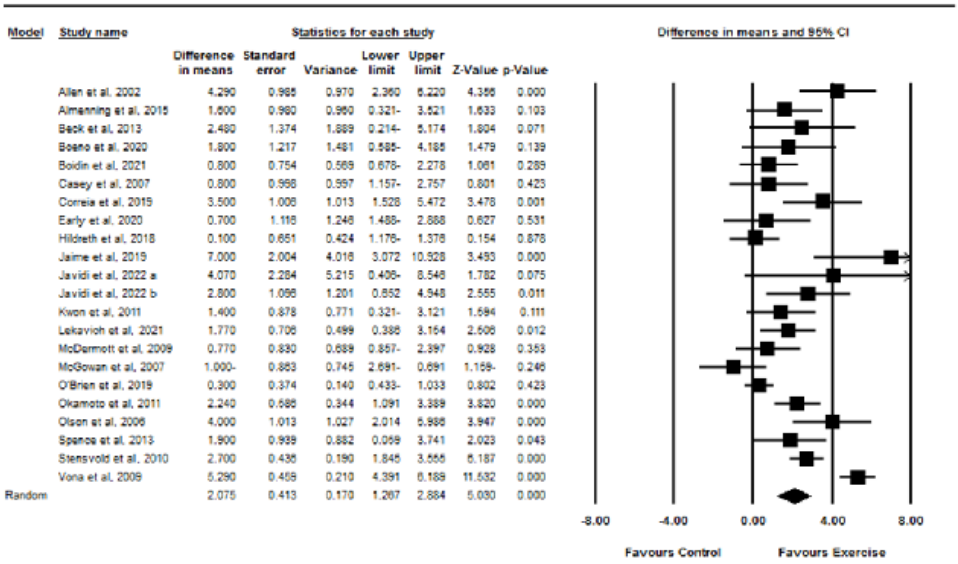
| مطالعه (سال) | نمونه (جنسیت) | ویژگی آزمودنی‌ها | نوع تحقیق | سن (سال) | شاخص تودهٔ بدن (کیلوگرم بر مترمربع) | توصیف مداخلات تمرینی و کنترل | طول مداخله و نوع تمرین (جلسه در هفته) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کوریا و همکاران (۲۰۲۰) (۳۳) | ۱۰۲ (زن، مرد) | بیماران با بیماری شریان محیطی | تمرین مقاومتی<br>گروه کنترل | تمرین مقاومتی: ۶۶±۱۲<br>گروه کنترل: ۶۶±۱۱ | تمرین مقاومتی ۲۷±۵<br>گروه کنترل ۲۶±۷ | چهار نوبت انقباض ایزومتریک به مدت دو دقیقه، با ۳۰ درصد حداکثر انقباض ارادی، و چهار دقیقه استراحت تناوبی بین نوبت‌ها<br>گروه کنترل: گروه کنترل یک توپ فشرده را به‌منظور شبیه‌سازی دارونما دریافت کرد | هشت هفته تمرین مقاومتی (سه جلسه) |
| ارلی و همکاران (۲۰۲۰) (۳۴) | ۲۰(زن،مرد) | آزمودنی‌های سالم | تمرین مقاومتی<br>گروه کنترل | تمرین مقاومتی: ۲۳±۳<br>گروه کنترل: ۲۳±۳ | تمرین مقاومتی ۸/۲±۲۷/۷<br>گروه کنترل ۱±۲۵/۴ | تمرین مقاومتی: سه نوبت، ۱۰ تکرار بیشینه برای هر دستگاه ، ۲ تا ۳ دقیقه استراحت بین نوبت‌ها<br>گروه کنترل: حفظ فعالیت بدنی نرمال | هشت هفته تمرین مقاومتی (سه جلسه) |
| هیلدرث و همکاران (۲۰۱۸) (۳۵) | ۴۰ (مرد) | مردان سالم | تمرین مقاومتی<br>گروه کنترل | ۶۶±۵ | ۹/۴±۲۸/۳ | سه نوبت با ۱۰ تا ۱۲ تکرار در ۵۰ تا ۶۰ درصد یک تکرار بیشینه، سپس افزایش بار به ۸۰ درصد با ۶تا ۸ تکرار در ۳ نوبت. | ۱۲ هفته (دو جلسه) |
| جیم و همکاران (۲۰۱۹) (۳۶) | ۲۰ (زن) | زنان یائسه | تمرین مقاومتی<br>گروه کنترل | تمرین مقاومتی: ۶۴±۱<br>گروه کنترل: ۶۷±۱ | تمرین مقاومتی ۲۴۶/۶±۰<br>گروه کنترل ۵/۹±۲۲/۰ | ۴۰ درصد یک تکرار بیشینه با هدف حداکثر ۱۵ تکرار | ۱۲ هفته (دو جلسه) |

