

Original article

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

Parisa Basiri¹Kazem Khodaei^{2*}Javad Toloei-azar³

1. Department of Sport Physiology and Corrective exercises, Faculty of Sport Sciences, Urmia University, Urmia, Iran
2. Assistant professor of Sport Physiology, Faculty of Sport Sciences, Urmia University, Urmia, Iran
3. Associate professor of Sport Physiology, Faculty of Sport Sciences, Urmia University, Urmia, Iran

*Corresponding author: Kazem Khodaei,
Faculty of Sport Sciences, Urmia University,
Urmia, Iran

Email: k.khodaei@urmia.ac.ir

Received: 13 March 2024

Accepted: 28 April 2023

ABSTRACT

Introduction and purpose: Resistance training with blood flow restriction increases the recruitment of fast-twitch fibers in hypoxia conditions. It also boosts the synthesis of muscle protein with anabolic hormone indices. Therefore, the purpose of the present study was to investigate the effect of low-intensity TRX suspension training with blood flow restriction on vascular endothelial growth factor (VEGF), hypoxia-inducible factor-1 (HIF-1), and body composition in active female students.

Methods: The present semi-experimental study was conducted on 36 female physical education students. The samples were selected purposefully and then randomly divided into three groups, namely high-intensity TRX suspension training, low-intensity TRX suspension training with blood flow restriction, and control. The training groups performed three sessions of TRX exercises with and without blood flow restriction for eight weeks. Analysis of covariance (ANCOVA) and Bonferroni post hoc test were used to compare the results between groups.

Results: The findings showed that eight-week low-intensity TRX training with blood flow restriction caused a significant increase in VEGF ($P=0.001$), HIF-1 ($P=0.001$), and total body muscle mass ($P=0.008$) compared to the control group. The high-intensity TRX training group also increased VEGF ($P=0.018$) and HIF-1 ($P=0.002$) compared to the control group. However, the low-intensity TRX training group with blood flow restriction led to a significant increase in HIF-1 concentration compared to the high-intensity TRX training group ($P=0.031$). TRX suspension training with and without blood flow restriction had no significant impact on body mass index, body fat percentage, and total body water ($P<0.05$).

Conclusion: Overall, the results of this research showed that performing eight-week low-intensity TRX training with blood flow restriction improved the levels of VEGF, HIF-1, and muscle mass in active females. Therefore, these exercises can be a suitable training method to improve angiogenesis factors and body composition in females.

Keywords: Angiogenesis, Blood flow restriction, Body composition, Suspension exercises

► **Citation:** Basiri P, 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. Journal of Health Research in Community. Summer 2024;10(2): 27-38.

مقاله پژوهشی

تأثیر تمرینات تعلیقی TRX با شدت کم به همراه محدودیت جریان خون بر میزان سرمی فاکتورهای رگ‌زایی HIF، VEGF-1 و ترکیب بدنی در دختران فعال

چکیده

پریسا بصیری^۱
کاظم خدائی^{۲*}
جواد طلوعی آذر^۳

مقدمه و هدف: تمرینات مقاومتی با محدودیت جریان خون به افزایش فراخوانی تارهای تند انقباض در شرایط هیپوکسی منجر می‌شود. همچنین، تحریک هورمون‌های آنابولیک، افزایش سنتز پروتئین‌های عضله را به دنبال دارد؛ بنابراین، هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر تمرینات تعلیقی TRX با شدت کم همراه با محدودیت جریان خون بر فاکتور رشد اندوتلیال عروقی (VEGF)، فاکتور القاکننده‌ی هیپوکسی (HIF-1) و ترکیب بدنی در دانشجویان دختر فعال بود.

روش کار: پژوهش حاضر از نوع نیمه‌تجربی بود. تعداد ۶۳ دانشجوی دختر تربیت‌بدنی به‌صورت هدفمند انتخاب و به‌طور تصادفی به سه گروه تمرین تعلیقی TRX با شدت زیاد، با شدت کم همراه با محدودیت جریان خون و کنترل تقسیم شدند. گروه‌های تمرینی به مدت ۸ هفته و هر هفته، ۳ جلسه تمرینات TRX را با و بدون محدودیت جریان خون اجرا کردند. برای مقایسه‌ی نتایج بین گروهی از آزمون تحلیل کوواریانس (ANCOVA) و آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ۸ هفته تمرین TRX با شدت کم و محدودیت جریان خون باعث افزایش معنی‌داری در VEGF ($P=0/001$)، HIF-1 ($P=0/001$) و توده‌ی عضلانی کل بدن ($P=0/008$) نسبت به گروه کنترل شده است. تمرینات TRX با شدت زیاد نیز VEGF ($P=0/018$) و HIF-1 ($P=0/002$) را نسبت به گروه کنترل افزایش داد. با این حال، تمرینات TRX با شدت کم و محدودیت جریان خون به افزایش معنی‌داری در میزان غلظت HIF-1 نسبت به تمرین TRX با شدت زیاد منجر شد ($P=0/031$). تمرین تعلیقی TRX با و بدون محدودیت جریان خون تأثیر معنی‌داری بر شاخص توده‌ی بدنی، درصد چربی بدن و کل آب بدن نداشت ($P>0/05$).

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که اجرای ۸ هفته تمرین TRX کم‌شدت با محدودیت جریان خون باعث بهبود سطوح VEGF، HIF-1 و توده‌ی عضلانی در دختران فعال می‌شود و این تمرینات می‌تواند روش تمرینی خوبی برای بهبود عوامل رگ‌زایی و ترکیب بدنی در دختران باشد.

کلمات کلیدی: تمرینات تعلیقی، محدودیت جریان خون، آنژیوژنز، ترکیب بدنی

۱. گروه فیزیولوژی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده‌ی علوم ورزشی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲. استادیار فیزیولوژی ورزشی، دانشکده‌ی علوم ورزشی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۳. دانشیار فیزیولوژی ورزشی، دانشکده‌ی علوم ورزشی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

* نویسنده مسئول: کاظم خدائی، دانشکده‌ی علوم ورزشی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

Email: k.khodaei@urmia.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۸

◀ **استناد:** بصیری، پریسا؛ خدائی، کاظم؛ طلوعی آذر؛ جواد. تأثیر تمرینات تعلیقی TRX با شدت کم به همراه محدودیت جریان خون بر میزان سرمی فاکتورهای رگ‌زایی HIF، VEGF-1 و ترکیب بدنی در دختران فعال. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، تابستان ۱۴۰۳، دوره ۱۰، شماره ۲، ۳۸-۲۷

مقدمه

تمرینات مقاومتی بخشی اساسی از آمادگی جسمانی برای افزایش اجرای فعالیت ورزشی و سلامت عمومی است که

