DOI: 10.48305/jrrs.2026.46151.1137 Published by Vesnu Publications

مقایسه اثر هشت هفته تمرین مقاومتی با و بدون محدودیت جریان خون بر سطوح اکسید نیتریک و اندوتلین-۱ در مردان غیر فعال ورزشی مبتلا به پیش پرفشاری خون: کارآزمایی بالینی تصادفی یک سوکور مقدماتی

علی یاری[۱]، صدیقه حسین‌پور دلاور[۲]، علی ضابط[۳]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: پیش‌پرفشاری خون با اختلال عملکرد اندوتلیال و بر هم خوردن تعادل واسطه‌های عروقی همراه است. تمرینات مقاومتی با محدودیت جریان خون (Blood flow restriction یا BFR) رویکردی نوین به منظور بهبود شاخص‌های عروقی به شمار می‌رود. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر هشت هفته تمرین مقاومتی با و بدون BFR بر سطوح اکسید نیتریک (Nitric oxide یا NO) و اندوتلین-۱ (Endothelin-1 یا ET-1) در مردان غیر فعال مبتلا به پیش‌پرفشاری خون انجام شد.

مواد و روش‌ها: ۳۶ مرد جوان غیر فعال مبتلا به پیش‌پرفشاری خون به صورت تصادفی در سه گروه شاهد، تمرین مقاومتی با BFR و تمرین مقاومتی بدون BFR تقسیم شدند. تمرینات به مدت هشت هفته اجرا شد. فشار خون سیستولیک (Systolic blood pressure یا SBP) و دیاستولیک (Diastolic blood pressure یا DBP) و سطوح پلاسمایی NO و ET-1، ۴۸ ساعت پیش و پس از مداخله اندازه‌گیری گردید. جهت تحلیل داده‌ها از آزمون‌های Paired t و ANCOVA همراه با آزمون تعقیبی Bonferroni استفاده شد.

یافته‌ها: هر دو شیوه تمرین مقاومتی (با و بدون BFR) در مقایسه با گروه شاهد، موجب افزایش معنی‌دار NO (P = ۰/۰۰۱، P = ۰/۰۰۶) و کاهش معنی‌دار ET-1 (P = ۰/۰۰۱، P = ۰/۰۰۳) گردید. همچنین، فشار خون در هر دو گروه تجربی بهبود یافت. با این حال، بین دو شیوه تمرین مقاومتی تفاوت معنی‌داری در مقادیر NO (P = ۰/۱۲۳)، ET-1 (P = ۰/۵۷۱) و فشار خون مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: تمرین مقاومتی کم‌شدت همراه با BFR، اثرات مشابهی با تمرین مقاومتی سنتی با شدت بالا بر تنظیم واسطه‌های اندوتلیالی و بهبود پرفشاری خون دارد. این روش می‌تواند به عنوان یک جایگزین تمرینی مؤثر با فشار مکانیکی کمتر، جهت ارتقای سلامت عروقی در مردان مبتلا به پیش پرفشاری خون مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: پیش‌پرفشاری خون؛ تمرین مقاومتی؛ محدودیت جریان خون؛ اکسید نیتریک؛ اندوتلین-۱

ارجاع: یاری علی، حسین‌پور دلاور صدیقه، ضابط علی. **مقایسه اثر هشت هفته تمرین مقاومتی با و بدون محدودیت جریان خون بر سطوح اکسید نیتریک و اندوتلین-۱ در مردان غیر فعال ورزشی مبتلا به پیش پرفشاری خون: کارآزمایی بالینی تصادفی یک سوکور مقدماتی.** پژوهش در علوم توانبخشی ۱۴۰۴؛ ۲۱.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۵ تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۱/۱۵

مقدمه

پیش‌پرفشاری خون که به فشار خون سیستولیک (Systolic blood pressure یا SBP) ۱۲۰ تا ۱۳۹ میلی‌متر جیوه و دیاستولیک (Diastolic blood pressure یا DBP) ۸۰ تا ۸۹ میلی‌متر جیوه اطلاق می‌شود، یکی از نگرانی‌های عمده سلامت عمومی به شمار می‌رود و به طور مستقل خطر ابتلا به پرفشاری خون و بیماری‌های قلبی- عروقی را افزایش می‌دهد (۱). اگرچه این وضعیت به عنوان بیماری مستقل شناخته نمی‌شود، اما افراد مبتلا کاندیدای درمان دارویی نیستند و تنها اصلاح سبک زندگی برای پیشگیری از پیشرفت بیماری توصیه می‌شود (۲).

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه فیزیولوژی ورزش، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران
۲- دانشیار، گروه فیزیولوژی ورزش، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران
۳- استادیار، گروه فیزیولوژی ورزش، واحد کنگاور، دانشگاه آزاد اسلامی، کنگاور، ایران
نویسنده مسؤول: علی یاری؛ دانشجوی دکتری تخصصی، گروه فیزیولوژی ورزش، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران
Email: al.yari9098@iau.ac.ir

فعالیت بدنی منظم، به ویژه تمرینات مقاومتی، یکی از راهکارهای اصلی به منظور کنترل و پیشگیری از افزایش فشار خون معرفی شده است (۳)؛ هرچند تمرینات مقاومتی سنتی با شدت بالا ممکن است فشار اکسایشی موقت و استرس بر دیواره عروق ایجاد کند. یافته‌های جدید نشان می‌دهد که این اثرات وابسته به شدت و حجم تمرین می‌باشد و با طراحی مناسب، می‌توان پاسخ‌های اندوتلیال مطلوبی دریافت کرد (۵، ۴). از این‌رو، طراحی روش‌های تمرینی ایمن و کم‌خطر برای افراد مبتلا به پیش‌پرفشاری خون ضروری است.

انتخاب جمعیت «مردان غیر فعال (کم‌تحرک) مبتلا به پیش‌پرفشاری خون در رده سنی ۳۰ تا ۴۵ سال» به عنوان جامعه هدف پژوهش حاضر، بر مبنای اهمیت بالینی این گروه صورت گرفت. مردان در محدوده سنی ۳۰ تا ۴۵ سال در یک دوره گذاری بحرانی برای شروع و تثبیت تغییرات پاتولوژیک عروقی (از جمله سفتی شریانی و اختلال عملکرد اندوتلیال) قرار دارند (۷، ۶) و سبک زندگی بی‌تحرک (غیر فعال ورزشی) و ظرفیت هوازی پایین، یکی از قوی‌ترین پیش‌بینی‌کننده‌های تبدیل پیش‌پرفشاری خون به پرفشاری خون بالینی در آن‌هاست (۹، ۸). مداخله ورزشی در این مرحله، پیش از وقوع آسیب‌های غیر قابل‌بازگشت ساختاری در دیواره عروق، می‌تواند عملکرد اندوتلیال را بازیابی و از بروز بیماری‌های قلبی- عروقی در دهه‌های بعدی زندگی جلوگیری نماید.

تمرین مقاومتی با محدودیت جریان خون (Blood flow restriction یا BFR) که با استفاده از کاف‌های فشاری و بار کم (۲۰ تا ۳۰ درصد یک تکرار بیشینه) انجام می‌شود، رویکردی نوین در این زمینه محسوب می‌گردد (۱۱، ۱۰). این روش با ایجاد شرایط هیپوکسی موضعی، موجب تحریک عامل القای هیپوکسی (Hypoxia-inducible factor 1-alpha یا HIF-46α) و افزایش بیان فاکتور رشد اندوتلیال عروقی (Vascular endothelial growth factor یا VEGF) می‌شود که در فرایند آنژیوژنز و رگ‌زایی نقش کلیدی دارند (۱۲). همچنین، افزایش VEGF فعالیت آنزیم نیتریک اکساید سنتاز اندوتلیال (eNOS) را تقویت کرده و سنتز نیتریک اکساید کسید نیتریک (Nitric oxide یا NO) را افزایش می‌دهد که بهبود عملکرد اندوتلیال و اتساع عروقی را به دنبال دارد (۱۳). در مقابل، شرایط هیپوکسی ناشی از BFR می‌تواند سطح اندوتلین-۱ (Endothelin-1 یا ET-1)- قوی‌ترین منقبض‌کننده عروقی- را تعدیل نماید و از این طریق در تنظیم فشار خون نقش داشته باشد (۱۴، ۵).

پیش از این، مطالعات متعددی اثر تمرینات BFR را بر جوامع مختلف ارزیابی کرده‌اند. برای مثال، افزایش معنی‌دار قدرت و توده عضلانی در مردان جوان فعال (۱۶، ۱۵)، بهبود شاخص‌های متابولیک در مردان میانسال کم‌تحرک (۱۷)، ارتقای عملکرد ورزشی در جودوکاران مرد (۱۸)، بهبود قدرت و استقامت عضلانی زنان یائسه (۱۹) و تغییرات هورمونی در دختران جوان (۲۰) گزارش شده است. در بررسی مکانیسم‌های سلولی نیز، Ferguson و همکاران به این نتیجه رسیدند که تمرین BFR موجب افزایش معنی‌دار بیان mRNA فاکتور VEGF، گیرنده VEGF-2، HIF-1α و eNOS می‌شود (۱۲). نتایج تحقیق Larkin و همکاران نشان داد که BFR غلظت هموگلوبین عضلانی را افزایش می‌دهد و VEGF و NOS را تقویت می‌کند (۲۱). Drummond و همکاران (۲۲) و در داخل کشور نیز بصیری و همکاران (۲۳) نتایج مشابهی در خصوص افزایش شاخص‌های رگ‌زایی گزارش کردند.