**ادامه جدول ۱. ویژگی آزمودنی‌ها و شیوهٔ تمرینی**

| مطالعه (سال) | نمونه (جنسیت) | ویژگی آزمودنی‌ها | نوع تحقیق | سن (سال) | شاخص تودهٔ بدن (کیلوگرم بر مترمربع) | توصیف مداخلات تمرینی و کنترل | طول مداخله و نوع تمرین (جلسه در هفته) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| جاویدی و همکاران (۲۰۲۲) (۳۷) | ۳۰ (مرد) | آزمودنی‌های عادی | تمرین مقاومتی<br>گروه کنترل | ۴۶/۱±۶/۴ | گزارش نشده | تمرین مقاومتی (۱): هندگریپ با شدت ۶۰ درصد انقباض ارادی بیشینه<br>تمرین مقاومتی (۲): هندگریپ با شدت ۳۰ درصد انقباض ارادی بیشینه<br>گروه کنترل: فعالیت معمول زندگی | هشت هفته تمرین مقاومتی (سه جلسه) |
| کی وون و همکاران (۲۰۱۱) (۳۸) | ۲۷ (زن) | آزمودنی‌های مبتلا به دیابت نوع دو | تمرین مقاومتی<br>گروه کنترل | تمرین مقاومتی ۵۶/۶±۳/۱<br>گروه کنترل ۵۸/۹±۵/۷ | تمرین مقاومتی ۲۷/۲±۴/۱<br>گروه کنترل ۲۷±۲/۳ | تمرین مقاومتی: سه نوبت، ده تا ۱۵ تکرار با بندهای مقاومتی<br>گروه کنترل: فعالیت معمول زندگی بدون رژیم ورزشی خاص | تمرین مقاومتی: ۱۲ هفته (سه جلسه) |
| لکاویچ و همکاران (۲۰۲۱) (۳۹) | ۱۰ (زن، مرد) | آزمودنی‌های چاق و بی‌تحرک | تمرین مقاومتی | ۱۲±۴۷/۳ | ۲۹/۲±۳/۳ | ۳ نوبت، ۱۲ تا ۱۵ تکرار، ۷۰ تا ۸۵ درصد یک تکرار بیشینه | شش ماه (سه جلسه) |
| مک درموت و همکاران (۲۰۰۹) (۴۰) | ۱۰۵ (زن، مرد) | افراد با بیماری شریانی محیطی | تمرین مقاومتی<br>گروه کنترل | تمرین مقاومتی ۷۱/۸±۷/۷<br>گروه کنترل: ۶۸/۱۱±۵/۹ | تمرین مقاومتی ۳۰/۷±۴<br>گروه کنترل ۲۹/۷±۹/۱ | تمرین مقاومتی: سه نوبت، هشت تکرار (جلوپا، پرس پا و پشت‌پا)<br>گروه کنترل: شرکت در آموزش‌های تغذیه‌ای | ۲۴ هفته (سه جلسه) |
| مک گوان و همکاران (۲۰۰۷) (۴۱) | ۱۱ (زن، مرد) | افراد با فشار خون استراحتی عادی | تمرین مقاومتی | ۲۷/۱۴±۵/۲ | گزارش نشده | چهار نوبت دو دقیقه‌ای هندگریپ با انقباض ارادی ایزومتریک | هشت هفته تمرین (سه جلسه) |

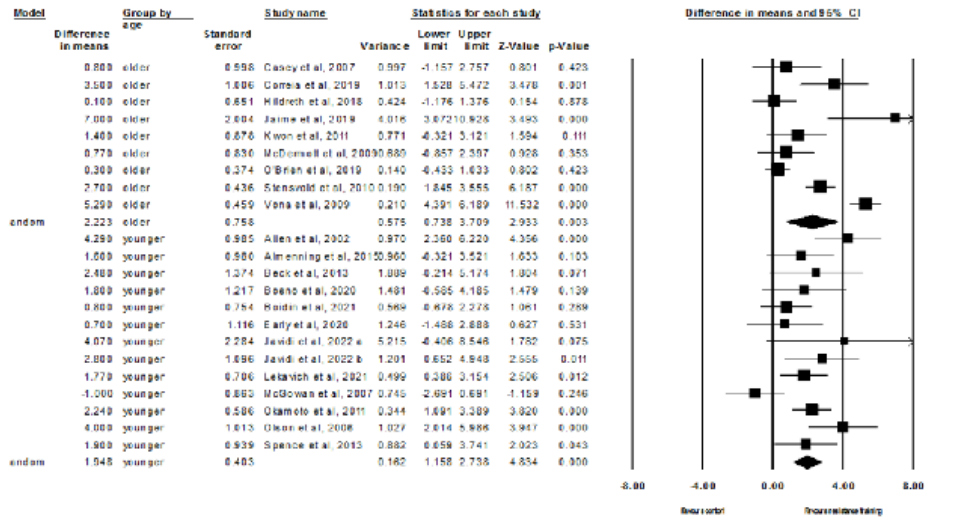
**ادامه جدول ۱. ویژگی آزمودنی‌ها و شیوهٔ تمرینی**