انواع مختلفی دارد و یک نوع عملکردی آن تمرینات تعلیقی است [۱]. تمرینات تعلیقی نمونه‌ای از تمرینات مقاومتی در شرایط ناپایداری است که با هدف تقویت قدرت و استقامت عضلانی، تعادل، انعطاف‌پذیری و سرعت به کار می‌رود که با تمرکز بر تقویت عضلات مرکزی با استفاده از وزن بدن طراحی شده است [۲]. همچنین، به علت وضعیت قرارگیری ناپایدار بدن، مقابله با نیروی جاذبه‌ی زمین و حفظ تعادل در حین اجرای بیشتر حرکات، علاوه بر درگیری عضلات اصلی، عضلات جانبی دیگر، به ویژه عضلات تنه نیز حین فعالیت درگیر می‌شوند [۳]. سیستم‌های تمرینی تعلیقی مختلفی وجود دارد که تمرینات تعلیقی TRX یکی از این سیستم‌های تمرینی است که در دهه‌ی اخیر محبوبیت ویژه‌ای بین ورزشکاران، مربیان، افراد مسن و پژوهشگران کسب کرده است [۴]. با این حال، مانند دیگر تمرینات مقاومتی که شدت‌های متوسط تا زیاد آن‌ها باعث سازگاری بیشتر ساختاری و عضلانی می‌شود ولی امکان اجرای آن‌ها برای افراد مسن، مبتدی یا دارای مصدومیت امکان‌پذیر نیست، اجرای برخی از تمرینات تعلیقی با شدت بالا نیز برای این افراد دشوار است [۵]. با این حال، محققان تکنیکی از تمرینات را به عنوان تمرینات کاتسو یا با محدودیت جریان خون پیشنهاد داده اند که مشکلات اجرای تمرینات شدید را برطرف می‌کند. در این روش تمرینی، جریان خون عضله‌ی فعال در حین تمرین از طریق بستن یک کاف یا کش لاستیکی انعطاف‌پذیر به دور قسمت پروگزیمال بازو یا ران محدود می‌شود [۵، ۴]. شدت این تمرینات به طور معمول بین ۲۰ تا ۳۰ درصد یک تکرار بیشینه (تقریباً معادل شدت فعالیت روزانه‌ی افراد) در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین، برای افراد با ویژگی‌های جسمانی متفاوت تحمل‌پذیر است [۶]. در این روش تمرینی، تأثیر محرک تمرین از طریق ایجاد استرس متابولیک افزایش می‌یابد. با محدود شدن جریان خون، بازگشت وریدی کاهش می‌یابد که باعث تجمع متابولیت‌ها، به ویژه اسید لاکتیک، رادیکال‌های آزاد و

فاکتورهای خونی مربوط به هیپوکسی در عضله‌ی فعال می‌شود. این محرک‌ها در نهایت باعث تحریک هورمونی و متابولیکی می‌شوند [۷]. یکی از سازگاری‌های مهمی که در پی انجام تمرینات مقاومتی رخ می‌دهد، افزایش جریان خون است که باعث تأمین مواد سوخت‌وسازی بافت‌های فعال و در پی آن، دفع استرس‌های فیزیولوژیکی در زمان ورزش می‌شود. برای ایجاد این شرایط در ساختار عروقی عضلات اسکلتی فرایندی به نام رگ‌زایی (Angiogenesis) رخ می‌دهد. این پدیده به معنی شکل‌گیری شبکه‌ی مویرگی جدید است. آنژیوژنز با تکثیر و مهاجرت سلول‌های اندوتلیال (Endothelial) آغاز می‌شود و به دو شکل جوانه زدن و دونیم شدن رگ تکامل یافته صورت می‌گیرد. از جمله فاکتورهای مهم آنژیوژنیک، فاکتور رشد اندوتلیال عروق (VEGF) است که قویترین میتوژن (Mitogen) مخصوص سلولهای اندوتلیال شناخته شده است (۷). VEGF به طور عمده توسط سلول‌های اندوتلیال، عضلات صاف، تاندون‌ها، پلاکت‌ها، تیموس و عضلات اسکلتی ترشح می‌شود. VEGF در پاسخ به محرکهایی مانند هیپوکسی و استرس برشی (نیروی همودینامیکی ناشی از اصطکاک جریان خون با دیواره‌ی عروق)، شدت و مدت فعالیت ورزشی، انقباض و کشش عضله، کاهش غلظت گلوکز خون، انواع سایتوکاین‌ها و عامل قابل القای هیپوکسی ۱ (HIF-۱) از سلول اندوتلیالی ترشح می‌شود [۸]. از آنجایی که عروق خونی و مویرگ‌ها در میان فاسیکول‌ها و تارهای بافت عضلانی گسترده شده اند، در طی فعالیت‌های ورزشی به واسطه‌ی چرخه‌های انقباض و کشش، عروق خونی آن متحمل دوره‌های ایسکمیک-ریپرفیوژن (Ischemic-reperfusion) می‌شود. این دوره‌ها خود از طریق ایجاد حالت هیپوکسی باعث فعال‌سازی HIF-۱ می‌شود. کمپلکس HIF-۱ بعد از شکل‌گیری می‌تواند عناصر واکنش به هیپوکسی را در هسته، که روی ژن هدف قرار دارد، شناسایی کند. با توجه به

جریان خون بر میزان سرمی فاکتورهای آنژیوژنز و ترکیب بدنی دختران فعال بررسی کنند.

روش کار

پژوهش حاضر از نوع نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون بود. جامعه‌ی آماری پژوهش حاضر را دانشجویان دختر ۲۰ تا ۲۵ ساله‌ی رشته‌ی تربیت‌بدنی دانشگاه ارومیه تشکیل می‌دادند. ۳۶ دانشجوی دختر با میانگین سن $23/2 \pm 3/8$ سال، وزن بدن $57/2 \pm 6/6$ کیلوگرم و قد $160/7 \pm 5/0$ سانتی‌متر از این جامعه به‌صورت هدفمند انتخاب شدند و به‌صورت تصادفی به سه گروه ۱۲ نفره شامل گروه تمرین تعلیقی TRX با شدت زیاد، گروه تمرین تعلیقی TRX با شدت کم همراه با محدودیت جریان خون و گروه کنترل تقسیم شدند. تعداد نمونه بر اساس اندازه‌ی اثر برابر با ۰/۲۵ در مطالعات قبلی، توان برابر با ۰/۹۵ و سطح آلفای برابر با ۰/۰۵ با استفاده از نرم‌افزار G*power برآورد شد. آزمودنی‌ها ابتدا در جلسه‌ای توجیه‌ی به‌طور کامل با مراحل پژوهش آشنا شدند و سپس، پرسش‌نامه‌ی سلامتی و مشخصات فردی را تکمیل کردند و سوابق بیماری و دارویی آن‌ها بررسی شد. آزمودنی‌ها رضایت‌نامه‌ی کتبی را پس از مطالعه امضا کردند. هیچ‌یک از آزمودنی‌ها سابقه‌ی بیماری‌های مزمن نداشتند. برای اندازه‌گیری شاخص‌های خونی، ۴۸ ساعت قبل از اولین جلسه تمرینی، ۵ میلی‌لیتر خون در حالت ناشتا از ورید پیش بازویی گرفته شد. سپس، ۲۰ دقیقه با ۳۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد و سرم جداسازی‌شده برای اندازه‌گیری مقادیر VEGF و HIF-۱ با استفاده از کیت‌های مخصوص الایزای Human VEGF و Human HIF-۱ ساخت شرکت Shanghai Crystal day از کشور چین به کار رفت. قبل از شروع پروتکل تمرین، در یک جلسه میزان ترکیب بدنی آزمودنی‌ها با استفاده از دستگاه INBODY3 ساخت کشور کره‌ی جنوبی اندازه‌گیری شد.

