University of Birjand

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport Research Paper

Fall 2022, 10(23), 20-30

Received: Mar 30, 2021 Revised: Jun 20, 2021 Accepted: Jun 26, 2021

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

The effect of four weeks resistance training along with blood flow restriction on the cross-sectional area of non-restricted muscles in active men

Reza Moqimi [1]*, Hamid Rajabi [2], Sadegh Amani-Shalamzari [3]

1. MSc in Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.
2. Professor of Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

Abstract

Background and Aim: Resistance training along with blood flow restriction stimulates the response and release of anabolic hormones and increases hypertrophy in restricted muscles, however, the effect of this training method on adjacent non-restricted muscles has not been studied well. The aim of this study was to evaluate the effect of four weeks of resistance training along with blood flow restriction on anatomical cross-sectional area (CSA) of adjacent non-restricted muscles in active young men. **Materials and Methods**: Sixteen young men aged 25-30 years old were randomly divided into two groups (n=8) Including high-intensity resistance training (HIRT) and low-intensity resistance training with blood flow restriction (L-BFR). Both groups performed bench press and squat exercises three sessions per week during four weeks. In HIRT group, three sets of 10 repetitions (75% 1RM), and in the L-BFR, four sets of 30, 15, 15 and 15 repetitions (30% 1RM) was performed during every exercise. For L-BFR group, the restriction pressure was considered as 50% resting atrial occlusion pressure (AOP) at the beginning of the exercises and this pressure gradually was increased to 80% AOP during four weeks. At the beginning and 72 hours after the last training session, the CSA of triceps brachii, pectoralis major, quadriceps and gluteus maximus were calculated by MRI. Data were analyzed by paired sample t-test and analysis of covariance (ANCOVA) test at the significance level of $p<0.05$. **Results**: Four weeks of training lead to significant increase in the cross-sectional area of triceps brachii, quadriceps, pectoralis major and gluteus maximus in the HIRT (4%, 7.5%, 10%, 10% respectively) and L-BFR (11%, 12%, 18%, 22% respectively) groups. **Conclusion**: It seems that the anabolic effects caused by blood flow restriction exercises are not limited locally and can be transferred to the adjacent muscles involved in the exercise that are not directly affected by the blood flow restriction.

Keywords: Blood flow restriction training, Muscle hypertrophy, Muscles cross-sectional area, non-restricted muscles.

Cite this article:
Moqimi, R., Rajabi, H., & Amani-Shalamzari, S. (2022). 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, 10***(23), 20-30.**

* **Corresponding Author, Address: Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran; Email: rezamoqimi2626@gmail.com**

https://doi.org/10.22077/jpsbs.2021.4226.1625

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee **Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport (JPSBS)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نشریه مطالعات کاربردی علوم‌زیستی در ورزش
مقاله پژوهشی
پاییز ۱۴۰۱، دوره ۱۰، شماره ۲۳، ص ۳۰-۲۰
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۵
دانشگاه بیرجند
نشریه مطالعات کاربردی علوم زیستی در ورزش

تاثیر چهار هفته تمرین مقاومتی با محدودیت جریان خون بر سطح مقطع آناتومیکی عضلات محدود نشده مجاور در مردان فعال

رضا مقیمی[1*]، حمید رجبی[2]، صادق امانی[3]