| مطالعه (سال) | نمونه (جنسیت) | ویژگی آزمودنی‌ها | نوع تحقیق | سن (سال) | شاخص تودهٔ بدن (کیلوگرم بر مترمربع) | توصیف مداخلات تمرینی و کنترل | طول مداخله و نوع تمرین (جلسه در هفته) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| اوبرین و همکاران (۲۰۲۰) (۴۲) | ۱۴ (زن، مرد) | آزمودنی‌های بزرگسال | تمرین مقاومتی | ۶۷±۶ | گزارش نشده | هشت دستگاه، دو نوبت، ده تکرار | گزارش نشده |
| اوکاموتو و همکاران (۲۰۱۱) (۴۳) | ۲۶ (زن، مرد) | آزمودنی‌های سالم | تمرین مقاومتی<br>گروه کنترل | تمرین مقاومتی ۱۸/۰±۵/۵<br>گروه کنترل ۱۸/۰±۶/۶ | تمرین مقاومتی ۲۳/۴±۳/۱<br>گروه کنترل ۲۲/۳±۷/۷ | تمرین مقاومتی: پنج نوبت، ده تکرار، ۵۰ درصد شدت یک تکرار بیشینه با ۳۰ ثانیه استراحت بین نوبت‌ها<br>گروه کنترل: انجام فعالیت روزمره بدون تمرینات خاص | ده هفته تمرین (دو جلسه) |
| اولسن و همکاران (۲۰۰۶) (۴۴) | ۳۰ (زن) | زنان دارای اضافه وزن | تمرین مقاومتی<br>گروه کنترل | تمرین مقاومتی ۱±۳۸<br>گروه کنترل ۱±۳۸ | تمرین مقاومتی ۲۷/۰±۵/۹<br>گروه کنترل ۲۷/۰±۶/۷ | تمرین مقاومتی: سه نوبت، هشت تا ده تکرار<br>گروه کنترل: توصیه به راه رفتن در جهت سلامتی قلبی | یک سال تمرین (دو جلسه) |
| اسپنس و همکاران (۲۰۱۲) (۴۵) | ۱۳ (مرد) | آزمودنی‌های سالم | تمرین مقاومتی | ۲۷±۵ | گزارش نشده | تمرین مقاومتی: افراد در سطح قهرمانی تمرین مقاومتی انجام دادند | شش ماه تمرین |
| استنس ولد و همکاران (۲۰۱۰) (۴۶) | ۲۲ (زن، مرد) | بیماران با سندروم متابولیکی | تمرین مقاومتی<br>گروه کنترل | تمرین مقاومتی ۵۰/۷±۹/۶<br>گروه کنترل ۴۷/۱۰±۳/۲ | گزارش نشده | تمرین مقاومتی: دو نوبت، ۱۵ تا ۲۰ تکرار، ۴۰ تا ۵۰ درصد یک تکرار بیشینه<br>گروه کنترل: تغذیه و فعالیت بدنی عادی خود را ادامه دادند | ۱۲ هفته تمرین (چهار جلسه) |
| وونا و همکاران (۲۰۰۹) (۴۷) | ۱۰۴ (زن، مرد) | بیمارانی که به‌منظور برنامه‌های توانبخشی قلبی مراجعه کرده بودند | تمرین مقاومتی<br>گروه کنترل | تمرین مقاومتی ۸±۵۷<br>گروه کنترل ۷±۵۸ | گزارش نشده | تمرین مقاومتی: چهار نوبت، ده تا ۱۲ تکرار، ۴۵ ثانیه تا یک دقیقه استراحت بین نوبت‌ها<br>گروه کنترل: بدون تمرین | چهار هفته تمرین (چهار جلسه) |