اینکه مطالعات قبلی هیپوکسی را عامل افزایش VEGF عنوان می‌کنند، ممکن است تمرینات با محدودیت جریان خون باعث افزایش HIF-۱ شود و در نتیجه، رگ‌زایی را افزایش دهد [۹]. شیمیزو (Shimizu) و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای تأثیر ۴ هفته تمرین مقاومتی با شدت سبک به همراه محدودیت جریان خون را بر عملکرد اندوتلیالی عروق و گردش خون محیطی افراد مسن سالم بررسی کردند و نشان دادند که این تمرینات باعث افزایش میزان VEGF، هورمون رشد، نوراپینفرین و لاکتات می‌شود [۱۰]. همچنین، نادری بلداجی و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر تمرینات ورزشی با شدت سبک و به همراه محدودیت جریان خون را در رت‌های مسن بر آنژیوژنز بررسی کردند و نشان دادند که ورزش با محدودیت جریان خون باعث افزایش VEGF و گیرنده‌های آن می‌شود [۱۱]. اما مطالعات پیشین انجام‌شده عدم تأثیر تمرینات تعلیقی را در بهبود ترکیب بدنی در جمعیت‌های مختلف نشان داده‌اند [۱۲، ۱۳]. با این حال، مطالعه‌ای یافت نشد که تأثیر تمرینات تعلیقی به همراه محدودیت جریان خون بر ترکیب بدنی را که جزئی از مؤلفه‌های آمادگی جسمانی مرتبط با سلامت است، بررسی کرده باشد. از طرفی، مطالعات پیشین ارتباط بین میزان بافت چربی و عضله (ترکیب بدنی) با میزان بیان فاکتورهای آنژیوژنزی را نشان داده‌اند [۱۴-۱۶]. با توجه به موارد ذکرشده در بالا، تمرینات تعلیقی TRX نوعی تمرین فانکشنال مؤثر در بهبود بیشتر مؤلفه‌های آمادگی جسمانی، با هزینه‌ی کم و قابل دسترس برای عموم جامعه است. با این حال اجرای حرکات TRX با شدت‌های بالا برای عموم جامعه، به‌طور مثال افراد تمرین‌نکرده، مسن، کودکان یا افراد در حال توان‌بخشی مقدور نیست. ممکن است استفاده از روش محدودیت جریان خون اثربخشی شدت‌های پایین این تمرین کاربردی را در بهبود برخی شاخص‌های فیزیولوژیک بهبود بخشد. بنابراین، محققان مطالعه‌ی حاضر قصد دارند تا میزان اثربخشی تمرینات تعلیقی با شدت کم به همراه محدودیت جریان خون را نسبت به تمرینات تعلیقی با شدت بالا و بدون محدودیت

برنامه ی تمرین ورزشی

برنامه ی تمرینی شامل ۸ هفته تمرین و ۳ جلسه در هفته بود. کل زمان تمرین در هر جلسه حداکثر تا ۶۰ دقیقه بود. هر دو گروه تمرین به مدت ۲ هفته به منظور آشنا شدن با تمرینات تعلیقی و کسب آمادگی اولیه، تمرینات TRX با شدت کم را اجرا کردند. در ۶ هفته ی بعد، گروه اول، تمرین تعلیقی TRX با شدت زیاد را اجرا کرد و گروه دوم، تمرینات TRX با شدت کم و با محدودیت جریان خون کاربردی را اجرا کرد. تعداد جلسات، تعداد حرکات و مدت زمان اجرا در دو گروه با هم یکسان بود. فقط شدت تمرینات بین دو گروه متفاوت بود. گروه کنترل نیز فعالیت های روتین درسی و روزمره ی خود را انجام داد. تمامی تمرینات تعلیقی در دو گروه در اندام های پایین تنه اجرا شد. گرم کردن و سرد کردن به مدت ۱۰ دقیقه در ابتدا و انتهای جلسه انجام شد. جزئیات برنامه ی تمرین ورزشی استفاده شده در این مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

روش ایجاد محدودیت جریان خون

محدودیت جریان خون کاربردی در این مطالعه بر اساس روش استفاده شده در پژوهش ویلسون (Wilson) و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از زانوبند کشی در انتهای پروگزیمال ران اجرا شد. میزان

همچنین، قد (cm) و وزن (kg) به ترتیب به وسیله ی قدسنج و ترازوی دیجیتال مدل SECA ساخت کشور آلمان اندازه گیری شد. دو گروه تمرینی تمرینات را به مدت ۸ هفته اجرا کردند. ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه ی تمرینی، از آزمودنی ها مانند پیش آزمون نمونه ی خونی گرفته شد و ترکیب بدنی دوباره اندازه گیری شد. تنها ۸ نفر در هر گروه توانستند به طور کامل معیارهای مطالعه ی حاضر را برآورده کنند.

معیارهای ورود به پژوهش شامل تأیید سلامت جسمانی توسط پزشک، نداشتن سابقه ی هیچ نوع بیماری قلبی و عروقی، متابولیکی، تخمدان پلی کیستیک و عدم مصرف داروهای ضدبارداری، عدم مصرف داروها و مکمل های ورزشی، نداشتن فعالیت مقاومتی اضافی علاوه بر واحدهای درسی، به ویژه تمرینات تعلیقی در مدت زمان پژوهش بود. معیارهای خروج از مطالعه شامل غیبت بیش از ۳ جلسه در تمرینات، آسیب دیدگی شدید و بیماری در طول تمرین، مصرف داروهای ضدبارداری و گزارش بی نظمی در دوره ی قاعدگی بود. افرادی که ملاک های ورود به طرح پژوهش را داشتند، با مجوز کتبی پزشک به پژوهش وارد شدند. آزمودنی ها اجازه داشتند در هر مرحله از پژوهش با رضایت شخصی انصراف دهند. کمیته ی اخلاق در پژوهش دانشگاه بر روند همه ی مراحل پژوهش نظارت داشت.