۱. کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
۲. استاد گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
۳. استادیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: تمرین مقاومتی با محدودیت جریان خون، پاسخ و رهاسازی هورمون های آنابولیک را تحریک و هایپرتروفی را در عضلات محدود شده افزایش می دهد؛ با این وجود، تاثیر این شیوه تمرینی بر عضلات محدود نشده مجاور، کمتر بررسی شده است. هدف پژوهش حاضر بررسی تاثیر تمرین مقاومتی با محدودیت جریان خون بر سطح مقطع آناتومیکی عضلات محدود نشده مجاور در مردان جوان فعال بود. **روش تحقیق:** تعداد ۱۶ مرد جوان ۲۵ تا ۳۰ ساله به طور تصادفی به دو گروه (۸ نفره) شامل گروه تمرین مقاومتی با شدت بالا و تمرین مقاومتی با شدت پایین همراه با محدودیت جریان خون تقسیم شدند. هر دو گروه حرکات پرس سینه و اسکوات را سه جلسه در هفته و به مدت چهار هفته اجرا کردند. گروه تمرین مقاومتی با شدت بالا، سه نوبت ۱۰ تکراری با شدت ۷۵% قدرت بیشینه، و گروه با محدودیت جریان خون، چهار نوبت ۳۰، ۱۵، ۱۵ و ۱۵ تکراری با شدت ۳۰% قدرت بیشینه را برای هر حرکت اجرا کردند. در گروه با محدودیت جریان خون، فشار محدودکننده در شروع تمرینات ۵۰% فشار انسداد شریانی استراحتی افراد در نظر گرفته شد و بتدریج در خلال چهار هفته، به ۸۰% فشار انسداد شریانی استراحتی افزایش یافت. در شروع و ۷۲ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین، سطح مقطع عضلات سه سر بازویی، سینه ای بزرگ، چهار سر ران و سرینی بزرگ با دستگاه MRI اندازه گیری شد. داده ها با آزمون t همبسته و تحلیل کوواریانس در سطح معنی داری p<۰/۰۵ بررسی گردید. **یافته ها:** پس از چهار هفته، افزایش معنی داری در سطح مقطع عضلات سه سر بازویی، چهار سر رانی، سینه ای بزرگ و سرینی بزرگ هم در گروه تمرین مقاومتی با شدت بالا (به ترتیب با ۴%، ۷/۵%، ۱۰%، ۱۰%) و هم گروه محدودیت جریان خون (به ترتیب با ۱۱%، ۱۲%، ۱۸%، ۲۲%) مشاهده شد. **نتیجه گیری:** به نظر می رسدکه اثرات آنابولیکی ناشی از تمرینات با محدودیت جریان خون به صورت موضعی محدود نمی شود و می تواند به عضلات مجاور درگیر در تمرین که مستقیما تحت تاثیر محدودیت جریان خون نیستند، انتقال یابد.

واژه‌های کلیدی: تمرین با محدودیت جریان خون، هایپرتروفی عضلانی، سطح مقطع عضلانی، عضلات محدود نشده.

* نویسنده مسئول، آدرس: تهران، دانشگاه خوارزمی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی؛
پست الکترونیک: rezamoqimi2626@gmail.com
https://doi.org/10.22077/jpsbs.2021.4226.1625

مقدمه

تمرین با محدودیت جریان خون که به نام تمرینات کاتسو[1] نیز شناخته می شود، اولین بار در اوایل دهه ۱۹۶۰ در ژاپن معرفی شد. در این شیوه تمرینی، جریان خون به عضله توسط دستگاهی با نام کاتسو مستر[2] شامل یک باند کیسه ای حاوی هوا و متصل به سیستم کنترل فشار الکتریکی، به صورت نظارت شده محدود می شود. این شیوه می تواند با استفاده از یک کاف یا شریان بند که روی بخش انتهایی اندام قرار داده می شود، نیز اجرا گردد. فشار اعمال شده باید به میزانی باشد که جریان خون شریانی به عضله فعال را کاهش دهد. بدین ترتیب و با استفاده از بارهایی معادل ۳۰–۲۰ درصد یک تکرار بیشینه[3] (1RM) و از طریق سازوکارهایی که پس از ایجاد محدودیت جریان خون پدید می‌آید، مزایای تمرینات مقاومتی با شدت‌های بالا (۷۰ تا ۸۰ درصد 1RM)، فراهم می شود (پیرسون و هوسن[4]، ۲۰۱۵). در این زمینه پژوهش‌های زیادی تایید کرده‌اند که تمرین مقاومتی در شدت‌های بسیار پایین (۲۰ درصد 1RM) یا حتی تمرین هوازی همراه با محدودیت جریان خون، می‌تواند سنتز پروتئین عضلانی را تحریک کرده و هایپرتروفی را در عضلات محدود شده دست و پا به میزانی مشابه با تمرینات مقاومتی با بار سنگین (۸۰ درصد 1RM) افزایش دهد (ابه[5] و دیگران، ۲۰۰۶؛ فاس[6] و دیگران، ۲۰۱۲؛ پترسون و فرگوسن[7]، ۲۰۱۱؛ تاکارادا[8] و دیگران، ۲۰۰۲). شواهد جالبی هم وجود دارد که اعمال محدودیت جریان خون به تنهایی و بدون تمرین، می‌تواند آتروفی عضلانی ناشی از عدم فعالیت عضله را تعدیل نماید (کوبوتا[9] و دیگران، ۲۰۰۸؛ تاکارادا و دیگران، ۲۰۰۰). سازوکارهای اصلی که تصور می‌شود تمرینات با محدودیت جریان خون از طریق آن ها، رشد عضلانی را در اندام محدود شده تحریک می کند، شامل تجمع متابولیت‌ها، فراخوانی واحدهای حرکتی نیازمند آستانه تحریک بالاتر، افزایش فعال سازی مسیر پیام رسانی mTOR[10] و کاهش بیان مایوستاتین[11] می‌باشد (لئونک[12] و دیگران، ۲۰۰۹؛ امانی شلمزاری و دیگران، ۲۰۱۹). همچنین پژوهش‌های متعددی افزایش پاسخ غدد درون ریز و رهاسازی هورمون‌های آنابولیک سیستمیک[13] (محیطی) را به دنبال تمرینات با محدودیت جریان خون گزارش کرده‌اند (ابه و دیگران، ۲۰۰۵؛ ریوز[14] و دیگران، ۲۰۰۶؛ تاکانو[15] و دیگران، ۲۰۰۵؛ تاکارادا و دیگران، ۲۰۰۰؛ امانی شلمزاری و دیگران، ۲۰۲۰).