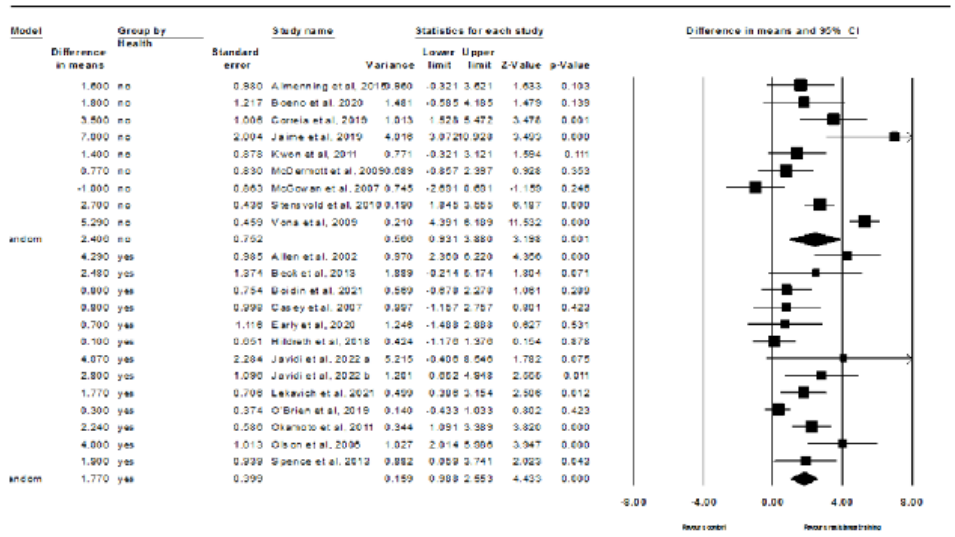



**شکل ۲. نمودار انباشت (Forest Plot) تأثیر تمرین مقاومتی برای FMD**

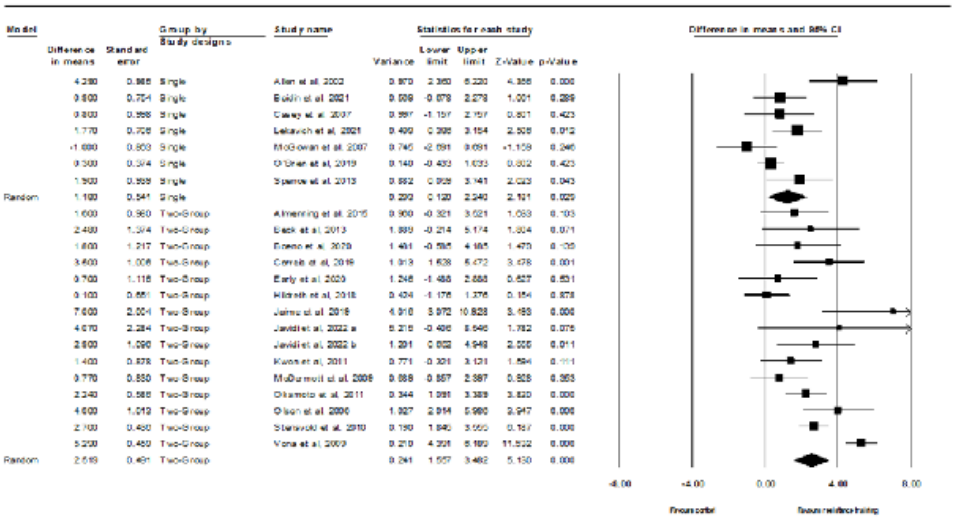
تحلیل زیرگروهی: نتایج تحلیل زیرگروهی بر اساس سن نشان داد که تمرین مقاومتی در هر دو گروه افراد جوان [P=۰/۰۰۱، WMD: ۲/۰۶] و سالمند [P=۰/۰۰۱، WMD: ۱/۸۷] به افزایش FMD می‌انجامد (نمودار ۳). همچنین تحلیل داده‌ها برای وضعیت سلامتی آزمودنی‌ها نشان داد که تمرین مقاومتی در هر دو گروه سالم [P=۰/۰۰۱، WMD: ۱/۷۷] و بیمار [P=۰/۰۰۱، WMD: ۲/۴۰] به افزایش FMD منجر می‌شود (نمودار ۴). افزون‌بر این تحلیل بر اساس نوع تحقیق نشان داد که مقادیر FMD در هر دو مطالعات تک‌گروهی (پس‌آزمون در برابر پیش‌آزمون) [P=۰/۰۲۹، WMD: ۱/۱۸] و دوگروهی (تمرین در برابر کنترل) [P=۰/۰۰۱، WMD: ۲/۵۱] افزایش می‌یابد (نمودار ۵).




**شکل ۳. نمودار انباشت (Forest Plot) تحلیل زیرگروهی برای سن در رابطه با تأثیر تمرین مقاومتی برای FMD**




**شکل ۴. نمودار انباشت (Forest Plot) تحلیل زیرگروهی برای وضعیت سلامت تأثیر تمرین مقاومتی برای FMD**




**شکل ۵. نمودار انباشت (Forest Plot) تحلیل زیرگروهی برای نوع مطالعه در رابطه با تأثیر تمرین مقاومتی برای FMD**

## بحث و نتیجه‌گیری

FMD نشانگر مهمی در سلامت عروقی است که اختلال در آن می‌تواند خطر بیماری‌های قلبی- عروقی را تا حد زیادی در افراد با سابقهٔ بیماری‌های عروقی و افراد سالم - هر دو- افزایش دهد (۴). از سویی پژوهش‌های انجام‌گرفته به اتفاق نشان داده‌اند که بهبود و افزایش FMD می‌تواند تأثیرات مثبتی روی شاخصه‌های اندوتلیال عروقی افراد سالم و بیمار - هر دو - داشته باشد (۵۱). یافته‌های تحقیق حاضر نیز نشان داد که تمرین مقاومتی به بهبود عملکرد اندوتلیال، ارزیابی‌شده با FMD، در هر دو گروه افراد سالم و بیمار منجر می‌شود. همچنین تمرین مقاومتی عملکرد اندوتلیال را مستقل از سن آزمودنی‌ها بهبود می‌بخشد.

توصیه شده است که تمرین مقاومتی به‌عنوان تعدیل‌کننده و بهبوددهندهٔ FMD به بهبود عملکرد اندوتلیال و کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی منجر می‌شود، ولی تعداد پژوهش‌های انجام‌گرفته در این زمینه محدود است (۴). به همین دلیل در پژوهش حاضر تلاش شد تأثیرات تمرین مقاومتی بر اندوتلیال عروقی با استفاده از داده‌های FMD به‌عنوان نشانگر