جدول ۱: برنامه ی تمرینی گروه های TRX با شدت زیاد و با شدت کم به همراه محدودیت جریان خون

تمرین	هفته	شدت تمرین	تعداد حرکت	مدت اجرا (ثانیه)	تعداد ست	نسبت فعالیت به استراحت
تمرین TRX با شدت زیاد	۱-۲	کم	۷	۲۰	۳	۱ به ۲
	۳-۴	زیاد	۷	۳۰	۳	۱ به ۲
	۵-۶	زیاد	۷	۴۰	۳	۱ به ۲
	۷-۸	زیاد	۷	۴۰	۴	۱ به ۲
تمرین TRX با شدت کم و محدودیت جریان خون	۱-۲	کم	۷	۲۰	۳	۱ به ۲
	۳-۴	کم	۷	۳۰	۳	۱ به ۲
	۵-۶	کم	۷	۴۰	۳	۱ به ۲
	۷-۸	کم	۷	۴۰	۴	۱ به ۲

سفتی بستن کش‌ها بر اساس مقیاس درد ادراکی، برابر با ۷ از ۱۰ بود تا محدودیت جریان خون اعمال شود [۱۷].

روش تعیین شدت تمرینات تعلیقی TRX

قبل از اجرای برنامه‌ی تمرینی، برای تعیین شدت تمرینات تعلیقی، از مقیاس درک فشار کار بورگ با رتبه‌بندی ۶ تا ۲۰ استفاده شد. برای تعیین شدت تمرینات TRX با شدت کم همراه با محدودیت جریان خون، از حرکات ساده و سبک استفاده شد. از آزمودنی‌ها خواسته شد که حرکت مدنظر را اجرا کند و بعد از اتمام حرکت، از آن‌ها پرسیده شد که از ۶ تا ۲۰ چه نمره‌ای به این حرکت می‌دهند و نمره‌ی فرد ثبت شد و میانگین نمراتی که آزمودنی‌ها برای هر حرکت انتخاب می‌کردند، شدت هر حرکت در نظر گرفته شد. همچنین، برای تعیین شدت تمرینات TRX با شدت زیاد از اشکال پیشرفته‌ی حرکات که شدت بالایی دارند، استفاده شد (جدول ۲).

روش‌های آماری

برای تعیین نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک استفاده شد و به منظور بررسی همگنی واریانس‌ها از آزمون لون استفاده شد. برای تعیین اثرات خالص مداخلات صورت گرفته

جدول ۲: شدت برآورده‌ی تمرینات تعلیقی با استفاده از مقیاس درک فشار کار بورگ (RPE)

میانگین RPE	حرکات با شدت پایین	میانگین RPE	حرکات با شدت پایین
۱۵/۳	لانژ متقاطع پشتی به لانژ جانبی	۶/۳	لانژ متقاطع پشتی
۱۸/۷	لانژ جانبی گهواره	۶/۵	اسکوات
۱۶/۲	اسکات تک پا	۹/۲	همسترینگ کرل
۱۷/۱	لانژ گهواره‌ای	۹/۲	لانژ تی‌آرایکس
۱۷/۳	امگا	۸/۱	دوچرخه‌سواری
۱۸/۶	همسترینگ کرل بالا	۷/۵	لانژ جانبی

و برای بررسی تفاوت‌های بین گروهی برای سه گروه مورد مطالعه از آزمون تحلیل کوواریانس (ANCOVA) استفاده شد و در صورت مشاهده‌ی تفاوت معنادار بین گروه‌ها، از آزمون تعقیبی بونفرونی به منظور مقایسه‌ی جفت‌گروه‌ها استفاده شد. تغییرات درون گروهی با آزمون t زوجی بررسی شد. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، از نرم‌افزار SPSS نسخه‌ی ۲۴ در سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ برای تمام روش‌های آماری استفاده شد.

یافته‌ها

میانگین و انحراف معیار متغیرهای پژوهش به تفکیک گروه‌ها در مراحل مختلف (پیش‌آزمون و پس‌آزمون) در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به جدول ۴، نتایج آزمون نشان می‌دهد که بعد از حذف اثر پیش‌آزمون، بین میانگین نمرات تعدیل‌شده و متغیرهای شاخص توده‌ی بدن ($P=0/043$) و درصد چربی بدن ($P=0/319$) در پس‌آزمون سه گروه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. تحلیل‌ها نشان داد که درصد توده‌ی عضلانی کل بدن در پس‌آزمون، بین سه گروه تفاوت معنی‌داری با هم داشت ($P=0/01$). برای مقایسه‌ی جفت‌گروه‌ها و تعیین برتری بین آن‌ها از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد که نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است. همچنین، نتایج آزمون تحلیل کوواریانس (جدول ۴) نشان داد که میزان کل آب بدن افراد سه گروه در پس‌آزمون، تفاوت معنی‌داری با هم ندارد ($P=0/45$).

با توجه به جدول ۴، نتایج آزمون نشان داد که میانگین نمرات تعدیل‌شده‌ی متغیر VEGF در پس‌آزمون سه گروه تفاوت معنی‌داری با هم دارد ($P=0/001$). همچنین، نتایج نشان داد که متغیر HIF-۱ در پس‌آزمون سه گروه تفاوت معنی‌داری با هم دارد ($P=0/001$). برای مقایسه‌ی جفت‌گروه‌ها و تعیین برتری بین آن‌ها، از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده

جدول ۳: میانگین و انحراف معیار پیش آزمون و پس آزمون متغیرهای پژوهش

متغیرها	گروه کنترل			تمرینات TRX با شدت کم و محدودیت جریان خون			تمرینات TRX با شدت زیاد		
	(میانگین $\pm$ انحراف معیار)			(میانگین $\pm$ انحراف معیار)			(میانگین $\pm$ انحراف معیار)		
	پیش آزمون	پس آزمون	P	پیش آزمون	پس آزمون	P	پیش آزمون	پس آزمون	P
VEGF (ng/ml)	۲۴۴/۲۵ $\pm$ ۷/۸۳	۲۵۲/۲۵ $\pm$ ۱۲/۲۰	۰/۶۴	۲۵۰/۶۲ $\pm$ ۹/۵۲	۲۷۵/۳۷ $\pm$ ۱۰/۷۴	۰/۰۰۱	۲۵۴/۵۰ $\pm$ ۱۰/۶۸	۲۶۷/۳۷ $\pm$ ۱۲/۶۶	۰/۰۰۱
HIF-۱ (ng/ml)	۴/۰۰ $\pm$ ۳۵/۱۶	۴/۳۶ $\pm$ ۰/۲۷	۰/۸۷	۴/۳۲ $\pm$ ۰/۱۵	۴/۹۹ $\pm$ ۰/۰۵	۰/۰۰۱	۴/۲۷ $\pm$ ۰/۲۵	۴/۷۲ $\pm$ ۰/۱۵	۰/۰۰۱
شاخص توده بدنی (Kg/m ^۲)	۲۱/۸۹ $\pm$ ۱/۹۴	۲۱/۱۸ $\pm$ ۲/۸۲	۰/۷۶	۲۲/۳۶ $\pm$ ۳/۵۷	۲۲/۳ $\pm$ ۹۵/۰۵	۰/۲۷	۲۲/۴۱ $\pm$ ۲/۱۱	۲۲/۵۰ $\pm$ ۲/۱۳	۰/۶۱
درصد چربی بدن (%)	۲۵/۰۴ $\pm$ ۴۹/۸	۲۵/۳۸ $\pm$ ۷/۰۴	۰/۷۶	۲۴/۲۹ $\pm$ ۶/۳۰	۲۲/۸۰ $\pm$ ۶/۳۵	۰/۰۱۵	۲۳/۹۸ $\pm$ ۶/۲۸	۲۳/۵ $\pm$ ۶۷/۰۷	۰/۲۹
توده عضلانی (%)	۳۹/۲۵ $\pm$ ۸۶/۴	۳۹/۵ $\pm$ ۹۵/۰۰	۰/۶۶	۳۶/۱۲ $\pm$ ۵/۹۹	۴۱/۴ $\pm$ ۷۲/۰۰	۰/۰۱۴	۴۱/۷۵ $\pm$ ۴/۰۶	۴۳/۲۵ $\pm$ ۴/۳۳	۰/۰۰۳
آب بدن (لیتر)	۲۹/۰۰ $\pm$ ۴۵/۲	۲۸/۷۵ $\pm$ ۳/۹۲	۰/۶۸	۲۸/۷۵ $\pm$ ۵/۲۳	۲۸/۷۵ $\pm$ ۵/۰۰	۰/۹۹	۳۰/۵۰ $\pm$ ۲/۸۷	۳۱/۶۲ $\pm$ ۳/۲۰	۰/۰۵۲