رحمانی و همکاران در پژوهشی به بررسی پاسخ هزینه اکسیژن میوکارد، فشار خون و عملکرد اتونوم قلب به فعالیت مقاومتی همراه با ماسک تمرینی و BFR در مردان جوان ورزشکار پرداختند و نتیجه‌گیری کردند که این شیوه تمرینی موجب بهبود معنی‌دار و کاهش متغیرهای هزینه اکسیژن میوکارد و SBP و DBP پس از فعالیت می‌شود (۲۴). از سوی دیگر، فرحانی و ریاحی در مطالعه‌ای به مقایسه روش‌های تمرین مقاومتی همراه با BFR بر آمادگی قلبی- تنفسی و شاخص‌های عملکردی سربازان پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که استفاده از روش BFR به طور معنی‌داری موجب ارتقای شاخص‌های استقامت قلبی- عروقی، افزایش قدرت عضلانی و بهبود تعادل در سربازان می‌شود (۲۵). هدف از انجام پژوهش حاضر، تأیید اثربخشی و انعطاف‌پذیری روش BFR در بهبود همزمان شاخص‌های قلبی- عروقی و عضلانی، حتی در جوامع دارای سطح آمادگی متفاوت است.

با وجود شواهد فوق، داده‌های مرتبط با اثر تمرینات BFR بر واسطه‌های کلیدی و مستقیم تنظیم فشار خون (یعنی NO و ET-1) در افراد در معرض خطر بسیار محدود است. نتایج مطالعات کریمی احمدآبادی و همکاران (۲۶) و بازگیر و همکاران (۲۷) نشان داد که SBP و DBP به طور معنی‌داری تحت تأثیر BFR قرار می‌گیرد که می‌تواند ناشی از تعدیل ترشح NO و ET-1 باشد. در تحقیقات خارجی، Schamne و همکاران پاسخ اتونومیک قلبی به ورزش همراه با سطوح مختلف BFR (اعمال فشارهای کاف معادل ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد فشار انسداد شریانی) را در مردان مبتلا به پیش‌پرفشاری خون بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که هرچند به کارگیری فشارهای انسدادی بالا (مانند ۸۰ درصد) می‌تواند موجب افزایش گذرای فشار خون و شاخص‌های استرس قلبی- عروقی شود، با این وجود، نتایج پژوهش آن‌ها حاکی از آن بود که این پاسخ‌ها ممکن است لزوماً به معنی بروز پیامدهای همودینامیک غیر مخرب یا غیر ایمن برای کل پروتکل نباشد و احتمالاً تمرین با شدت پایین همراه با BFR به شرط تنظیم دقیق و کنترل شده فشار کاف، می‌تواند به عنوان یک روش تمرینی جدید، جایگزین تمرینات مقاومتی سنتی با شدت بالا باشد (۲۸). با این حال، در مطالعه Schamne و همکاران (۲۸) و تحقیقات مشابه همچون Collier و همکاران (۲۹)، تأثیر این روش بر متغیرهای مولکولی مانند NO و ET-1 به طور مستقیم اندازه‌گیری نشد.

با وجود بررسی BFR در جوامع مختلف (همچون زنان، ورزشکاران و افراد جوان)، خلأ پژوهشی حاضر ناظر بر عدم بررسی مستقیم و توأمان اثر تمرینات مقاومتی سنتی در مقایسه با تمرینات BFR بر سطوح دو واسطه کلیدی تنظیم فشار خون (NO و ET-1) به طور اختصاصی در «مردان غیر فعال ورزشی مبتلا به پیش‌پرفشاری خون» بود.

بنابراین، با توجه به شواهد فوق و اهمیت پیش‌پرفشاری خون به عنوان یکی از عوامل خطر اصلی بیماری‌های قلبی- عروقی، هدف از انجام پژوهش حاضر، مقایسه اثر هشت هفته تمرین مقاومتی با و بدون BFR بر سطوح NO، ET-1 و SBP و DBP در مردان غیر فعال مبتلا به پیش‌پرفشاری خون بود. این مطالعه تلاش کرد نشان دهد آیا تمرینات مقاومتی با شدت پایین و همراه با BFR می‌تواند به اندازه تمرینات سنتی در بهبود عملکرد اندوتلیال مؤثر باشد و به عنوان روش ایمن و کارامدی برای این افراد مورد استفاده قرار گیرد؟

مواد و روش‌ها

این تحقیق از نوع کارآزمایی بالینی تصادفی شده مقدماتی (پایلوت) بود و در آن ۳۶ مرد جوان غیر فعال ورزشی شهر ایلام که دارای پیش‌پرفشاری خون (در

http://jrrs.mui.ac.ir

محدوده فشار خون SBP ۱۲۰ تا ۱۳۹ میلی‌متر جیوه یا DBP ۸۰ تا ۸۹ میلی‌متر جیوه و یا هر دو) بودند، به صورت داوطلبانه شرکت کردند.

حجم نمونه مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزار G*Power (3.1.9.7, freeware, University of Düsseldorf, Düsseldorf, Germany) محاسبه گردید. بر اساس فرمول محاسبه حجم نمونه در این نرم‌افزار، برای متغیر کلیدی NO با در نظر گرفتن سطح معنی‌داری ۰/۰۵ = α، توان آماری ۸۰ درصد (β-1 = ۰/۸۰) و اندازه اثر (Effect size) متوسط تا بزرگ (d = ۰/۷۰)، حجم نمونه لازم حداقل ۶۴ نفر تخمین زده شد. این تخمین اندازه اثر بر اساس شواهد افزایش بیان NOS و ظرفیت گشادکننده عروق در پژوهش‌های پیشین استوار بود. به طور خاص، یافته‌های مطالعه Collier و همکاران نشان دهنده افزایش ظرفیت گشادکننده عروق پس از تمرین مقاومتی (حتی بدون BFR) بود که می‌توانست با افزایش NO مرتبط باشد (۲۹). همچنین، اگرچه تحقیق Drummond و همکاران تفاوت معنی‌داری در بیان ژن HIF-1α بین گروه تمرین با REFR و گروه شاهد مشاهده نکرد (۲۲)، اما افزایش HIF-1α که در پژوهش‌هایی مانند Ferguson و همکاران (۱۲) و Larkin و همکاران (۲۱) گزارش شده بود، همچنان به عنوان یک مسیر بالقوه برای تولید NO در نظر گرفته می‌شد.

برای متغیر ET-1، با توجه به این که مطالعات پیشین به طور مستقیم به این نشانگر نپرداخته بودند، اما شواهدی مبنی بر افزایش گذرای فشار خون و شاخص‌های استرس قلبی- عروقی طبق یافته‌های Schamne و همکاران (۲۸) و ارتباط احتمالی افزایش سفتی شریانی بر اساس تحقیق Collier و همکاران (۲۹) با سطوح بالاتر ET-1 وجود داشت، اندازه اثر محافظه‌کارانه‌تری (بین d = ۰/۴۰ تا d = ۰/۵۰) در نظر گرفته شد. با اعمال همان شاخص‌های خطای نوع اول (α = ۰/۰۵) و دوم (β-1 = ۰/۸۰)، حجم نمونه مورد نیاز برای متغیر ET-1 حدود ۱۲۸ نفر محاسبه گردید.

بنابراین، با در نظر گرفتن هر دو متغیر، حجم نمونه جامع‌تر ۱۲۸ نفر به عنوان هدف تعیین شد تا از توان آماری کافی برای تشخیص اثرات احتمالی بر هر دو نشانگر اطمینان حاصل گردد. با این حال، به دلیل محدودیت‌های اجرایی و عملی در دسترسی به جامعه آماری هدف در منطقه مورد بررسی (دشواری در جذب شرکت‌کنندگان دقیقاً مطابق با معیارهای ورود)، حجم نمونه نهایی پژوهش ۳۶ نفر در نظر گرفته شد و از این‌رو، مطالعه در قالب یک مطالعه مقدماتی (پایلوت) اجرا گردید.