پیش‌بینی‌کنندهٔ آن بررسی شود. نتایج تحقیق حاضر، صرف‌نظر از نوع تمرین، با نتایج فراتحلیل‌های پیشین همخوانی دارد. برای مثال خلفی و همکاران (۲۰۲۲) در فراتحلیلی از ۳۶ مطالعه با ۱۴۳۷ آزمودنی با یا بدون بیماری قلبی متابولیکی گزارش کردند که تمرین تناوبی با شدت بالا در مقایسه با گروه کنترل به افزایش شاخص FMD به مقدار ۳/۸۰ درصد منجر می‌شود (۷). در فراتحلیلی دیگر سیلوا و همکاران (۲۰۲۱) پس از بررسی ۲۳ پژوهش با شرکت ۷۸۵ آزمودنی سالمند نشان دادند که گروه تمرین مقاومتی در مقایسه با گروه کنترل شاخص FMD به مقدار ۲/۳۹ درصد افزایش یافت (۴). بریسلان و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی با نه مطالعه و ۱۸۲ آزمودنی گزارش کردند تمرین هوازی به افزایش FMD در زنان یائسه منجر شد (۵۲). بررسی نتایج تحقیق حاضر و همچنین ادبیات موجود نشان می‌دهد که صرف‌نظر از نوع تمرین، تمرین ورزشی ممکن است به بهبود عملکرد اندوتلیال بینجامد. در مورد تمرین مقاومتی، بهبود عملکرد اندوتلیال ممکن است به‌واسطهٔ سازگاری‌های موضعی و فعال‌سازی مسیر نیتریک اکسید (NO) وابسته به اندوتلیال باشد (۴). توانایی تمرین مقاومتی و همچنین سایر تمرینات ورزشی برای بازگرداندن هومئوستاز عروقی از طریق افزایش دسترسی زیستی به NO ناشی از فشار برشی ممکن است یکی دیگر از سازوکارهای مهم توضیح نقش حفاظتی تمرین ورزشی در برابر اختلالات عملکرد اندوتلیال باشد (۳، ۴). البته شایان ذکر است که تنوع تمرینی می‌تواند روی الگوهای فشار خون و جریان خون اثرات متفاوتی داشته باشد که این خود می‌تواند سازگاری‌های متفاوتی را در عروق ایجاد کند (۳، ۴). به همین دلیل سازوکارهای دقیق مسیرهای موضعی و عمومی و همچنین رابطهٔ آنها با بهبود عملکرد اندوتلیالی با تمرینات مقاومتی می‌تواند در پژوهش‌های آینده مدنظر قرار گیرد.

مهم‌ترین یافتهٔ پژوهش حاضر، افزایش درصد FMD پس از تمرینات مقاومتی صرف‌نظر از سن، وضعیت سلامتی و نوع تحقیق بود. در خصوص نوع تحقیقات، محدودیتی اعمال نشد که همین موضوع به اضافه شدن مطالعات بدون گروه کنترل برای فراتحلیل منجر شد. مطالعات فاقد گروه کنترل از اهمیت بالینی کمتری به‌دلیل نگرانی‌های موجود در خصوص تعمیم‌پذیری نتایج آن به‌سبب عدم کنترل دقیق شرایط تحقیق برخوردارند (۵۳). با آگاهی از این موضوع، استفاده از این نوع تحقیقات همچنان در حوزهٔ علوم ورزشی، سلامتی و پزشکی صورت می‌گیرد (۵۳). ازاین‌رو تحلیل زیرگروهی بر اساس نوع تحقیق صورت گرفت تا اهمیت بالینی و تعمیم‌پذیری داده‌های فراتحلیل حاضر بررسی شود. بر اساس این نتایج، تمرین مقاومتی نقش مؤثری در افزایش FMD داشت که این افزایش به‌صورت مجزا در هر دو نوع تحقیق مشاهده شد. با توجه به پژوهش‌های بالینی پیشین، با افزایش یک درصد FMD می‌توان انتظار داشت خطر بیماری‌های قلبی- عروقی ۹ تا ۱۷ درصد کاهش یابد (۳). افزون‌بر این وضعیت سلامت آزمودنی‌ها نیز ممکن است در پاسخ عملکرد اندوتلیال به تمرین ورزشی نقش داشته باشد. در همین زمینه، فراتحلیل پیشین توسط خلفی و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که تمرین ورزشی به بهبود عملکرد اندوتلیال تنها در افراد با اختلالات متابولیکی یا بیماری‌های قلبی- عروقی می‌انجامد و افراد سالم را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد (۷). با وجود این در فراتحلیل حاضر، نتایج نشان داد که تمرین مقاومتی در افراد سالم، ممکن است تأثیرات محافظتی و پیشگیری‌کننده و در افراد با سابقهٔ بیماری یا اختلال تأثیرات درمانی داشته باشد. تمرین مقاومتی شاید رویکردی تقابلی با عملکرد نامناسب اندوتلیال (بدتر شدن سلامت عروقی) مرتبط با بیماری‌های قلبی- عروقی داشته باشد. همچنین تحلیل زیرگروهی بر اساس سن آزمودنی‌ها نشان داد که تمرین مقاومتی مستقل از سن به بهبود عملکرد اندوتلیال منجر می‌شود. افزایش سن به‌عنوان عامل خطرزای برای توسعهٔ بیماری‌های قلبی- عروقی شناخته شده است که دست‌کم در بخشی به‌دلیل اختلال در عملکرد اندوتلیال از جمله کاهش پاسخ به محرک‌های شیمیایی و مکانیکی است (۲۶). با وجود تأثیرات منفی سن بر عملکرد اندوتلیال، به‌نظر می‌رسد که تمرین مقاومتی ممکن است از کاهش عملکرد اندوتلیال مرتبط با افزایش سن جلوگیری کند. این تأثیرات مفید تمرین ورزشی ممکن است به‌دلیل سرکوب سفت شدن شریان بزرگ الاستیک و اختلال عملکرد اندوتلیال عروقی باشد (۵۴). افزون‌بر این تمرین مقاومتی ممکن است به‌واسطهٔ کاهش فشار اکسایشی و التهاب به بهبود عملکرد اندوتلیال منجر شود (۵۵، ۵۶). همچنین نشان داده شده است که تمرین مقاومتی ممکن است تولید نیتریک اکساید را بدون سفت شدن

شریان‌های مرکزی در سالمندان افزایش دهد (۵۷) و میانجی مهمی برای بهبود عملکرد اندوتلیال به‌واسطهٔ تمرین مقاومتی در سالمندان باشد. به‌نظر می‌رسد با وجود تأثیرات منفی سالمندی بر افت عملکرد اندوتلیال، تمرین مقاومتی مداخلهٔ مؤثر برای بهبود FMD مستقل از اثر سن باشد.