کردیم که نتایج آن در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی به دنبال معنادار بودن تحلیل

جدول ۴: نتایج آزمون تحلیل کوواریانس متغیرهای پژوهش

متغیرها	میانگین مربعات	F	Sig
VEGF	پیش آزمون	۱۰۸۵/۰۰	۰/۰۰۳
	گروه	۱۳۱۹/۱۱	۰/۰۰۱
	خطا	۹۴/۳۱	
HIF-۱	پیش آزمون	۰/۰۴	۰/۲۷
	گروه	۰/۷۹	۰/۰۰۱
	خطا	۰/۰۳	
شاخص توده بدنی	پیش آزمون	۱۵۶/۸۰	۰/۰۰۱
	گروه	۰/۳۲	۰/۴۳
	خطا	۰/۳۷	
درصد چربی بدن	پیش آزمون	۷۳۹/۱۱	۰/۰۰۱
	گروه	۷/۰۰	۰/۳۱۹
	خطا	۵/۷۹	
توده عضلانی کل بدن	پیش آزمون	۳۹۵/۲۴	۰/۰۰۱
	گروه	۴۱/۱۱	۰/۰۱
	خطا	۷/۰۱	
مقدار آب بدن	پیش آزمون	۴۷/۷۶	۰/۰۹
	گروه	۱۲/۵۳	۰/۴۵
	خطا	۱۵/۳۵	

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هر دو تمرین تعلیقی TRX با شدت کم به همراه محدودیت جریان خون و تمرین TRX با شدت زیاد نسبت به گروه کنترل افزایش معنی داری در سطوح VEGF، HIF-1 و بهبود توده‌ی عضلانی بدن دختران فعال ایجاد کرده است. همچنین، تمرین TRX با شدت کم و محدودیت جریان خون افزایش معنی‌داری نسبت به تمرین TRX با شدت زیاد در میزان HIF-1 نشان داد. تمرینات تعلیقی TRX با محدودسازی جریان خون نسبت به تمرینات تعلیقی TRX با شدت زیاد، افزایش بیشتری در میزان غلظت VEGF نشان داد، اما این افزایش بین دو گروه از لحاظ آماری، معنی دار نبود. نتایج مطالعه‌ی حاضر با یافته‌های واهل (Wahl) و همکاران (۲۰۱۱)، شیمیزو و همکاران (۲۰۱۶)، اکبرنژاد و همکاران (۱۳۹۷) و نادری بلداجی (۲۰۱۸) که افزایش سطوح VEGF پس از تمرین را نشان دادند، همسو بود [۱۰، ۱۱، ۱۹، ۱۸]. نتایج مطالعه‌ی ولگا فرناندز (Volga Fernandes) و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که ۸ هفته تمرینات مقاومتی با شدت کم و همراه با محدودیت جریان خون باعث افزایش بیان ژن VEGF نسبت به تمرین مقاومتی با شدت کم و بدون محدودیت در مردان فعال می‌شود [۲۰]. طی تمرین ورزشی، با کاهش سطوح گلیکوژن عضلانی، AMPK فسفریله و فعال می‌شود و از طریق

کوآرینانس در بین متغیرها نشان داد که توده‌ی عضلانی بدن در گروه تمرین TRX با محدودیت جریان خون تغییر معناداری نسبت به گروه کنترل دارد ($P=0/008$)، اما در مقایسه‌ی بین گروهی، تفاوت معنی‌داری بین دو گروه تمرین تعلیقی وجود نداشت ($P=0/279$). همچنین، فاکتور VEGF در هر دو گروه تمرینی نسبت به گروه کنترل افزایش معناداری داشت ($P=0/001$) و ($P=0/018$)، اما در مقایسه‌ی بین دو گروه تمرینی، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($P=0/114$). نتایج نشان دادند که متغیر HIF-1 در هر دو گروه تمرینی نسبت به گروه کنترل افزایش معناداری دارد ($P=0/001$) و ($P=0/002$). همچنین، در مقایسه‌ی بین دو گروه تمرینی، تفاوت معنی‌داری بین گروه تمرین TRX با محدودیت جریان خون ($P=0/114$) و گروه تمرین TRX با شدت زیاد ($P=0/114$) مشاهده شد که نشان‌دهنده‌ی تأثیر بیشتر تمرین TRX با شدت کم و محدودیت جریان خون نسبت به سایر گروه‌هاست.

نتایج تغییرات درون گروهی در جدول ۳ نشان داد که هر دو تمرین تعلیقی باعث بهبود معنی دار VEGF، HIF-1 و توده‌ی عضلانی بدن نسبت به پیش‌آزمون شده‌اند. تنها تمرین تعلیقی با شدت کم درصد چربی بدن را نسبت به پیش‌آزمون کاهش معنی داری داده بود. آب بدن و شاخص توده‌ی بدنی تغییر معنی‌داری نسبت به پیش‌آزمون در هیچ‌یک از گروه‌ها نداشت.

جدول ۵: نتایج آزمون بونفرونی برای مقایسه‌ی جفت گروه‌ها

متغیرها	گروه ۱ با گروه ۲		گروه ۱ با گروه ۳		گروه ۲ با گروه ۳	
	اختلاف میانگین	P	اختلاف میانگین	P	اختلاف میانگین	P
توده‌ی عضلانی بدن (%)	۴/۶۹۴	* ۰/۰۰۸	۲/۰۹۵	۰/۴۱۳	۲/۵۹۹	۰/۲۷۹
VEGF (ng/ml)	۲۵/۸۹۳	* ۰/۰۰۱	۱۴/۹۳۴	# ۰/۰۱۸	۱۰/۹۵۸	۰/۱۱۴
HIF-1 (ng/ml)	۰/۶۲۸	* ۰/۰۰۱	۰/۳۷۴	# ۰/۰۰۲	۰/۲۵۴	* ۰/۰۳۱

کنترل = گروه ۱، تمرین TRX با شدت کم و محدودیت جریان خون = گروه ۲، تمرین TRX با شدت زیاد = گروه ۳

* نشان‌دهنده‌ی تفاوت معنادار نسبت به گروه تمرین تعلیقی TRX با شدت کم و محدودیت جریان خون است.