با توجه به نقش هورمون های سیستمیک بر هایپرتروفی عضلانی، بررسی تاثیرات آنابولیک ناشی از تمرینات با محدودیت جریان خون بر عضلات محدود نشده مجاور نیز دارای اهمیت می باشد. پژوهش های بسیار معدودی تاثیر این شیوه تمرینی را بر عضلات محدود نشده مجاور مورد بررسی قرار داده اند. ابه و دیگران (۲۰۰۵) پس از دو هفته (روزی دو بار) تمرین اسکوات و پشت پا[16] همراه با محدودیت جریان خون با شدت ۳۰ درصد 1RM، افزایش معنی دار در سطح مقطع عضله محدود نشده سرینی بزرگ را گزارش کرده اند. در این پژوهش، فشار محدود کننده برای تمام شرکت کنندگان ۱۶۰ میلی متر جیوه بوده است. یاسودا[17] و دیگران (۲۰۱۱) نیز افزایش معنی دار در سطح مقطع عضله محدود نشده سینه ای بزرگ را پس از شش هفته (سه روز در هفته) تمرین پرس سینه با شدت ۳۰ درصد 1RM گزارش کرده اند. فشار محدود کننده جریان خون بازوها در این پژوهش معادل ۱۰۰ میلی متر جیوه بوده است. در مقابل، ساکاماکی[18] و دیگران (۲۰۱۱) گزارش کرده اند که پس از سه هفته تمرین پیاده روی با سرعت ۵۰ مایل در دقیقه (هر جلسه پنج نوبت دو دقیقه ای) همراه با محدودیت جریان خون (۱۶۰ میلی متر جیوه برای محدود کردن جریان خون پاها)، علی رغم افزایش در سطح مقطع عضلات محدود شده ران و ساق پا، سطح مقطع عضلات محدود نشده سرینی بزرگ، خاصره‌ای - مازویی[19] و کمری تغییر معنی داری نکردند. در معدود پژوهش های پیشین (تمرینات مقاومتی- پیاده روی)، نتایج همسویی حاصل نشده است و به تمام آزمودنی‌ها، فشار محدود کننده ای یکسان و بدون در نظر گرفتن ویژگی‌های فردی، اعمال شده است. اعمال فشار محدوده کننده مشابه و یکسان به تمام آزمودنی ها، تفسیر نتایج پژوهش های پیشین را با مشکل همراه می سازد. زیرا عدم توجه به ویژگی های فردی در تعیین فشار محدود کننده، ممکن است با ایجاد تحریک تمرینی متفاوت در آزمودنی‌ها، سازگاری های عضلانی متفاوتی به همراه داشته باشد (پیگنانلی[20] و دیگران، ۲۰۲۱). از آنجا که جمع آوری داده‌های بیشتر با تغییر متغیرهای تمرینی (نظیر فشار محدود کننده شریانی)، ضروری به نظر می‌رسد؛ در پژوهش حاضر با اعمال فشار محدود کننده بر اساس ویژگی های فردی مخصوص به هر آزمودنی (دور بازو، دور ران، فشار سیستولی و دیاستولی)، تاثیر چهار هفته تمرین مقاومتی

1. Kaatsu
2. Kaatsu Master
3. One-repetition maximum
4. Pearson and Hussain
5. Abe
6. Fahs
7. Patterson and Ferguson
8. Takarada
9. Kubota
10. The mechanistic target of rapamycin
11. Myostatin
12. Loenneke
13. Systemic anabolic hormones
14. Reeves
15. Takano
16. Squat and leg curl
17. Yasuda
18. Sakamaki
19. Iliopsoas
20. Pignanelli

پرس سینه و اسکات با محدودیت جریان خون (۳۰ درصد 1RM) بر عضلات محدود نشده مجاور، هم در بالا تنه و هم در پایین تنه؛ بررسی گردید.