ابتدا فرم رضایت‌نامه کتبی و آگاهانه در اختیار تمامی شرکت‌کنندگان قرار گرفت. در این فرم، اهداف تحقیق، مراحل دقیق اجرای تمرینات (به ویژه نحوه اعمال BFR و مراحل خون‌گیری)، خطرات و عوارض احتمالی، مزایای شرکت در پژوهش، تضمین محرمانه ماندن اطلاعات فردی و پزشکی و همچنین، حق انصراف آزادانه از انجام مطالعه در هر مرحله بدون هیچ‌گونه عواقبی، به طور کامل و شفاف برای آزمودنی‌ها تشریح شد. پس از تفهیم کامل این موارد و بررسی دقیق فرم‌ها، امضا و موافقت کتبی افراد برای شرکت داوطلبانه در تحقیق اخذ گردید. سپس پرسش‌نامه دموگرافیک برای جمع‌آوری و ثبت اطلاعات فردی و پیشینه پزشکی- ورزشی آزمودنی‌ها تکمیل شد. در ادامه، پرسش‌نامه ارزیابی آمادگی جسمانی برای فعالیت بدنی (Physical Activity Readiness Questionnaire یا PAR-Q) به منظور سنجش میزان فعالیت بدنی روزانه و تأیید سلامت اولیه آزمودنی‌ها جهت شرکت در فعالیت ورزشی مورد استفاده قرار گرفت. پرسش‌نامه PAR-Q نخستین بار در دهه ۱۹۷۰ در کانادا توسعه داده شد (۲۹) و به عنوان یک ابزار غربالگری ساده و سریع برای ارزیابی آمادگی افراد جهت انجام فعالیت بدنی طراحی شده است و در پیشگیری از بروز حوادث قلبی و مشکلات سلامت مرتبط با فعالیت بدنی کاربرد دارد. در مطالعات اولیه، شاخص‌های پایایی و روایی PAR-Q بررسی و تأیید شده‌اند. به طور نمونه، Warburton و همکاران گزارش کردند که پایایی آزمون در بازآزمایی (Test-retest Reliability) حدود ۰/۸۰ و روایی سازه این پرسش‌نامه در مقایسه با معیارهای پزشکی استاندارد، در سطح قابل قبول قرار دارد (۳۰). در ایران، نسخه‌های فارسی پرسش‌نامه PAR-Q توسط پژوهشگران مختلف هنجاریابی و اعتبارسنجی شده است. از جمله بررسی‌های معتبر می‌توان به مطالعه ازغندی و همکاران اشاره کرد که پایایی پرسش‌نامه را با استفاده از ضریب Cronbach´s alpha، ۰/۷۶ گزارش کردند. همچنین، آن‌ها از طریق تحلیل محتوایی به روایی صوری و محتوایی مناسبی دست یافتند که نشان دهنده سازگاری این ابزار با فرهنگ و محیط ایرانی بود (۳۱). در مطالعه دیگری، نادری و همکاران به بررسی بازآزمایی و روایی همگرا پرداختند و ضریب پایایی ۰/۷۹ و روایی سازه قابل قبول را گزارش کردند (۳۲). بر اساس نتایج تحقیقات مذکور، نسخه فارسی PAR-Q برای استفاده در پژوهش‌ها و برنامه‌های ورزشی در ایران مناسب و معتبر تشخیص داده شده است (۳۲، ۳۱). فرایند سنجش در پرسش‌نامه به این شکل است که پاسخ‌های آزمودنی به صورت ۷ سؤال بلی/ خیر جمع‌آوری می‌شود. در صورتی که فرد به تمام سؤالات پاسخ منفی دهد، به عنوان آماده برای فعالیت بدنی ارزیابی می‌شود و می‌تواند فعالیت‌های ورزشی را بدون محدودیت آغاز نماید. در صورت هر پاسخ مثبت، نیاز به مشاوره پزشکی بیشتر و بررسی‌های تخصصی وجود دارد تا احتمال خطرات احتمالی ناشی از فعالیت بدنی کنترل شود. سپس ۳۶ شرکت‌کننده منتخب به طور تصادفی ساده (با استفاده از نرم‌افزار Excel) در سه گروه ۱۲ نفره «شاهد، تمرینات مقاومتی با BFR و گروه تمرینات مقاومتی بدون BFR» تخصیص یافتند. گروه شاهد بدون استفاده از شریان‌بند مانند گروه تمرین مقاومتی شدت پایین تمرینات خود را اجرا کردند. همچنین، به منظور جلوگیری از سوگیری، مطالعه به صورت یک سوکور اجرا گردید؛ به این معنی که تکنسین آزمایشگاه (مسؤول خون‌گیری و سنجش متغیرها)، ارزیاب فشار خون و تحلیل‌گر آماری از نحوه تخصیص آزمودنی‌ها به گروه‌های تحقیق کاملاً بی‌اطلاع بودند.

معیارهای ورود به پژوهش شامل دامنه سنی ۳۰ تا ۴۵ سال، ابتلا به پیش‌پرفشاری خون (فشار خون SBP بین ۱۲۰ تا ۱۳۹ میلی‌متر جیوه و یا DBP ۸۰ تا ۸۹ میلی‌متر جیوه، تا جامعه هدف دقیقاً در این محدوده بالینی قرار گیرد)، غیر فعال بودن از نظر فیزیکی و ورزشی بود. در مطالعه حاضر «غیر فعال ورزشی» به افرادی اطلاق شد که طی ۳ تا ۶ ماه قبل از شروع تحقیق، هیچ‌گونه برنامه تمرینی منظم و مستمری نداشتند و کمتر از ۳۰ دقیقه فعالیت بدنی با شدت متوسط در حداقل ۳ روز هفته انجام می‌دادند.

مصرف هرگونه داروی کنترل‌کننده فشار خون (به دلیل تغییر در مکانیسم‌های فیزیولوژیک، پاسخ‌های قلبی- عروقی و پیچیده شدن تفسیر نتایج)، سابقه مصرف سیگار و دخانیات (به علت تأثیرات مخرب نیکوتین بر عملکرد عروقی و فشار خون)، داشتن پیشینه درد یا ناراحتی اسکلتی- عضلانی (مانند دردهای مزمن، التهاب فعال، ضعف عضلانی، اسپاسم یا محدودیت حرکتی در اندام‌های فوقانی و تحتانی که اجرای صحیح تمرینات مقاومتی را مختل

http://jrrs.mui.ac.ir

کند)، سابقه عمل جراحی درمانی یا ترمیمی در اندام‌ها (مانند تعویض مفصل زانو، بازسازی رباط صلیبی یا جراحی شانه)، ابتلا به هرگونه بیماری سیستمیک، متابولیک یا مزمن شامل بیماری‌های کبدی، کلیوی (به دلیل اختلال در تعادل مایعات و الکترولیت‌ها)، مغزی و عصبی، هورمونی (مانند دیابت نوع ۱ و ۲ یا اختلالات تیروئید)، قلبی- عروقی شناخته شده، تنفسی و سرطان‌های فعال یا درمان شده نیز به عنوان معیارهای خروج (که موجب حذف داوطلبان از روند مطالعه می‌شد) در نظر گرفته شد.

روش اجرای پژوهش: به منظور کنترل متغیرهای مخدوش‌کننده، از تمامی آزمودنی‌ها درخواست شد تا ۴۸ ساعت پیش از خون‌گیری پیش‌آزمون و پس‌آزمون، از انجام هرگونه فعالیت بدنی شدید، مصرف الکل، کافئین و مکمل‌های غذایی خودداری کنند. همچنین، برای اطمینان از عدم تأثیر تغذیه بر نتایج، یادآمد غذایی ۲۴ ساعته در مرحله پیش‌آزمون ثبت گردید و از آزمودنی‌ها درخواست گردید همان رژیم غذایی را در روز قبل از پس‌آزمون نیز رعایت کنند و در طول دوره ۸ هفته‌ای، تغییری در عادات غذایی خود ایجاد نکنند.

در مرحله نخست، آزمودنی‌ها در سه جلسه آشنایی شرکت کردند تا با نحوه اجرای صحیح حرکات مقاومتی، استفاده از دستگاه‌ها و شیوه صحیح تنفس (جلوگیری از مانور Valsalva که برای افراد دارای پیش‌پرفشاری خون خطرناک است) آشنا شوند. سپس ارزیابی‌های اولیه شامل اندازه‌گیری قد، وزن، شاخص توده بدنی (Body mass index یا BMI)، ارزیابی SBP و DBP در حالت استراحت و خون‌گیری انجام شد. برای تعیین شدت تمرینات، یک تکرار بیشینه (One-repetition maximum یا 1RM) آزمودنی‌ها با استفاده از آزمون غیر مستقیم و بر مبنای معادله Brzycki (۳۳) محاسبه گردید (رابطه ۱).

$$\text{یک تکراربیشینه} = \frac{\text{وزنه ی جابه جا شده (کیلوگرم)}}{\text{۱/۰۲۷۸−(۱/۰۲۷۸×تعداد تکرار تا خستگی)}} \quad \text{رابطه ۱}$$

مداخله ورزشی به مدت ۸ هفته متوالی و هر هفته شامل ۳ جلسه تمرین در روزهای غیر متوالی (زوج) اجرا گردید (در مجموع ۲۴ جلسه). پیش از آغاز هر جلسه، آزمودنی‌ها ۱۰ دقیقه گرم کردن (شامل نرمش و کشش پویا) و در پایان جلسه ۵ تا ۷ دقیقه سرد کردن (کشش ایستا) را انجام دادند. حرکات تمرینی شامل باز کردن زانو، پرس پا نشسته، پشت پا خوابیده و حرکت دو قلو بود.