نشان‌دهنده‌ی تفاوت معنادار نسبت به گروه تمرین تعلیقی TRX با شدت زیاد است.

افزایش PGC1 α ، سبب افزایش بیان ژن عامل رشد اندوتلیال می‌شود [۲۱]. تنظیم بیان VEGF در پاسخ به هیپوکسی تا حدود زیادی از طریق فاکتور القاشونده با هیپوکسی (HIF-1 α) تنظیم می‌شود. ژن VEGF شامل یک توالی نظارتی بالادست است که بیان آن را تنظیم می‌کند و هنگامی که با HIF-1 α باند می‌شود، رونویسی آن افزایش می‌یابد. در شرایط عادی که اکسیژن اطراف سلول وجود دارد، HIF-1 α هیدروکسیله می‌شود و در کمتر از ۵ دقیقه تجزیه می‌شود. با این حال، تحت شرایط هیپوکسی، HIF-1 α پایدار است و به هسته مهاجرت می‌کند و محرکی مهم برای بیان VEGF و بیش از ۱۰۰ ژن هدف دیگر درگیر در فرایندهای رگ زایی، گلبول‌سازی و متابولیسم گلوکز می‌شود [۲۲]. از طرفی، شواهد نشان می‌دهد که استرس برشی و هیپوکسی موضعی وارد شده به دیواره‌ی عروق مهم‌ترین محرک ورزش همراه با محدودیت جریان است که باعث افزایش بیان ژن و پروتئین‌های فاکتورهای آنژیوژنزی می‌شود [۲۳، ۲۰]. در مقابل، جو (Gu) و همکاران (۲۰۰۴)، کراس (Kraus) و همکاران (۲۰۰۴) و بهجتی و همکاران (۱۳۹۴) کاهش سطوح VEGF پس از تمرین ورزشی را گزارش کرده‌اند که با یافته‌های مطالعه‌ی حاضر ناهم‌سوست [۲۴-۲۶]. دلایل ناهم‌سوست بودن نتایج این مطالعات با مطالعه‌ی حاضر، احتمالاً نوع و شدت تمرینات استفاده‌شده (تمرینات هوازی با تردمیل یا وزنه‌ی تمرینی در مقابل تمرینات تعلیقی)، سن آزمودنی‌ها (افراد مسن در مقابل افراد جوان)، وضعیت آمادگی جسمانی و آنروپومتریکی (مردان ورزش کار استقامتی یا سالمندان در مقابل دختران فعال) و همچنین، شرایط هیپوکسی ایجادشده‌ی بیشتر با محدودیت جریان خون (استفاده از کاف در مقابل باند کشی) در مطالعه‌ی حاضر است.

دیگر نتیجه‌ی این مطالعه نشان داد که ۸ هفته تمرینات تعلیقی TRX با شدت کم به همراه محدودسازی جریان خون باعث افزایش معنی‌داری در میزان غلظت HIF-1 نسبت به گروه تمرینات TRX با شدت زیاد و گروه کنترل در دختران

فعال دانشجوی شده است. این یافته از پژوهش با نتایج تحقیق ولگا فرناندز (۲۰۲۲) و همکاران (۲۰۲۲) و لارکین (Larkin) و همکاران (۲۰۱۲) همسو بود و با نتایج تحقیق آملمن (Ameln) و همکاران (۲۰۰۵) و دراموند (Drummond) و همکاران (۲۰۰۸) ناهم‌سوست بود [۲۷-۲۹، ۲۰]. لارکین و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که تمرینات محدودیت جریان خون همراه با تمرینات مقاومتی کم‌شدت باعث افزایش بیان ژن HIF-1 α می‌شود [۲۷]. تفاوت پژوهش حاضر با تحقیق لارکین و همکاران (۲۰۱۲) در جنس آزمودنی‌ها، نوع و ماهیت تمرینات (تمرینات با وزنه در مقابل تمرینات TRX) و سطح فعالیت آزمودنی‌ها بود. استفاده از تمرینات محدودیت جریان خون در طی ورزش، جریان خون وریدی را مسدود می‌کند که به‌طور بالقوه، به هیپوکسی حاد بافت منجر می‌شود [۲۱]. فشار اکسیژن پایین محرکی قوی برای فعال‌سازی HIF در استئوبلاست‌هاست که به افزایش بیان VEGF و در پی آن، تشکیل عروق خونی کوچک (رگ‌زایی) منجر می‌شود؛ چنان‌که رابطه‌ی زمانی و مکانی بین رشد عروق خونی و رسوب ماتریکس استخوانی جدید از طریق مسیر HIF-VEGF در مدل استخوان‌سازی موش‌ها مشاهده شده است [۳۰]. در این مدل، رسوب استخوان، تعداد رگ‌ها و زمان درمان به‌طور درخور توجهی تحت تأثیر مهار گیرنده‌های VEGF1 و VEGF2 بود که به کاهش تشکیل استخوان و رگ‌های خونی منجر شد و به‌طور متناوب با افزایش بیان HIF 1 α /VEGF، به افزایش رسوب استخوان و تعداد عروق خونی انجامید [۳۲، ۳۱].

تمرینات تعلیقی TRX به مدت ۸ هفته با محدودسازی جریان خون تأثیر معنی‌داری بر BMI، درصد چربی بدن و میزان کل آب بدن دختران فعال دانشجوی نداشت. همسو با نتایج مطالعه‌ی حاضر، مطالعه‌ی محمدیان و همکاران (۱۴۰۰)، فرزانه حصاری و همکاران (۲۰۱۸) و سیلوا (Silva) و همکاران (۲۰۱۸) عدم تغییر در شاخص‌های BMI و درصد چربی بدن را با تمرینات مقاومتی به همراه محدودیت جریان خون در جمعیت‌های مختلف نشان داده‌اند

[۳۵-۳۳]. از طرفی، در تقابل با نتایج مطالعه‌ی حاضر، مطالعه‌ی کامپا (Campa) و همکاران (۲۰۲۱) که تأثیر ۱۲ هفته تمرینات تعلیقی TRX را نسبت به تمرینات مقاومتی سنتی در افراد مسن بررسی کرده بودند، بهبود در شاخص‌های ترکیبی بدنی مانند BMI، درصد چربی و آب بدن را نسبت به تمرینات مقاومتی سنتی و کنترل نشان داد [۱۳]. همچنین، سون (Sun) و همکاران (۲۰۲۲) در یک مطالعه‌ی مروری و متاآنالیز نشان دادند که تمرینات با محدودیت جریان خون باعث بهبود BMI و درصد چربی در افراد دارای اضافه‌وزن یا چاق می‌شود [۳۶]. به نظر می‌رسد که دلایل اصلی عدم تغییرات در درصد چربی بدن، وزن بدن و آب بدن در مطالعه‌ی حاضر، داشتن وزن نرمال و سابقه‌ی قبلی تمرین و فعال بودن آزمودنی‌ها نسبت به آزمودنی‌های مطالعات دیگر بود که اغلب چاق یا مسن بودند یا اضافه‌وزن داشتند. دلیل احتمالی دیگر عدم ناهم‌سویی نتایج ممکن است مدت کم دوره‌ی تمرینات در مطالعه‌ی حاضر (۸ هفته در مقابل ۱۲ هفته) نسبت به برخی از مطالعات پیشین باشد.