روش تحقیق

پژوهش حاضر به روش نیمه تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون اجرا شد. جامعه آماری این پژوهش دانشجویان پسر دانشگاه خوارزمی، ساکن در خوابگاه دانشجویی با دامنه سنی ۲۵ تا ۳۰ سال بودند. با استفاده از نرم افزار G*POWER نسخه 3.1.9.6 و با توجه به اندازه اثر ۰/۵۷، خطای نوع اول ۰/۵۰ توان آماری آزمون ۰/۸۰ تعداد ۱۶ نفر پس از تکمیل پرسش‌نامه سلامت، رضایت‌نامه و سابقه تمرینی؛ به عنوان آزمودنی در پژوهش شرکت کردند. انتخاب شدگان به طور تصادفی به دو گروه (هر گروه هشت نفر) تمرین مقاومتی شدت بالا (۷۵ درصد 1RM) و تمرین مقاومتی با شدت پایین (۳۰ درصد 1RM) همراه با محدودیت جریان خون، تقسیم شدند (جدول ۱). تمام آزمودنی های پژوهش حاضر از نظر جسمانی فعال بودند، به طوری که سابقه تمرینات مقاومتی سبک تا متوسط را در شش ماه گذشته داشتند. با این وجود، هیچ یک از آن ها تجربه شرکت در تمرینات با محدودیت جریان خون را نداشتند. در مطالعه حاضر، گروه تمرین محدودیت جریان خون با شدت پایین (۳۰ درصد 1RM) با گروه تمرین مقاومتی با شدت بالا (۷۵ درصد 1RM) مقایسه گردید. از آزمودنی ها خواسته شد در خلال دوره چهار هفته ای پژوهش، هیچ گونه مکمل غذایی یا دارویی مصرف نکنند. طرح پژوهش و روش شناسی آن، توسط کمیته اخلاق پژوهشگاه علوم ورزشی ایران مورد ارزیابی قرار گرفت و شناسه اخلاق IR.SSRC.REC.1399.135 برای آن اخذ گردید.

پروتکل تمرین: یک هفته پیش از شروع برنامه تمرینات، تمام آزمودنی ها در جلسه آشنایی با مراحل تمرین و آزمون قدرت بیشینه پویا شرکت کردند. هر دو گروه تمرین مقاومتی شدت با شدت بالا (۷۵ درصد 1RM) و تمرین مقاومتی با شدت پایین (۳۰ درصد 1RM) همراه با محدودیت جریان خون، حرکات اسکات و پرس سینه را سه جلسه در هفته (روزهای یک شنبه، سه شنبه و پنج شنبه) به مدت چهار هفته اجرا کردند. گروه تمرین مقاومتی با شدت بالا، سه نوبت ۱۰ تکراری با ۷۵ درصد 1RM را با استراحت دو تا سه دقیقه بین نوبت ها؛ و گروه تمرین مقاومتی با شدت پایین همراه با محدودیت جریان خون، چهار نوبت ۳۰، ۱۵، ۱۵ و ۱۵ تکراری را با ۳۰ ثانیه استراحت بین نوبت ها اجرا کردند (یاسودا و دیگران، ۲۰۱۱). در خلال تحقیق، آزمودنی ها در هیچ گونه فعالیت ورزشی دیگری شرکت نداشتند و از آنجا که تمام آزمودنی ها دانشجو و ساکن خوابگاه بودند، رژیم غذایی آن‌ها در خلال دوره تحقیق تفاوت قابل ملاحظه ای نداشت.