پروتکل گروه‌ها

گروه تمرین مقاومتی بدون BFR: برای این گروه، تمرینات با شدت ۷۵ درصد 1RM، در ۳ ست ۱۰ تکراری و زمان استراحت ۲ دقیقه بین نوبت‌ها و بین حرکات ۵ دقیقه در نظر گرفته شد.

گروه تمرین با BFR: برای این گروه تمرینات با شدت ۳۰ درصد 1RM، ۳ جلسه در هفته و ۴ ست ۳۰- ۱۵- ۱۵- ۱۵ تایی در نظر گرفته شد. زمان استراحت بین نوبت‌ها ۴۵ ثانیه و بین حرکات ۳ دقیقه در نظر گرفته شد.

به منظور شفافیت کامل پروتکل مداخله، جزییات دقیق روش انجام تمرینات (شامل حرکات، ست، تکرار، شدت، فواصل استراحتی و نحوه اعمال پیشرفت تمرین در طول ۸ هفته) در جدول ۱ ارایه شده است.

در این مدت از گروه شاهد نیز درخواست شد که بدون استفاده از شریان‌بند مانند گروه تمرین مقاومتی شدت پایین، تمرینات خود را اجرا کنند (با شدت ۳۰ درصد 1RM، زمان استراحت بین نوبت‌ها ۴۵ ثانیه و بین حرکات ۳ دقیقه). به منظور مقایسه دقیق اثرات دو شیوه تمرینی، «حجم بار تمرین»در هر سه گروه همسان‌سازی گردید. حجم تمرین از حاصل‌ضرب تعداد کل تکرارها در درصد شدت تمرین به دست آمد که نشان دهنده برابری بار مکانیکی در هر سه گروه می‌باشد (رابطه ۲).

رابطه ۲ ۲۲/۵ = ۷۵ درصد × (۱۰ + ۱۰ + ۱۰) در برابر
۲۲/۵ = ۳۰ درصد × (۱۵ + ۱۵ + ۱۵ + ۱۵)

در گروه BFR، از کاف‌های فشاری بادی (شرکت قامت پویان، ایران) با عرض ۵ سانتی‌متر استفاده شد که در قسمت فوقانی هر دو ران بسته شد.

استانداردهای پژوهش: با وجود این که در دستورالعمل‌های متدولوژیک نوین تمرینات BFR [مانند بیانیه توافقی متخصصان توسط Peterson و همکاران (۲۹) و استانداردهای متدولوژیک Rolnick و همکاران (۳۴)]، استفاده از درصد فشار انسداد شریانی (Arterial occlusion pressure یا AOP) به کمک دستگاه داپلر توصیه می‌شود. در پژوهش حاضر به دلیل محدودیت‌های بالینی در تجهیزات ارزیابی مداوم AOP برای تک‌تک افراد، فشار کاف بر اساس رویکرد معتبر مبتنی بر فشار خون استراحتی تنظیم گردید. بر اساس مطالعات متدولوژیک پیشین که استفاده از درصدی از SBP را به عنوان یک روش جایگزین، ایمن و مؤثر برای تعیین فشار کاف در غیاب داپلر تأیید کرده‌اند (۳۵، ۸)، فشار کاف در تحقیق حاضر معادل ۸۰ درصد SBP استراحتی هر فرد در نظر گرفته شد. فشار کاف در طول اجرای ست‌های یک حرکت ورزشی و فواصل استراحت ۳۰ ثانیه‌ای بین آن‌ها حفظ گردید (تا متابولیت‌ها تجمع یابند)، اما بلافاصله پس از اتمام ست‌های هر حرکت، باد کاف تخلیه گردید تا از بروز ایسکمی طولانی مدت جلوگیری شود.

تمامی جلسات تمرینی تحت نظارت مستقیم یک مربی واجد شرایط تمرینات قدرتی و پژوهشگر انجام گرفت تا از صحت اجرای حرکات، تنظیم دقیق فشار کاف‌ها و کنترل تنفس اطمینان حاصل شود. مشارکت و حضور و غیاب افراد در هر جلسه ثبت گردید (حداقل پایبندی برای ماندن در پژوهش، حضور در ۸۵ درصد جلسات تعیین شد).

جدول ۱. جزییات پروتکل تمرینات مقاومتی در گروه‌های پژوهش

نحوه پیشرفت تمرین (اضافه بار)	استراحت بین حرکات	استراحت بین ست‌ها	تعداد ست و تکرار	شدت تمرین	حرکات ورزشی	گروه تمرینی
ارزیابی مجدد 1RM در پایان هفته‌های دوم، چهارم و ششم جهت به‌روزرسانی وزنه‌ها و حفظ شدت نسبی ۷۵ درصد	۵ دقیقه	۲ دقیقه	۲ دقیقه	۷۵ درصد 1RM	باز کردن زانو، پرس پا، پشت پا، دوقلو	تمرین مقاومتی BFR
ارزیابی مجدد 1RM در پایان هفته‌های دوم، چهارم و ششم جهت به‌روزرسانی وزنه‌ها و حفظ شدت نسبی ۳۰ درصد	۳ دقیقه	۴۵ ثانیه	۴۵ ثانیه	۳۰ درصد 1RM	باز کردن زانو، پرس پا، پشت پا، دوقلو	تمرین با BFR

1RM: One-repetition maximum; BFR: Blood flow restriction

در طول ۸ هفته مداخله، علایم حیاتی آزمودنی‌ها پایش گردید و هیچ‌گونه عوارض جانبی نامطلوب (مانند سرگیجه شدید، غش، کبودی غیر طبیعی، ترومبوز یا دردهای عضلانی ناتوان‌کننده) گزارش نشد.

روهای آزمایشگاهی: خون‌گیری در دو نوبت پیش از شروع مداخله و ۴۸ ساعت پس از اتمام آخرین جلسه تمرین انجام شد. به منظور کنترل اثرات تغذیه و ریتم شبانه‌روزی، تمامی نمونه‌گیری‌ها بین ساعات ۸ تا ۱۰ صبح و پس از ۱۲ ساعت ناشتایی کامل توسط تکنسین متخصص علوم آزمایشگاهی انجام گرفت. از هر آزمودنی، ۱۱ میلی‌لیتر خون سیاهرگی از ورید آنت‌کوبیتال (پیش‌آرنجی) دست راست، در حالت نشسته و پس از ۵ دقیقه استراحت گرفته شد. نمونه‌های خونی بلافاصله در لوله‌های ۱۱ میلی‌لیتری حاوی ماده ضد انعقاد (Ethylenediaminetetraacetic acid یا EDTA) جمع‌آوری شد. پس از مخلوط شدن کامل و آهسته نمونه خون با ضد پلاسما، نمونه‌ها با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شدند تا پلاسما جدا گردد. پلاسمای به دست آمده در میکروتیوب‌ها تقسیم و تا زمان اجرای تحلیل‌های بیوشیمیایی در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

کلیه تحلیل‌های بیوشیمیایی در آزمایشگاه پاتوبیولوژی مرکزی شهر ایلام صورت پذیرفت. غلظت پلاسمایی NO با استفاده از کیت Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) انسانی (شرکت ایت‌بایوفارم، USA) با حساسیت اندازه‌گیری ۰/۱ میلی‌مول بر لیتر و ضریب تغییرات درون‌آزمونی و بین‌آزمونی کمتر از ۸ درصد اندازه‌گیری گردید. همچنین، غلظت پلاسمایی EN-1 با استفاده از کیت ELISA (گلوری، USA) با حساسیت اندازه‌گیری ۰/۱ پیکوگرم بر میلی‌لیتر و ضریب تغییرات کمتر از ۱۰ درصد سنجش گردید.

حجم نمونه پیش از شروع پژوهش با استفاده از نرم‌افزار G*Power محاسبه شد. بدین منظور، از آزمون‌های F (آزمون ANCOVA)، اندازه اثر متوسط (f = ۰/۲۵)، خطای نوع اول (α = ۰/۰۵) و توان آماری (۱-β = ۰/۸۰) استفاده گردید که نشان داد برای دستیابی به توان مطلوب، به حداقل ۱۵ نفر در هر گروه نیاز است.

برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون Shapiro-Wilk استفاده شد. جهت ارزیابی تغییرات درون‌گروهی از آزمون Paired t و به منظور مقایسه بین‌گروهی (پس‌آزمون) از آزمون ANCOVA با کنترل مقادیر پیش‌آزمون به عنوان متغیر همگام (Covariate) استفاده گردید. برای تعیین محل دقیق اختلافات، آزمون تعقیبی Bonferroni به کار گرفته شد. اندازه اثر نیز با استفاده از شاخص مجذور اتای سهمی (Partial Eta Squared) گزارش گردید. همچنین، تجزیه و تحلیل نهایی داده‌ها بر اساس رویکرد تحلیل قصد درمان (Intention-To-Treat یا ITT) انجام گرفت. به منظور مدیریت داده‌های از دست رفته ناشی از ریزش احتمالی آزمودنی‌ها، از روش «انتقال آخرین مشاهده به جلو» (Last observation carried forward یا LOCF) استفاده شد تا تورش ناشی از خروج شرکت‌کنندگان به حداقل برسد. در نهایت، داده‌ها در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ (version 24, IBM Corporation, Armonk, NY) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. P < ۰/۰۵ به عنوان سطح معنی‌داری داده‌ها در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

در مطالعه حاضر داده‌های تمامی ۳۶ نفر شرکت‌کننده که از ابتدا به گروه‌ها تخصیص یافته بودند، در تحلیل نهایی وارد شد و از آن‌جا که هیچ‌گونه ریزش نمونه‌ای در طول مداخله رخ نداد، نیازی به روش‌های جایگزینی داده‌های گمشده نبود و تحلیل ITT انجام نشد. ویژگی‌های دموگرافیک آزمودنی‌ها (سن، قد، وزن و BMI) به تفکیک سه گروه و همچنین، کل نمونه در جدول ۲ ارایه شده است. نتایج آزمون One-way ANOVA نشان داد که در مرحله پیش‌آزمون، بین سه گروه در هیچ‌یک از متغیرهای دموگرافیک تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (P > ۰/۰۵) و گروه‌ها همگن بودند.

در جدول ۳ نتایج آزمون‌های Paired t و ANCOVA ارایه شده است.

بررسی نتایج درون‌گروهی (آزمون Paired t) نشان داد که در هر دو گروه تمرین مقاومتی با BFR و تمرین مقاومتی بدون BFR، میزان SBP، DB و سطوح پلاسمایی ET-1 در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون کاهش معنی‌دار و سطوح پلاسمایی NO افزایش معنی‌داری داشت (P < ۰/۰۵۰). این در حالی است که در گروه شاهد تغییر معنی‌داری در هیچ‌یک از متغیرها مشاهده نشد.

علاوه بر این، بررسی نتایج بین‌گروهی (آزمون‌های ANCOVA و آزمون Bonferroni) نشان داد که هر دو گروه مداخله (گروه‌های تمرین مقاومتی با BFR و تمرین مقاومتی بدون BFR) در تمامی متغیرها (شامل کاهش SBP و DBP، افزایش NO و کاهش ET-1) تفاوت معنی‌داری با گروه شاهد داشتند (P < ۰/۰۵۰). با این وجود، مقایسه مستقیم دو پروتکل تمرینی نشان داد که هیچ تفاوت معنی‌داری بین گروه «تمرین مقاومتی با BFR» و گروه «تمرین مقاومتی بدون BFR» در میزان تغییرات SBP، DBP، NO و ET-1 وجود نداشت (P < ۰/۰۵۰).

تغییرات درون‌گروهی و بین‌گروهی فشار خون و شاخص‌های عروقی در جدول ۳ ارایه شده است. نتایج آزمون Paired t نشان داد که پس از هشت هفته مداخله، میزان SBP در گروه تمرین با BFR (P < ۰/۰۰۱) و گروه تمرین بدون BFR (P = ۰/۰۰۲) به طور معنی‌داری کاهش یافت. DBP نیز در گروه BFR (P < ۰/۰۰۱) و گروه بدون BFR (P = ۰/۰۳۹) با کاهش معنی‌داری همراه بود.

جدول ۲. ویژگی‌های فردی آزمودنی‌های مورد بررسی

گروه	سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)	BMI (کیلوگرم بر مترمربع)	تعداد آزمودنی‌ها
تمرین مقاومتی بدون BFR	۳۹/۲۵ ± ۴/۸۰	۱۷۹/۲۵ ± ۴/۵۷	۷۷/۳۰ ± ۳/۱۴	۲۴/۱ ± ۱/۶۹	۱۲
تمرین مقاومتی با BFR	۳۹/۵ ± ۵/۲۶	۱۷۶/۹۱ ± ۴/۲۹	۷۸/۶۶ ± ۲/۴۳	۲۵/۱۷ ± ۱/۳۹	۱۲
شاهد	۳۸/۵۰ ± ۴/۱۴	۱۷۳/۴۱ ± ۵/۷۲	۷۸/۸۷ ± ۲/۳۷	۲۶/۲۸ ± ۱/۵۹	۱۲
مقدار P (مقایسه بین‌گروهی)	۰/۸۶۶	۰/۰۲۱	۰/۳۰۶	۰/۰۰۶	-
حجم نمونه کل	۳۹/۰۸ ± ۴/۶۴	۱۷۶/۵۲ ± ۵/۳۴	۷۸/۲۷ ± ۲/۶۸	۲۵/۱۸ ± ۱/۷۶	۳۶

BMI: Body mass index; BFR: Blood flow restriction

http://jrrs.mui.ac.ir

جدول ۳. مقایسه تغییرات Systolic blood pressure (SBP) و Diastolic blood pressure (DBP) و شاخص‌های Nitric oxide (NO) و Endothelin-1 (ET-1) سرمی در سه گروه مورد بررسی پیش و پس از مداخله

متغیر	زمان	شاهد	بدون BFR	با BFR	F	مقدار P (بین‌گروهی)
SBP	پیش‌آزمون	۱۳۶/۵۸ ± ۲/۹۴	۱۳۸/۲۲ ± ۴/۴۹	۱۳۷/۰۱ ± ۳/۴۸	۰/۰۰۱	۲۱/۰۹۱
	پس‌آزمون	۱۳۶/۴۵ ± ۲/۸۵	۱۳۰/۵۰ ± ۳/۵۱	۱۳۴/۸۴ ± ۴/۰۷		
	درصد تغییرات	۰/۰۹۵	۵/۵۸۰	۱/۱۵۸		
	مقدار P (درون‌گروهی)	۰/۱۴۰	*۰/۰۳۰	*۰/۰۰۱		
DBP	پیش‌آزمون	۸۴/۷۱ ± ۴/۴۴	۸۳/۳۰ ± ۱/۹۳	۸۴/۵۶ ± ۲/۵۷	۰/۰۰۱	۱۶/۷۳۰
	پس‌آزمون	۸۲/۲۰ ± ۲/۶۳	۸۱/۷۸ ± ۱/۳۹	۸۱/۷۸ ± ۱/۳۹		
	درصد تغییرات	۲/۹۶	۳/۲۸	۲/۷۲		
	مقدار P (درون‌گروهی)	۰/۰۵۴	*۰/۰۳۹	*۰/۰۰۱		
NO (پیکوگرم بر میلی‌لیتر)	پیش‌آزمون	۱۲۷/۲۳ ± ۷/۲۷	۱۴/۱۱ ± ۲/۶۶	۱۱۸/۷۱ ± ۳/۹۳	۰/۰۰۱	۱۶/۸۰۷
	پس‌آزمون	۱۲۷/۲۸ ± ۲/۲۷	۵۹/۱۳۷ ± ۷۲/۹	۱۴۲/۹۲ ± ۵/۱۹		
	درصد تغییرات	۰/۰۳۹	۲۰/۵۷	۲۰/۳۹		
	مقدار P (درون‌گروهی)	۵۷/۰	*۰/۰۰۲	*< ۰/۰۰۱		
ET-1 (پیکوگرم بر میلی‌لیتر)	پیش‌آزمون	۵۴/۷۱ ± ۸/۵۲	۶۲/۷۴ ± ۳/۶۲	۵۷/۳۴ ± ۸/۵۴	۰/۰۰۱	۲۷/۱۱۶
	پس‌آزمون	۵۴/۶۴ ± ۷/۲۰	۷۲/۵۲ ± ۴۳/۴۰	۴۶/۷۸ ± ۷/۸۱		
	درصد تغییرات	۰/۱۲۷	۱۵/۹۷	۱۸/۴۱		
	مقدار P (درون‌گروهی)	۰/۰۹۳	*< ۰/۰۰۱	*< ۰/۰۰۱		

*معنی‌داری در سطح P < ۰/۰۵

SBP: Systolic blood pressure; DBP: Diastolic blood pressure; BFR: Blood flow restriction; NO: Nitric oxide; ET-1: Endothelin-1

در خصوص شاخص‌های بیوشیمیایی، سطوح سرمی NO در گروه‌های BFR (P < ۰/۰۰۱) و بدون BFR (P = ۰/۰۰۲) به طور معنی‌داری افزایش و مقادیر ET-1 در هر دو گروه BFR و بدون BFR به طور معنی‌داری کاهش یافت (P < ۰/۰۰۱). در گروه شاهد نیز هیچ یک از تغییرات درون‌گروهی معنی‌دار نبود (P < ۰/۰۵۰).

در بررسی تفاوت‌های بین‌گروهی با کنترل مقادیر پیش‌آزمون، نتایج آزمون ANCOVA نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها در متغیرهای پژوهش وجود داشت. این تفاوت‌ها برای SBP و DBP به ترتیب ۰/۴۳۹ و ۰/۳۸۳ گزارش شد. در خصوص سطوح سرمی NO، ۰/۳۸۴ به دست آمد. برای متغیر ET-1 نیز اندازه اثر ۰/۵۰۱ محاسبه شد.