از دیگر نتایج مطالعه‌ی حاضر افزایش معنی‌دار توده‌ی عضلانی کل بدن بعد از ۸ هفته تمرینات تعلیقی TRX با شدت کم و محدودسازی جریان خون و تمرینات تعلیقی با شدت بالا در دختران فعال دانشجو بود. اغلب مطالعات انجام‌شده هم‌سو با مطالعه‌ی حاضر، بهبود توده‌ی عضلانی را همراه با تمرینات مقاومتی با شدت کم و محدودیت جریان خون یا تمرینات تعلیقی به‌تنهایی نشان داده‌اند [۳۴-۳۶]. نتایج تحقیقات درباره‌ی تمرینات قدرتی نشان می‌دهد که تمرینات مقاومتی با شدت بالا باعث افزایش توده‌ی عضلانی می‌شود، اما این تمرینات با بارهای سنگین ممکن است برای برخی از گروه‌های سنی مانند سالمندان، افراد کم‌سن‌وسال، افرادی که تازه از بند آسیب‌رهایی پیدا کرده‌اند یا افرادی که مشکلات قلبی و تنفسی دارند، مناسب نباشد. از این نظر، در این پژوهش، به دنبال ارائه‌ی روشی جایگزین برای تمرینات مقاومتی با شدت بالا هستیم که همان اثرات را داشته باشد. از مکانسیم‌های مؤثر در افزایش توده‌ی عضلانی پس

از تمرین مقاومتی کم‌شدت با محدودیت جریان خون می‌توان به افزایش در غلظت لاکتات، هورمون رشد و فسفات آلی اشاره کرد. همچنین، افزایش تحویل خون به بافت‌های عضلانی بلافاصله بعد از تمرین با محدودیت جریان خون می‌تواند در افزایش توده‌ی عضلانی مؤثر باشد. علاوه بر این، تمرین محدودیت جریان خون باعث افزایش ظرفیت فیلتراسیون مویرگی می‌شود که می‌تواند به افزایش توده‌ی عضلانی منجر شود [۷، ۳۶، ۳۷].

از محدودیت‌های مطالعه‌ی حاضر می‌توان به تعداد کم آزمودنی‌ها، عدم کنترل شرایط تغذیه‌ای، مدت‌زمان کوتاه دوره‌ی تمرینی و نداشتن ابزار خیلی دقیق برای اندازه‌گیری ترکیب بدنی اشاره کرد.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که ۸ هفته تمرین تعلیقی کم‌شدت با محدودیت جریان خون و تمرینات تعلیقی با شدت زیاد و بدون محدودیت جریان خون می‌تواند باعث بهبود HIF-1، VEGF و توده‌ی عضلانی کل بدن در دختران فعال دانشگاهی شود. با این حال، تمرینات تعلیقی با شدت کم تأثیر افزایشی معناداری در سطوح سرمی HIF-1 نسبت به تمرینات تعلیقی با شدت زیاد و بدون محدودیت جریان خون داشت. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌توان بیان کرد که تمرینات تعلیقی کم‌شدت با محدودیت جریان خون با ایجاد سازوکارهای درون و برون‌سلولی مشابه و در برخی موارد بهتر از تمرینات تعلیقی با شدت زیاد، سبب بهبود فاکتورهای رگ‌زایی و توده‌ی عضلانی می‌شود که می‌تواند روش تمرینی خوبی برای بهبود عوامل رگ‌زایی و ترکیب بدنی در دختران باشد.

قدردانی

از تمامی شرکت‌کنندگان و افرادی که در انجام این مطالعه ما را یاری کردند، نهایت تشکر و قدردانی را داریم. کد IR.URMIA.REC.1399.009 از کمیته‌ی اخلاق دانشگاه اخذ شد.

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله هیچ گونه تعارض منافی ندارد.

References

1. Byrne JM, Bishop NS, Caines AM, Crane KA, Feaver AM, Pearcey GEP. Effect of Using a Suspension Training System on Muscle Activation During the Performance of a Front Plank Exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2014; 28(11): 3049-55.
2. Behm DG, Anderson KG. The role of instability with resistance training. *J Strength Cond Res* 2006; 20(3): 716-22.
3. Dannelly BD, Otey SC, Croy T, Harrison B, Rynders CA, Hertel JN, et al. The effectiveness of traditional and sling exercise strength training in women. *J Strength Cond Res* 2011; 25(2): 464-71.
4. Gaedtke A, Morat T. TRX Suspension Training: A New Functional Training Approach for Older Adults - Development, Training Control and Feasibility. *Int J Exerc Sci* 2015; 8(3): 224-33.
5. Angleri V, Soligon SD, Da Silva DG, Bergamasco JGA, Libardi CA. Suspension Training: A New Approach to Improve Muscle Strength, Mass, and Functional Performances in Older Adults? *Front Physiol* 2019; 10: 1576.
6. Karabulut M, Abe T, Sato Y, Bembem MG. The effects of low-intensity resistance training with vascular restriction on leg muscle strength in older men. *Eur J Appl Physiol* 2010; 108(1): 147-55.
7. Li S, Wang P, Xin X, Zhou X, Wang J, Zhao J, et al. The Effect of Low Intensity Resistance Training with Blood Flow Restriction on Fall Resistance in Middle-Aged and Older Adults: A Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health* 2023; 20(6).
8. Ohno H, Shirato K, Sakurai T, Ogasawara J, Sumitani Y, Sato S, et al. Effect of exercise on HIF-1 and VEGF signaling. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine* 2012; 1(1): 5-16.
9. Ghahramani M, Razavi Majd Z. The Effect of Physical Activity on VEGF and HIF-1 Signaling. *J Clin Res Paramed Sci* 2020; 9(2): e98493.
10. Shimizu R, Hotta K, Yamamoto S, Matsumoto T, Kamiya K, Kato M, et al. Low-intensity resistance training with blood flow restriction improves vascular endothelial function and peripheral blood circulation in healthy elderly people. *Eur J Appl Physiol* 2016; 116(4): 749-57.
11. Naderi-Boldaji V, Joukar S, Noorafshan A, Raji-Amirhasani A, Naderi-Boldaji S, Bejeshk MA. The effect of blood flow restriction along with low-intensity exercise on cardiac structure and function in aging rat: Role of angiogenesis. *Life sciences* 2018; 209: 202-9.
12. Kullman EL, Saylor SM, Little KD. Efficacy of whole-body suspension training on enhancing functional movement abilities following a supervised or home-based training program. *The Journal of sports medicine and physical fitness* 2020; 60(2): 244-50.
13. Campa F, Schoenfeld BJ, Marini E, Stagi S, Mauro M, Toselli S. Effects of a 12-Week Suspension versus Traditional Resistance Training Program on Body Composition, Bioimpedance Vector Patterns, and Handgrip Strength in Older Men: A Randomized Controlled Trial. *Nutrients* 2021; 13(7): 2267.
14. Gianni-Barrera R, Trani M, Fontanellaz C, Heberer M, Djonov V, Hlushchuk R, et al. VEGF over-expression in skeletal muscle induces angiogenesis by intussusception rather than sprouting. *Angiogenesis* 2013; 16(1): 123-36.
15. Miyazawa-Hoshimoto S, Takahashi K, Bujo H, Hashimoto N, Yagui K, Saito Y. Roles of degree of fat deposition and its localization on VEGF expression in adipocytes. *American journal of physiology. Endocrinology and Metabolism* 2005; 288(6): E1128-36.
16. Hoier B, Hellsten Y. Exercise-Induced Capillary Growth in Human Skeletal Muscle and the Dynamics of VEGF. *Microcirculation* 2014; 21(4): 301-14.
17. Wilson JM, Lowery RP, Joy JM, Loenneke JP, Naimo MA. Practical blood flow restriction training increases acute determinants of hypertrophy without increasing indices of muscle damage. *J Strength Cond Res* 2013;