با وجود یافته‌های بالینی مهم تحقیق حاضر، محدودیت‌هایی نیز وجود داشت که در تحلیل داده‌ها باید در نظر گرفته شود. نتایج حاصل از I2، ناهمگونی بالایی را نشان داد که باید تفسیر نتایج با احتیاط بیشتری صورت گیرد. در تحلیل زیرگروهی بر اساس وضعیت سلامتی، افراد با وضعیت اختلالات مختلف در یک دسته‌بندی قرار گرفتند که لازم است تحقیقات بیشتری صورت گیرد تا بتوان به‌طور خاص روی هر بیماری متمرکز شد. با وجود پژوهش‌های ارزشمند در زمینهٔ تأثیر تمرین مقاومتی بر عملکرد اندوتلیال، همچنان لازم است کارآزمایی‌های بالینی بیشتری انجام گیرد تا بتوان در خصوص مؤلفه‌های تمرین از جمله شدت تمرین بررسی‌های بیشتری انجام داد. با وجود این یافته‌های تحقیق حاضر نشان می‌دهد که تمرین مقاومتی نقش مؤثری در بهبود عملکرد اندوتلیال دارد. آثار مفید تمرین مقاومتی مستقل از سن و وضعیت سلامت افراد است. ازاین‌رو تجویز برنامهٔ تمرین مقاومتی برای افراد مختلف به‌ویژه افراد بالای ۵۰ سال و بیماران قلبی-عروقی و متابولیکی توصیه می‌شود.

**تشکر و قدردانی**

از کسانی که در تهیه این مقاله یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌شود.

**حامی/ حامیان مالی**

برای انجام پژوهش حاضر حمایت مالی دریافت نشده است.

**مشارکت نویسندگان**

همهٔ نویسندگان به‌طور مساوی در اجرا این پژوهش مشارکت داشتند.

**تعارض منافع**

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

**منابع**

1. Shimokawa H. 2014 Williams Harvey Lecture: importance of coronary vasomotion abnormalities—from bench to bedside. European Heart Journal. 2014;35(45):3180-93.
2. Vanhoutte P, Shimokawa H, Feletou M, Tang E. Endothelial dysfunction and vascular disease–a 30th anniversary update. Acta physiologica. 2017;219(1):22-96.
3. Paditsaeree K, Mitranun W. Does combining elastic and weight resistance acutely protect against the impairment of flow-mediated dilatation in untrained men? Artery Research. 2018;23:1-8.
4. Silva JKT, Menêses AL, Parmenter BJ, Ritti-Dias RM, Farah BQ. Effects of resistance training on endothelial function: a systematic review and meta-analysis. Atherosclerosis. 2021;333:91-9.
5. Khalafi M, Mojtahedi S, Ostovar A, Rosenkranz SK, Korivi M. High-intensity interval exercise versus moderate-intensity continuous exercise on postprandial glucose and insulin responses: A systematic review and meta-analysis. Obesity Reviews. 2022:e13459.
6. Khalafi M, Ravasi AA, Malandish A, Rosenkranz SK. The impact of high-intensity interval training on postprandial glucose and insulin: A systematic review and meta-analysis. Diabetes Research and Clinical Practice. 2022:109815.
7. Khalafi M, Sakhaei MH, Kazeminasab F, Symonds ME, Rosenkranz SK. The impact of high-intensity interval training on vascular function in adults: A systematic review and meta-analysis. Frontiers in Cardiovascular Medicine. 2022:1.
8. Khalafi M, Sakhaei MH, Kheradmand S, Symonds ME, Rosenkranz SK. The impact of exercise and dietary interventions on circulating leptin and adiponectin in individuals with overweight and obesity: a systematic review and meta-analysis. Advances in Nutrition. 2022.
9. Nouri-habashi A, Ahmadizad S, Salimian M, Rahmani H. The effects of high intensity interval training on platelet aggregation and phosphorylation of VASPser239 in men with coronary heart disease. Journal of Sport and Exercise Physiology. 2018;11(2):49-62. (In Persian)
10. Moradian H, Hosseinpour Delavar S, Zabet A. The effects of eight weeks circuit resistance training on some endothelial markers, blood pressure and lipid profiles in pre-hypertensive obese women. Journal of Sport and Exercise Physiology. 2022;15(2):84-94. (In Persian)
11. Shiotsu Y, Watanabe Y, Tujii S, Yanagita M. Effect of exercise order of combined aerobic and resistance training on arterial stiffness in older men. Experimental gerontology. 2018;111:27-34.
12. Figueroa A, Okamoto T, Jaime SJ, Fahs CA. Impact of high-and low-intensity resistance training on arterial stiffness and blood pressure in adults across the lifespan: a review. Pflügers Archiv-European Journal of Physiology. 2019;471(3):467-78.