نتایج آزمون تعقیبی Bonferroni جهت بررسی دقیق محل تفاوت‌ها نشان داد که SBP و DBP با P < ۰/۰۰۱ و سطوح ET-1 با P = ۰/۰۰۳ در هر دو گروه تمرینی (با و بدون BFR) نسبت به گروه شاهد به طور معنی‌داری پایین‌تر بود. همچنین، سطوح NO در هر دو گروه تمرینی نسبت به گروه شاهد با P < ۰/۰۰۱ به طور معنی‌داری بالاتر گزارش شد. با این حال، در هیچ‌یک از متغیرها تفاوت معنی‌داری بین دو شیوه تمرینی مقاومتی با و بدون BFR مشاهده نشد (P > ۰/۰۵). فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای اختلاف میانگین‌ها در تمامی مقایسات محاسبه گردید. همچنین، تحلیل توان پسینی بر اساس اندازه اثرهای به دست آمده، توان آماری مطلوبی (بالای ۰/۸۰) را برای تمامی متغیرها تأیید کرد.

بحث

هدف اصلی از انجام پژوهش حاضر، مقایسه تأثیر هشت هفته تمرین مقاومتی با شدت بالا (بدون BFR) و تمرین مقاومتی با شدت پایین همراه با BFR بر متغیرهای همودینامیک و شاخص‌های سرمی در مردان مبتلا به پیش‌پرفشاری خون بود. یافته‌ها نشان داد که هر دو شیوه تمرینی موجب کاهش معنی‌دار SBP و DBP در حالت استراحت شد. همچنین، کاهش معنی‌دار سطوح سرمی ET-1 و افزایش معنی‌دار سطوح NO نسبت به گروه شاهد مشاهده شد. با این حال، مقایسه بین‌گروهی نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین اثربخشی دو پروتکل تمرینی وجود نداشت. در این راستا، تحلیل توان آماری پسینی برای متغیرهای اصلی، توان بالای مطالعه (بیشتر از ۰/۸۰) را نشان داد. همچنین، با توجه به عدم ریزش آزمودنی‌ها در طول مداخله، نتایج تحلیل نهایی با نتایج تحلیل ITT یکسان بود. همچنین، یافته‌های به دست آمده در خصوص کاهش فشار خون، فقط مربوط به ارزیابی‌های حالت استراحت است.

کاهش معنی‌دار فشار خون استراحتی در مطالعه حاضر، با نتایج برخی تحقیقات پیشین که اثرات کاهشی تمرینات مقاومتی بر فشار خون را گزارش کرده بودند (۳۸-۳۶)، همسو است. با این حال، در مقایسه با یافته‌های پژوهش Lopes و همکاران (۳۹) تفاوت‌هایی مشاهده گردید. آن‌ها گزارش کردند که تمرین با BFR در کاهش فشار خون مؤثرتر از تمرین مقاومتی با شدت بالا است (۳۹). عدم مشاهده چنین تفاوت بارزی در مطالعه حاضر، می‌تواند ناشی از تفاوت در پروتکل‌های اجرایی باشد. در تحقیق حاضر تلاش شد تا حجم کلی تمرین (Volume load) در سه گروه تا حد امکان همسان‌سازی شود. این کنترل دقیق متغیرهای تمرینی در کنار وضعیت پایه عروق آزمودنی‌ها (قرار داشتن در فاز پیش‌پرفشاری خون)، احتمالاً موجب شده است تا هر دو مداخله، پاسخ‌های فیزیولوژیک مشابهی را در متغیرهای ارزیابی شده ایجاد کنند.

برای تبیین چرایی مشاهده این پاسخ‌های مشابه و تغییرات مثبت در

http://jrrs.mui.ac.ir

شاخص‌های سرمی، باید به نقش تنش برشی (Shear stress) و استرس متابولیک اشاره کرد. عملکرد اندوتلیوم عروقی تا حد زیادی به تعادل بین عوامل وازودیلاتور (مانند NO) و وازوکانستریکتور (مانند ET-1) وابسته است (۱۰، ۵، ۴). افزایش تولید NO می‌تواند با کاهش تونیسیته عضلات صاف دیواره عروق، به کاهش مقاومت محیطی و در نتیجه، تنظیم فشار خون استراحتی کمک کند. گمان می‌رود تمرین مقاومتی با شدت بالا (بدون BFR) از طریق انقباضات عضلانی قدرتمند و ایجاد پرخونی واکنشی (Reactive hyperemia) پس از انقباض، تنش برشی بر دیواره عروق را افزایش می‌دهد و موجب تحریک آنزیم eNOS و در نهایت، تولید NO می‌شود (۴۰، ۱۳).

در مقابل، تمرین با شدت پایین همراه با BFR، کمبود بارهای سنگین مکانیکی را از طریق افزایش استرس متابولیک جبران می‌کند (۴۱، ۱۰). BFR موجب تجمع متابولیت‌هایی همچون یون هیدروژن می‌شود. از سوی دیگر، آزادسازی کاف پس از اتمام هر ست تمرین، یک پرخونی واکنشی ایجاد می‌کند که به نظر می‌رسد تنش برشی کافی و مشابهی با تمرینات پرشدت به دیواره عروق وارد می‌کند و به تغییرات مطلوب در ترشح NO و ET-1 می‌انجامد (۴۲). بنابراین، احتمال می‌رود هر دو روش تمرینی از مسیرهای متفاوت (غلبه تنش مکانیکی در برابر غلبه استرس متابولیک)، موفق به ایجاد تحریک کافی در این دوره هشت هفته‌ای شده‌اند. با این وجود، باید محتاط بود و تغییر در این شاخص‌های سرمی را لزوماً معادل بهبود کامل و ساختاری عروق (همچون تغییر در ضخامت یا الاستیسیته بافت عروق) در نظر نگرفت. همچنین، از آن‌جا که در پژوهش حاضر شاخص‌های مستقیم عملکرد اندوتلیال، سفتی شریانی یا جریان خون محیطی اندازه‌گیری نشد، این تبیین‌ها باید به عنوان ساز و کارهای احتمالی تفسیر گردد.

محدودیت‌ها

اولین محدودیت پژوهش حاضر، روش تعیین فشار کاف در تمرینات BFR بود. با توجه به استانداردهای نوین، دقیق‌ترین روش برای اطمینان از میزان دقیق محدودیت جریان خون، استفاده از درصد مشخصی از AOP به کمک دستگاه داپلر است (۲۹). در مطالعه حاضر به دلیل محدودیت تجهیزات، از رویکرد جایگزین ۸۰ درصد SBP استفاده شد. اگرچه این فشار از نظر همودینامیک برای انسداد کامل بازگشت وریدی و محدودیت نسبی شریانی (ایجاد استرس متابولیک و برشی) کافی است، اما ممکن است معادل درصد یکسانی از محدودیت جریان خون AOP در بین تمامی آزمودنی‌ها نباشد. از محدودیت‌های دیگر تحقیق حاضر، می‌توان به حجم نمونه و جامعه آماری اشاره کرد. با وجود محاسبه توان آماری برای تعیین حداقل افراد مورد نیاز، حجم نمونه نهایی به دلیل ماهیت کارآزمایی بالینی مقدماتی بودن پژوهش، معیارهای ورود سخت‌گیرانه و ریزش احتمالی آزمودنی‌ها، نسبتاً کوچک (۳۶ نفر) بود. همچنین، محدود بودن جامعه آماری به مردان ۳۰ تا ۴۵ ساله، تعمیم‌پذیری نتایج را به سایر گروه‌های سنی و زنان محدود می‌سازد. محدودیت مهم دیگر در مطالعه حاضر، عدم کنترل رژیم غذایی بود. کنترل دقیق و روزانه رژیم غذایی در تمام طول هشت هفته مداخله مقدور نبود و صرفاً به یادآمد غذایی پیش از خون‌گیری اکتفا شد. آخرین محدودیت تحقیق، عدم ارزیابی ماندگاری اثر بود. با توجه به بازه زمانی مطالعه، ارزیابی اثرات طولانی‌مدت پس از قطع تمرینات (پیگیری) امکان‌پذیر نبود.

پیشنهادها

در راستای رفع محدودیت‌های مطالعه حاضر و توسعه ادبیات پژوهش، به محققان آینده پیشنهاد می‌شود ابتدا جهت غلبه بر محدودیت حجم نمونه و افزایش قدرت تعمیم‌پذیری، مطالعاتی با حجم نمونه بزرگ‌تر و با مشارکت جوامع آماری متنوع‌تر (از جمله زنان و گروه‌های سنی سالمند) طراحی و اجرا نمایند. همچنین، جهت رفع محدودیت مربوط به تجهیزات BFR، در تحقیقات بالینی آینده از دستگاه سونوگرافی داپلر جهت شخصی‌سازی دقیق و استاندارد فشار کاف (بر مبنای AOP) استفاده شود. علاوه بر این، به منظور کنترل دقیق‌تر متغیرهای مداخله‌گر، رژیم غذایی آزمودنی‌ها در طول دوره مداخله از طریق ثبت دقیق روزانه (Food diaries) رصد و کنترل شود.