- 27(11): 3068-75.
18. Wahl P, Zinner C, Achtzehn S, Behringer M, Bloch W, Mester J. Effects of acid-base balance and high or low intensity exercise on VEGF and bFGF. *European journal of applied physiology* 2011; 111(7): 1405-13.
 19. Akbarnejad A, Yari M, Mohamadi M, Rajabi A. Comparison of the Low-Intensity Resistance Exercise with Blood Flow Restriction and High Intensity Resistance Exercise on Serum Levels of VEGF-A In Adolescent Athletes. *Journal of Applied Exercise Physiology* 2018; 14(27): 99-110 (Persian).
 20. Volga Fernandes R, Tricoli V, Garcia Soares A, Haruka Miyabara E, Saldanha Aoki M, Laurentino G. Low-Load Resistance Exercise with Blood Flow Restriction Increases Hypoxia-Induced Angiogenic Genes Expression. *J Hum Kinet* 2022; 84: 82-91.
 21. Lundby C, Calbet JA, Robach P. The response of human skeletal muscle tissue to hypoxia. *Cell Mol Life Sci* 2009; 66(22): 3615-23.
 22. Morici G, Bonanno A, Licciardi A, Valli G, Passino C, Bonardi D, et al. Plasma leptin and vascular endothelial growth factor (VEGF) in normal subjects at high altitude (5050 m). *Archives of Physiology and Biochemistry* 2013; 119(5): 219-24.
 23. Ferguson RA, Hunt JEA, Lewis MP, Martin NRW, Player DJ, Stangier C, et al. The acute angiogenic signalling response to low-load resistance exercise with blood flow restriction. *European journal of sport science* 2018; 18(3): 397-406.
 24. Gu JW, Gadonski G, Wang J, Makey I, Adair TH. Exercise increases endostatin in circulation of healthy volunteers. *BMC Physiol* 2004; 4: 2.
 25. Kraus RM, Stallings III HW, Yeager RC, Gavin TP. Circulating plasma VEGF response to exercise in sedentary and endurance-trained men. *Journal of applied physiology* 2004; 96(4): 1445-50.
 26. Behjati Ardakani A, Qassemian A, Koushki M, Shakour E, Mehrez A. The Effect of a Resistance Training Course on Blood Pressure and Nitric Oxide Levels in Elderly Women. *Salmand: Iranian Journal of Ageing* 2018; 13(1): 16-27 (Persian).
 27. Larkin KA, Macneil RG, Dirain M, Sandesara B, Manini TM, Buford TW. Blood flow restriction enhances post-resistance exercise angiogenic gene expression. *Med Sci Sports Exerc* 2012; 44(11): 2077-83.
 28. Ameln H, Gustafsson T, Sundberg CJ, Okamoto K, Jansson E, Poellinger L, Makino Y. Physiological activation of hypoxia inducible factor-1 in human skeletal muscle. *The FASEB journal* 2005; 19(8): 1009-11.
 29. Drummond MJ, Fujita S, Abe T, Dreyer HC, Volpi E, Rasmussen BB. Human muscle gene expression following resistance exercise and blood flow restriction. *Med Sci Sports Exerc* 2008; 40(4): 691-8.
 30. Schipani E, Maes C, Carmeliet G, Semenza GL. Regulation of osteogenesis-angiogenesis coupling by HIFs and VEGF. *J Bone Miner Res* 2009; 24(8): 1347-53.
 31. Jacobsen KA, Al-Aql ZS, Wan C, Fitch JL, Stapleton SN, Mason ZD, Cole RM, Gilbert SR, Clemens TL, Morgan EF, Einhorn TA. Bone formation during distraction osteogenesis is dependent on both VEGFR1 and VEGFR2 signaling. *Journal of Bone and Mineral Research* 2008; 23(5): 596-609.
 32. von Stengel S, Kemmler W, Kalender WA, Engelke K, Lauber D. Differential effects of strength versus power training on bone mineral density in postmenopausal women: a 2-year longitudinal study. *Br J Sports Med* 2007; 41(10): 649-55.
 33. Mohammadiyan M, Ghahremani Moghaddam M, Hakkakdokht E. The effect of two different intensities of resistance training with blood flow restriction on muscle strength, body fat percentage and serum level of Irisin in overweight women. *The Iranian Journal of Obstetrics, Gynecology and Infertility* 2021; 24(3): 42-50 (Persian).
 34. Silva M, Pereira P, Gerales A, Farias R, Santos J, Cirilo-Sousa M. Effects of resistance training with blood flow restriction on the body composition of postmenopausal women. *Int Phys Med Rehab J* 2018; 3(3): 195-8.
 35. Farzaneh Hesari A, Ebrahimi A, Azizi Zanjani M, Mahdavi S. Effects of Resistance Training with and without Blood Flow Restriction on Cardiovascular Risk Factors in Overweight Females. *Medical Laboratory Journal* 2018; 12(1): 31-6.
 36. Su Y, Wang F, Wang M, He S, Yang X, Luan Z. Effects of blood flow restriction training on muscle fitness and cardiovascular risk of obese college students. *Frontiers in Physiology* 2024; 14: 1252052.
 37. Yinghao L, Jing Y, Yongqi W, Jianming Z, Zeng G, Yiting T, et al. Effects of a blood flow restriction exercise under different pressures on testosterone, growth hormone, and insulin-like growth factor levels. *J Int Med Res* 2021; 49(9): 3000605211039564.