13. Pedralli ML, Eibel B, Waclawovsky G, Schaun MI, Nisa-Castro-Neto W, Umpierre D, et al. Effects of exercise training on endothelial function in individuals with hypertension: a systematic review with meta-analysis. Journal of the American Society of Hypertension. 2018;12(12):e65-e75.
14. Pedralli ML, Marschner RA, Kollet DP, Neto SG, Eibel B, Tanaka H, et al. Different exercise training modalities produce similar endothelial function improvements in individuals with prehypertension or hypertension: A randomized clinical trial. Scientific reports. 2020;10(1):1-9.
15. Feigenbaum MS, Pollock ML. Prescription of resistance training for health and disease. Medicine and science in sports and exercise. 1999;31(1):38-45.
16. Polito MD, Dias Jr JR, Papst RR. Resistance training to reduce resting blood pressure and increase muscle strength in users and non-users of anti-hypertensive medication: A meta-analysis. Clinical and Experimental Hypertension. 2021;43(5):474-85.
17. Phillips MD, Patrizi RM, Cheek DJ, Wooten JS, Barbee JJ, Mitchell JB. Resistance training reduces subclinical inflammation in obese, postmenopausal women. Medicine & Science in Sports & Exercise.2012;44(11) :2099-110.
18. Khalafi M, Malandish A, Rosenkranz SK, Ravasi AA. Effect of resistance training with and without caloric restriction on visceral fat: A systemic review and meta-analysis. Obesity Reviews. 2021;22(9):e13275.
19. Boidin M, Erskine RM, Thijssen DH, Dawson EA. Exercise modality, but not exercise training, alters the acute effect of exercise on endothelial function in healthy men. Journal of Applied Physiology. 2021;130(6):1716-23.
20. Casey DP, Pierce GL, Howe KS, Mering MC, Braith RW. Effect of resistance training on arterial wave reflection and brachial artery reactivity in normotensive postmenopausal women. European journal of applied physiology. 2007;100(4):403-8.
21. Miyachi M, Kawano H, Sugawara J, Takahashi K, Hayashi K, Yamazaki K, et al. Unfavorable effects of resistance training on central arterial compliance: a randomized intervention study. Circulation. 2004;110(18):2858-63.
22. Dawson EA, Sheikhsaraf B, Boidin M, Erskine RM, Thijssen DH. Intra-individual differences in the effect of endurance versus resistance training on vascular function: A cross-over study. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. 2021;31(8):1683-92.
23. Rueda-Clausen CF, Lahera V, Calderón J, Bolivar IC, Castillo VR, Gutiérrez M, et al. The presence of abdominal obesity is associated with changes in vascular function independently of other cardiovascular risk factors. International journal of cardiology. 2010;139(1):32-41.
24. Baron AD. Insulin resistance and vascular function. Journal of Diabetes and its Complications. 2002;16(1):92-102.
25. Novo G, Manno G, Russo R, Buccheri D, Dell'Oglio S, Morreale P, et al. Impact of insulin resistance on cardiac and vascular function. International Journal of Cardiology. 2016;221:1095-9.
26. Seals DR, Jablonski KL, Donato AJ. Aging and vascular endothelial function in humans. Clinical science. 2011;120(9):357-75.
27. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. International journal of surgery. 2021;88:105906.
28. De Morton NA. The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: a demographic study. Australian Journal of Physiotherapy. 2009;55(2):129-33.
29. Allen JD, Geaghan JP, Greenway F, Welsch MA. Time course of improved flow-mediated dilation after short-term exercise training. Medicine and science in sports and exercise. 2003;35(5):847-53.
30. Almenning I, Rieber-Mohn A, Lundgren KM, Shetelig Løvvik T, Garnaes KK, Moholdt T. Effects of high intensity interval training and strength training on metabolic, cardiovascular and hormonal outcomes in women with polycystic ovary syndrome: a pilot study. Plos one. 2015;10(9):e0138793.
31. Beck DT, Casey DP, Martin JS, Emerson BD, Braith RW. Exercise training improves endothelial function in young prehypertensives. Experimental biology and medicine. 2013;238(4):433-41.
32. Boeno FP, Ramis TR, Munhoz SV, Farinha JB, Moritz CE, Leal-Menezes R, et al. Effect of aerobic and resistance exercise training on inflammation, endothelial function and ambulatory blood pressure in middle-aged hypertensive patients. Journal of Hypertension. 2020;38(12):2501-9.
33. A. Correia M, Oliveira PL, Farah BQ, Vianna LC, Wolosker N, Puech-Leao P, et al. Effects of isometric handgrip training in patients with peripheral artery disease: a randomized controlled trial. Journal of the American Heart Association. 2020;9(4):e013596.
34. Early KS, Rockhill M, Bryan A, Tyo B, Buuck D, McGinty J. Effect of blood flow restriction training on muscular performance, pain and vascular function. International journal of sports physical therapy. 2020;15(6):892.
35. Hildreth KL, Schwartz RS, Vande Griend J, Kohrt WM, Blatchford PJ, Moreau KL. Effects of