به نظر می‌رسد جهت بررسی ماندگاری اثرات عروقی، دوره‌های پیگیری یک تا چند ماهه پس از اتمام مداخله تمرینی انجام شود. در نهایت، ارزیابی مستقیم شاخص‌های عملکردی و ساختاری عروق مانند اتساع وابسته به جریان (FMD یا Flow mediated dilation) و ضخامت اینتیما- مدیا در کنار ارزیابی نشانگرها لحاظ گردد تا درک روشن‌تری از ماهیت سازگاری‌های فیزیولوژیک ارایه دهد.

نتیجه‌گیری

یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که انجام هشت هفته تمرین مقاومتی، چه با شدت بالا (بدون BFR) و چه با شدت پایین (همراه با BFR)، با تغییرات معنی‌دار و مثبتی در سطح نشانگرهای مرتبط با اندوتلیوم (افزایش NO و کاهش ET-1) و همچنین، کاهش فشار خون استراحتی در مردان مبتلا به پیش‌پرفشاری خون همراه است. مقایسه دو شیوه تمرینی نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین این دو روش وجود ندارد و هر دو پروتکل توانستند تغییرات مشابهی را در متغیرهای استراحتی اندازه‌گیری شده ایجاد کنند.

بر اساس نتایج به دست آمده، تمرینات مقاومتی با شدت پایین همراه با BFR می‌توانند به عنوان یک گزینه تمرینی بالقوه به منظور کمک به تنظیم فشار خون استراحتی مطرح شوند. این شیوه تمرینی می‌تواند به ویژه برای آن دسته از افرادی که به دلیل شرایط بالینی، آسیب‌دیدگی یا ضعف مفاصل قادر به تحمل بارهای سنگین تمرینی نیستند، کاربرد داشته باشد. با این حال، تجویز این نوع تمرینات برای جمعیت‌های دارای اختلالات قلبی- عروقی، مستلزم رعایت دقیق اصول ایمنی، غربالگری اولیه و نظارت مستقیم متخصصان است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از تمام شرکت‌کنندگانی که در انجام این مطالعه همکاری نمودند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

نقش نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی پروژه: علی یاری، صدیقه حسین‌پور دلاور، علی ضابط
جذب منابع مالی برای انجام پروژه: علی یاری، صدیقه حسین‌پور دلاور، علی ضابط
خدمات پشتیبانی و اجرایی و علمی پروژه: علی یاری، صدیقه حسین‌پور دلاور، علی ضابط

http://jrrs.mui.ac.ir

فراهم کردن تجهیزات و نمونه‌های مطالعه: علی یاری، صدیقه حسین‌پور دلاور، علی ضابط
جمع‌آوری داده‌ها: علی یاری، صدیقه حسین‌پور دلاور، علی ضابط
تحلیل و تفسیر نتایج: علی یاری، صدیقه حسین‌پور دلاور، علی ضابط
خدمات تخصصی آمار: علی یاری، صدیقه حسین‌پور دلاور، علی ضابط
تنظیم دست‌نوشته: علی یاری، صدیقه حسین‌پور دلاور، علی ضابط
ارزیابی تخصصی دست‌نوشته از نظر مفاهیم علمی: علی یاری، صدیقه حسین‌پور دلاور، علی ضابط
تأیید دست‌نوشته نهایی جهت ارسال به دفتر مجله: علی یاری، صدیقه حسین‌پور دلاور، علی ضابط
مسؤولیت حفظ یکپارچگی فرایند انجام مطالعه از آغاز تا انتشار و پاسخگویی به نظرات داوران: علی یاری، صدیقه حسین‌پور دلاور، علی ضابط

منابع مالی

پژوهش حاضر برگرفته از پایان‌نامه مقطع دکتری تخصصی با کد اخلاق IR.IAU.KSH.REC.1402.068 و کد IRCT20220501054712N1 می‌باشد و بدون حمایت مالی تنظیم گردید.

تعارض منافع

نویسندگان دارای تعارض منافع نمی‌باشند.

References

1. Wang Z, Chen D, Peng L, Wang X, Ding Q, Li L, Xu T. Serum γ-glutamyltransferase levels and obesity status changes the risk of prehypertension in Chinese adults. Preventive Medicine Reports. 2024; 43: 102792.
2. Kota V, Kumar S, Acharya S. Lifestyle modification and nutrition in preventing prehypertension and hypertension—narrative review. International Journal of Nutrition, Pharmacology, Neurological Diseases. 2023; 13(1): 9–15.
3. Pescatello LS, Buchner DM, Jakicic JM, Powell KE, Kraus WE, Bloodgood B, Campbell WW, Dietz S, DiPietro L, George SM, Macko RF. Physical activity to prevent and treat hypertension: a systematic review. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2019; 51(6): 1314–23.
4. Ferreira Mendes B, Improta-Caria AC, Diniz e Magalhães CO, Dias Peixoto MF, Cardoso Cassilhas R, de Oliveira EM, De Sousa RA. Resistance training reduces blood pressure: putative molecular mechanisms. Current Hypertension Reviews. 2024; 20(1): 52–6.
5. Młynarska E, Bojdo K, Frankenstein H, Krawiranda K, Kustosik N, Lisińska W, Rysz J, Franczyk B. Endothelial dysfunction as the common pathway linking obesity, hypertension and atherosclerosis. International Journal of Molecular Sciences. 2025; 26(20): 10096.
6. McEniery CM, Yasmin n, Hall IR, Qasem A, Wilkinson IB, Cockcroft JR, ACCT Investigators. Normal vascular aging: differential effects on wave reflection and aortic pulse wave velocity: the Anglo-Cardiff Collaborative Trial (ACCT). Journal of the American College of Cardiology. 2005; 46(9): 1753–60.
7. Niiranen TJ, McCabe EL, Larson MG, Henglin M, Lakdawala NK, Vasan RS, Cheng S. Heritability and risks associated with early onset hypertension: multigenerational, prospective analysis in the Framingham Heart Study. BMJ. 2017; 357.
8. Fahs CA, Loenneke JP, Rossow LM, Tiebaud RS, Bemben MG. Methodological considerations for blood flow restricted resistance exercise. Journal of Trainology. 2012; 1(1): 14–22.
9. Chase NL, Sui X, Lee D-c, Blair SN. The association of cardiorespiratory fitness and physical activity with incidence of hypertension in men. American Journal of Hypertension. 2009; 22(4): 417–24.
10. Rodríguez S, Rodríguez-Jaime MF, León-Prieto C. Blood flow restriction training: physiological effects, molecular mechanisms, and clinical applications. Critical Reviews™ in Physical and Rehabilitation Medicine. 2024; 36(4).
11. Cho C, Lee S. The effects of blood flow restriction aerobic exercise on body composition, muscle strength, blood biomarkers, and cardiovascular function: a narrative review. International Journal of Molecular Sciences. 2024; 25(17): 9274.
12. Ferguson RA, Hunt JE, Lewis MP, Martin NR, Player DJ, Stangier C, Taylor CW, Turner MC. The acute angiogenic signalling response to low-load resistance exercise with blood flow restriction. European Journal of Sport Science. 2018; 18(3): 397–406.
13. McIntosh MC, Mueller BJ, Tiede DR, Anglin DA, Kontos Jr GJ, Plotkin DL, Mattingly ML, Kontos NJ, Michel JM, Agyin-Birikorang A, Harrison K. Limited effects of dietary nitrate supplementation with resistance training on skeletal muscle and vascular outcomes in middle-aged and older adults. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology. 2026; 330(2): R136–R50.
14. Jiang H, Li L, Zhang L, Zang G, Sun Z, Wang Z. Role of endothelial cells in vascular calcification. Frontiers in Cardiovascular Medicine. 2022; 9: 895005.
15. Moqimi R, Rajabi H, Sadegh Amani-Shalamzari S. The effect of four weeks resistance training along with blood flow restriction on the cross-sectional area of non-restricted muscles in active men. Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport. 2022; 10(23): 20–30.
16. ali Seyedi S, Khodaei K, Oranchuk D. The effects of low-intensity eccentric quasi-isometric training with blood flow restriction on serum levels of testosterone and cortisol, and on muscular hypertrophy and power in male athletes. Journal of Sport and Exercise Physiology. 2025; 18(4): 1-20.
17. Vakili J, Nikookheslat S, Hassanlou FP. The effect of four weeks of resistance training with and without blood flow restriction on levels of anabolic and catabolic hormonal markers in middle-age sedentary males. Journal of Sport and Exercise