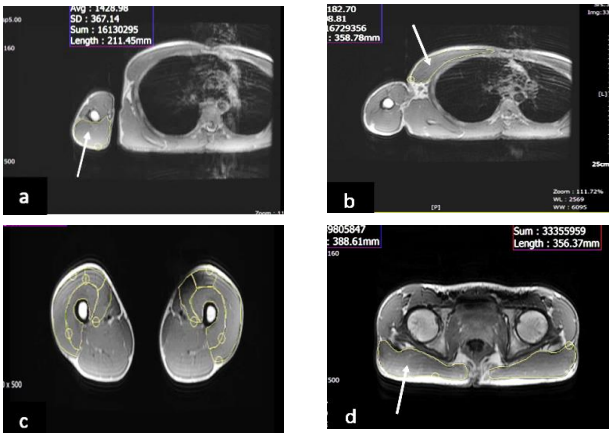
نحوه اعمال محدودیت جریان خون: برای محدود کردن جریان خون، بازوها و پاها در خلال اجرای حرکات پرس سینه و اسکات؛ یک کاف بادی قابل تنظیم (ساخت مرکز تندرستی قامت پویان، تهران، ایران) در قسمت بالایی اندام بسته شد. در تمام مدت اجرای حرکات و همچنین در فاصله زمانی استراحت بین نوبت ها، باد درون کاف تخلیه نشد؛ اما بلافاصله پس از اجرای کامل هر حرکت، باد درون کاف تخلیه گردید (پیگنانلی و دیگران، ۲۰۲۱) . از آنجا که اعمال فشار مشابه و یکسان به تمام افراد، لزوما نمی تواند جریان خون را به میزان یکسانی در هر فرد محدود کند (لئونک و دیگران، ۲۰۱۴)، برای اعمال تحریک مشابه به تمام آزمودنی ها و کاهش خطر اختلالات قلبی -عروقی، ۵۰ درصد فشار انسداد شریانی[1] استراحتی هر فرد (میانگین فشار محدود کننده در بازوها: ۳/۳ ±۷۴/۹۲ میلی متر جیوه؛ در پاها: ۹/۷۸±۱۳۵/۶ میلی متر جیوه) به عنوان فشار محدود کننده در هفته اول تمرینات در نظر گرفته شد (لئونک و دیگران، ۲۰۱۴؛ گوآلانو[2] و دیگران، ۲۰۱۰). این فشار در ابتدای هر هفته به میزان ۱۰ درصد افزایش یافت، به طوری که در ابتدای هفته چهارم، ۸۰ درصد فشار انسداد شریانی استراحتی هر فرد (میانگین فشار محدود کننده در بازوها: ۵/۲ ±۱۱۹/۹۱ میلی متر جیوه؛ در پا: ۱۶/۴۲±۹۶/ ۲۱۷ میلی مترجیوه) اعمال گردید (لئورنتینو[3] و دیگران، ۲۰۱۱). برای تعیین این فشار محدود کننده، فشار خون سیستولی و دیاستولی با استفاده از دستگاه فشارسنج دیجیتالی (Beurer BM55، ساخت کشور آلمان) اندازه گیری شد و فشار انسداد شریانی استراحتی هر فرد در بازو و پا، از طریق معادله های ارائه شده (زیر) توسط لئونک و دیگران (۲۰۱۴) برآورد گردید.

= (میلی متر جیوه) فشار انسداد شریانی در بازو
۱۷/۲۳۶ + (دور بازو)۱/۴۶۱ + (فشار خون دیاستولیک) ۰/۳۹۹ + (فشار خون سیستولیک) ۰/۵۱۴

= (میلی متر جیوه) فشار انسداد شریانی در پا
۲۲۰/۰۴۶ - (دور پا)۵/۸۹۳ + (فشار خون دیاستولیک) ۰/۹۱۲ + (فشار خون سیستولیک) ۰/۷۳۴

1. Atrial occlusion pressure
2. Gualano
3. Laurentino

انـدازه گیـری سـطح مقطـع آناتومیکـی عضـلات : پیـش از شـروع تمریـن، سـه روز بعـد از آخریـن جلسـه تمرینـی، سـطح مقطـع عضـلات سـه سـربازویی، سـینه ای بـزرگ، چهـار سـر رانـی و سـرینی بـزرگ در تمـام آزمودنـی هـا بـا دسـتگاه تصویربـرداری رزونانـس مغناطیسـی[1] (MRI) ۱/۵ تسـلا[2] (سـاخت شـرکت GE Healthcare، آمریـکا) در بیمارسـتان امـام خمینـی تهـران مـورد انـدازه گیـری قـرار گرفـت. انـدازه گیـری سـطح مقطـع عضـلات در طـرف راسـت بـدن، بـرای عضلـه سـینه ای بـزرگ، در مـکان بیـن دنـده سـوم و چهـارم (یاسـودا و دیگـران، ۲۰۱۱)؛ بـرای عضلـه سـه سـربازویی، در فاصلـه میانـی بیـن اپـی کندیـل جانبـی اسـتخوان بـازو و زائـده اخرمـی کتـف (اوزاکـی[3] و دیگـران، ۲۰۱۲)؛ بـرای عضلـه چهـار سـر رانـی، در نقطـه میانـی بیـن تروکانتـر بـزرگ ران و اپـی کندیـل خارجـی زانـو (یاسـودا و دیگـران، ۲۰۰۵)؛ و بـرای عضلـه سـرنی بـزرگ، در حجیـم تریـن بخـش آن صـورت قـرار گرفـت (شـکل ۱). آزمودنـی هـا یـک بـار در وضعیـت طـاق بـاز و بـار دیگـر بـه پهلـو، روی تخـت دسـتگاه قـرار گرفتنـد و سـطح مقطـع عضـلات انـدازه گیـری شـد. مـدت زمـان انـدازه گیـری بـرای هـر فـرد در پیـش آزمـون و پـس آزمـون، بـه طـور متوسـط ۳۰ دقیقـه بـود. تجزیـه و تحلیـل تصاویـر MRI در پیـش - و پـس از آزمـون بـا نـرم افـزار NIH image نسـخه ۵ صـورت گرفـت و اعـداد بـه میلـی متـر مربـع ثبـت گردیـد (شـکل ۱).