testosterone and progressive resistance exercise on vascular function in older men. Journal of Applied Physiology. 2018;125(6):1693-701.
36. Jaime SJ, Maharaj A, Alvarez-Alvarado S, Figueroa A. Impact of low-intensity resistance and whole-body vibration training on aortic hemodynamics and vascular function in postmenopausal women. Hypertension Research. 2019;42(12):1979-88.
37. Javidi M, Ahmadizad S, Argani H, Najafi A, Ebrahim K, Salehi N, et al. Effect of Lower-versus Higher-Intensity Isometric Handgrip Training in Adults with Hypertension: A Randomized Controlled Trial. Journal of Cardiovascular Development and Disease. 2022;9(9):287.
38. Kwon HR, Min KW, Ahn HJ, Seok HG, Lee JH, Park GS, et al. Effects of aerobic exercise vs. resistance training on endothelial function in women with type 2 diabetes mellitus. Diabetes & metabolism journal. 2011;35(4):364-73.
39. Lekavich CL, Allen JD, Bensimhon DR, Bateman LA, Slentz CA, Samsa GP, et al. Aerobic versus resistance training effects on ventricular-arterial coupling and vascular function in the STRRIDE-AT/RT trial. Frontiers in Cardiovascular Medicine. 2021;8:638929.
40. McDermott MM, Ades P, Guralnik JM, Dyer A, Ferrucci L, Liu K, et al. Treadmill exercise and resistance training in patients with peripheral arterial disease with and without intermittent claudication: a randomized controlled trial. Jama. 2009;301(2):165-74.
41. McGowan CL, Levy AS, McCartney N, MacDonald MJ. Isometric handgrip training does not improve flow-mediated dilation in subjects with normal blood pressure. Clinical Science. 2007;112(7):403-9.
42. O'Brien MW, Johns JA, Robinson SA, Bungay A, Mekary S, Kimmerly DS. Impact of High-Intensity Interval Training, Moderate-Intensity Continuous Training, and Resistance Training on Endothelial Function in Older Adults. Medicine and science in sports and exercise. 2020;52(5):1057-67.
43. Okamoto T, Masuhara M, Ikuta K. Effect of low-intensity resistance training on arterial function. European Journal of Applied Physiology. 2011;111(5):743-8.
44. Olson TP, Dengel DR, Leon AS, Schmitz KH. Moderate resistance training and vascular health in overweight women. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2006;38(9):1558-64.
45. Spence AL, Carter HH, Naylor LH, Green DJ. A prospective randomized longitudinal study involving 6 months of endurance or resistance exercise. Conduit artery adaptation in humans. The Journal of physiology. 2013;591(5):1265-75.
46. Stensvold D, Tjønna AE, Skaug E-A, Aspenes S, Stølen T, Wisløff U, et al. Strength training versus aerobic interval training to modify risk factors of metabolic syndrome. Journal of applied physiology. 2010;108(4):804-10.
47. Vona M, Codeluppi G, Iannino T, Ferrari E, Bogousslavsky J, Von Segesser L. Effects of different types of exercise training followed by detraining on endothelium-dependent dilation in patients with recent myocardial infarction. Circulation. 2009;119(12):1601-8.
48. Casey DP, Pierce GL, Howe KS, Mering MC, Braith RW. Effect of resistance training on arterial wave reflection and brachial artery reactivity in normotensive postmenopausal women. European journal of applied physiology. 2007;100:403-8.
49. Allen JD, Geaghan JP, Greenway F, Welsch MA. Time course of improved flow-mediated dilation after short-term exercise training. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2003;35(5):847-53.
50. Okamoto T, Masuhara M, Ikuta K. Effect of low-intensity resistance training on arterial function. European Journal of Applied Physiology. 2011;111:743-8.
51. Xu Y, Arora RC, Hiebert BM, Lerner B, Szwajcer A, McDonald K, et al. Non-invasive endothelial function testing and the risk of adverse outcomes: a systematic review and meta-analysis. European Heart Journal–Cardiovascular Imaging. 2014;15(7):736-46.
52. Brislane Á, Sculthorpe NF, Davenport MH, Beaumont A. Exercise training and vascular function in postmenopausal individuals: a systematic review and meta-analysis. Menopause. 2022;29(8):982-92.
53. Knapp TR. Why is the one-group pretest–posttest design still used?: SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA; 2016. p. 467-72.
54. Craighead DH, Heinbockel TC, Hamilton MN, Bailey EF, MacDonald MJ, Gibala MJ, et al. Time-efficient physical training for enhancing cardiovascular function in midlife and older adults: promise and current research gaps. Journal of Applied Physiology. 2019;127(5):1427-40.
55. Ogawa K, Sanada K, Machida S, Okutsu M, Suzuki K. Resistance exercise training-induced muscle hypertrophy was associated with reduction of inflammatory markers in elderly women. Mediators of inflammation. 2010;2010.
56. Parise G, Brose AN, Tarnopolsky MA. Resistance exercise training decreases oxidative damage to DNA and increases cytochrome oxidase activity in older adults. Experimental gerontology. 2005;40(3):173-80.
57. Maeda S, Otsuki T, Iemitsu M, Kamioka M, Sugawara J, Kuno S, et al. Effects of leg resistance training on arterial function in older men. British journal of sports medicine. 2006;40(10):867-9.