Physiology. 2022; 15(1/45): 56.
18. Apiwan M, Pudis M, Lertwanlop S, Wirakan S, Peeraporn N, Nattha M, Worrawut T. The Effects of Low-Load Resistance Training Combined with Blood Flow Restriction or Hypoxia on Cardiovascular Response: A Randomized Controlled Trial. Life. 2025; 15(8): 1162.
19. Anabestani M, Hosseini-Kakhk A, Hamedinia M. Comparison of combined training with and without vascular occlusion on selected physical fitness components in postmenopausal women. Sport Physiology. 2014; 6(21): 123–36.
20. Naserkhani F, Mehdizadeh R. The Acute Response of Hemodynamic Parameters to Walking on a Treadmill with Blood Flow Restriction in Sedentary Young Girls. Sport Physiology & Management Investigations. 2018; 9(4): 43–53.
21. Larkin KA, Macneil RG, Dirain M, Sandesara B, Manini TM, Buford TW. Blood flow restriction enhances post–resistance exercise angiogenic gene expression. Medicine and Science in Sports and Exercise. 2012; 44(11): 2077.
22. Drummond MJ, Fujita S, Takashi A, Dreyer HC, Volpi E, Rasmussen BB. Human muscle gene expression following resistance exercise and blood flow restriction. Medicine and Science in Sports and Exercise. 2008; 40(4): 691.
23. Javad T-aJT-a, Khodaei K, Toloei-azar J. The Effect of Low-intensity TRX Suspension Training with Blood Flow Restriction on Serum Levels of Angiogenesis Factors VEGF, HIF-1, and Body Composition in Active Female. J Health Res Commun. 2024; 10 (2): 27-38.
24. Rahmani K, Vakili J, Sari-Sarraf V. Comparison of the acute effects of specialized volleyball training with and without blood flow restriction (BFR) on CRP, ESR and TNF-α in adolescent female volleyball players. Journal of Sport and Exercise Physiology. 2025; 18(4): 42–55.
25. Farhani F, Riyahi S. Comparison of three methods of resistance training with blood flow restriction on functional factors and cardio respiratory preparedness in military soldiers. Journal of Military Medicine. 2022; 21(1): 73–81.
26. Karimi Ahmadabadi Z, Nemati J, Hesamuddin Mousavinia S, Rezaei R. Acute Effect of Single Bout Aerobic exercise with and without Blood Flow Restriction on Hemodynamic and Coagulation Indicators in Hypertension Disease. Journal of Sport and Exercise Physiology. 2022; 15(2): 52–63.
27. Bazgir B, Valojerdi MR, Rajabi H, Fathi R, Ojaghi SM, Meybodi MKE, et al. Acute cardiovascular and hemodynamic responses to low intensity eccentric resistance exercise with blood flow restriction. Asian Journal of Sports Medicine. 2016; 7(4): e38458.
28. Schamne JC, Motin C, Sochodolak RC, Lima-Silva AE, Okuno NM. Cardiac autonomic response to aerobic exercise with different levels of blood flow restriction in pre-hypertensive men. Sport Sciences for Health. 2021; 17(2): 375–82.
29. Collier SR, Kanaley JA, Carhart R, Frechette V, Tobin MM, Hall AK, Luckenbaugh AN, Fernhall B. Effect of 4 weeks of aerobic or resistance exercise training on arterial stiffness, blood flow and blood pressure in pre-and stage-1 hypertensives. Journal of Human Hypertension. 2008; 22(10): 678–86.
30. Warburton DE, Gledhill N, Jamnik VK. The Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q+) and Electronic Physical Activity Readiness Medical Examination (ePARmed-X+). Health Fit J Can. 2011; 4(2): 3–23.
31. Azghandi S, Karami J, Sadeghi M. Investigation of the reliability and validity of the Persian version of the PAR-Q questionnaire for evaluating physical activity readiness. Iran J Sport Sci. 2008; 5(1): 27–36.
32. Naderi M, Hosseini A, Ebrahimi M. Validation and reliability of the Persian PAR-Q questionnaire in the Iranian population. J Sport Sci Res. 2014; 16(3): 85–94.
33. Brzycki M. Strength predicting. A practical guide to grading resistance training. J Phys Educ Recreat Dance. 1993; 64(1): 88–90.
34. Rolnick N, Kimbrell K, Cerqueira MS, Weatherford B, Brandner C. Perceived barriers to blood flow restriction training. Frontiers in Rehabilitation Sciences. 2021; 2: 697082.
35. Loenneke J, Wilson J, Wilson G, Pujol T, Bemben M. Potential safety issues with blood flow restriction training. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. 2011; 21(4): 510–8.
36. Fecchio RY, de Sousa JC, Oliveira-Silva L, da Silva Junior ND, Pio-Abreu A, da Silva GV, Drager LF, Low DA, Forjaz CL. Effects of dynamic, isometric and combined resistance training on blood pressure and its mechanisms in hypertensive men. Hypertension Research. 2023; 46(4): 1031–43.
37. Zhao Y, Zheng Y, Ma X, Qiang L, Lin A, Zhou M. Low-intensity resistance exercise combined with blood flow restriction is more conducive to regulate blood pressure and autonomic nervous system in hypertension patients—compared with high-intensity and low-intensity resistance exercise. Frontiers in Physiology. 2022; 13: 833809.
38. Domingos E, Polito MD. Blood pressure response between resistance exercise with and without blood flow restriction: A systematic review and meta-analysis. Life Sciences. 2018; 209: 122–31.
39. Lopes KG, Farinatti P, Bottino DA, De Souza MDGC, Maranhão PA, Bouskela E, Lourenço RA, De Oliveira RB. Does resistance training with blood flow restriction affect blood pressure and cardiac autonomic modulation in older adults? International journal of Exercise Science. 2021; 14(3): 410.
40. Brown M, Hudlicka O. Modulation of physiological angiogenesis in skeletal muscle by mechanical forces: involvement of VEGF and metalloproteinases. Angiogenesis. 2003; 6(1): 1–14.
41. Li S, Li S, Wang L, Quan H, Yu W, Li T, Li W. The effect of blood flow restriction exercise on angiogenesis-related factors in skeletal muscle among healthy adults: a systematic review and meta-analysis. Frontiers in Physiology. 2022; 13: 814965.
42. Downs ME, Hackney KJ, Martin D, Caine TL, Cunningham D, O'Connor DP, Ploutz-Snyder LL. Acute vascular and cardiovascular responses to blood flow–restricted exercise. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2014; 46(8): 1489–97.

DOI: 10.48305/jrrs.2026.46151.1137 Published by Vesnu Publications

Compare the Effect of Eight Weeks of Resistance Training with and without Blood Flow Restriction on Nitric Oxide and Endothelin-1 Levels in Inactive Men with Prehypertension: A Simple Randomized Clinical Trial

Ali Yari[1], Sedigheh Hosseinpour-Delavar[2], Ali Zabet[3]

Original Article

Abstract

Introduction: Prehypertension is associated with endothelial dysfunction and a disrupted balance of vascular mediators. Resistance training with blood flow restriction (BFR) has emerged as a novel strategy for improving vascular indices. The present study aimed to investigate the effects of 8 weeks of resistance training, with and without BFR, on nitric oxide (NO) and endothelin-1 (ET-1) levels in sedentary men with prehypertension.

Materials and Methods: A total of 36 sedentary young men with prehypertension were randomly assigned to one of three groups: a control group (CON), a resistance training with blood flow restriction group (RT+BFR), and a resistance training without blood flow restriction group (RT). The training intervention was conducted over eight weeks. Systolic and diastolic blood pressure, as well as NO and ET-1 plasma levels, were measured 48 hours prior to and 48 hours following the intervention. Data were analyzed using a paired-sample T-test and analysis of covariance (ANCOVA), with a Bonferroni post hoc correction applied at $P \leq 0.05$.

Results: Both resistance training modalities (with and without BFR) produced significant increases in NO levels compared to the control group ($P = 0.001$ and $P = 0.006$, respectively) and significant reductions in ET-1 concentrations ($P = 0.001$ and $P = 0.003$, respectively). Blood pressure also improved significantly in both experimental groups. However, no significant differences were observed between the two resistance training modalities with respect to NO ($P = 0.123$), ET-1 ($P = 0.571$), or blood pressure levels.

Conclusion: Low-intensity resistance training combined with BFR improves endothelial mediators and blood pressure to levels comparable to those achieved with traditional high-intensity resistance training. This approach may therefore serve as an effective, mechanically less demanding exercise alternative for enhancing vascular health in men with prehypertension.

Keywords: Prehypertension; Resistance training; Blood flow restriction; Nitric oxide; Endothelin-1

Citation: Yari A, Hosseinpour-Delavar S, Zabet A. **Compare the Effect of Eight Weeks of Resistance Training with and without Blood Flow Restriction on Nitric Oxide and Endothelin-1 Levels in Inactive Men with Prehypertension: A Simple Randomized Clinical Trial.** J Res Rehabil Sci 2025; 21.

Received date: 31.12.2024 Accept date: 04.02.2024 Published: 03.04.2025

1- PhD Student, Department of Exercise Physiology, Ker.C., Islamic Azad University, Kermanshah, Iran
2- Associate Professor, Department of Exercise Physiology, Ker.C., Islamic Azad University, Kermanshah, Iran
3- Assistant Professor, Department of Exercise Physiology, Kan.C., Islamic Azad University, Kangavar, Iran
Corresponding Author: Ali Yari; PhD Student, Department of Exercise Physiology, Ker.C., Islamic Azad University, Kermanshah, Iran
Email: al.yari9098@iau.ac.ir