شکل ۱ . تصاویر نمونه از سطح مقطع عضلات. سه سر بازویی (a)، سینه ای بزرگ (b)، چهار سر رانی (c)، سرینی بزرگ (d).

روش هـای آمـاری: بـرای بررسـی طبیعـی بـودن توزیـع داده‌هـا، از آزمـون شـاپیرو - ویلـک[4] اسـتفاده شـد (جـدول ۱) و پـس از تاییـد، بـرای تعییـن اختـلاف بیـن میانگیـن متغیرهـا در پیـش و پـس آزمـون هـر گـروه، از آزمـون t وابسـته و بـرای تعییـن اختـلاف بیـن گـروه هـا، از آزمـون تحلیـل کوواریانـس[5] بهره‌بـرداری گردیـد. تجزیـه وتحلیـل داده هـا بـا نـرم افـزار SPSS26 صـورت گرفـت و سـطح معنـی داری p<۰/۰۵ در نظرگرفتـه شـد.

یافته ها

ویژگـی هـای فـردی آزمودنـی هـا قبـل از شـروع تمرینـات (میانگین±انحـراف اسـتاندارد) و بررسـی توزیـع طبیعـی داده هـا در دو گـروه شـرکت کننـده در جـدول ۱ ارائـه شـده اسـت. بـا اسـتفاده از آزمـون t مسـتقل مشـخص گردیـد کـه تفـاوت معنـی‌داری بیـن متغیرهـای سـن، وزن، شـاخص تـوده بدنـی، فشـارخون سیسـتولی و دیاسـتولی، و سـطح مقطـع عضلانـی بیـن دو گـروه شـرکت کننـده در قبـل از شـروع تمرینـات وجـود نـدارد (جـدول ۱). پـس از چهـار هفتـه مداخلـه، در گـروه محدودیـت جریـان خـون، سـطح مقطـع عضـلات سـه سـر بازویـی و سـینه ای بـزرگ بـه ترتیـب ۱۱% (p=۰/۰۴) و ۱۸% (p=۰/۰۱) و در گـروه مقاومتـی بـا شـدت بـالا، سـطح مقطـع عضـلات سـه سـر بازویـی و سـینه ای بـزرگ بـه ترتیـب ۴% (p=۰/۰۰۱) و۱۰% (p=۰/۰۰۶) افزایـش معنـی داری پیـدا کردنـد. همچنیـن سـطح مقطـع عضـلات چهـار سـر ران و سـرینی بـزرگ در گـروه محدودیـت جریـان خـون بـه ترتیـب ۱۲% (p=۰/۰۰۱) و ۲۲% (p=۰/۰۰۹)؛ و در گـروه تمریـن مقاومتـی بـا شـدت بـالا، بـه ترتیـب ۷/۵% (p=۰/۰۰۵) و ۱۰% (p=۰/۰۰۵) افزایـش پیـدا کـرد. بـا ایـن وجـود، اثـر دو مداخلـه انجـام شـده تفـاوت معنـی‌داری نداشـت (جـدول ۲).

بحث

نتایـج پژوهـش حاضـر نشـان داد کـه چهـار هفتـه تمرینـات مقاومتـی پـرس سـینه و اسـکات بـا شـدت بـالا (۷۵ درصـد 1RM)، سـطح مقطـع عضـلات سـه سـر بازویـی، سـینه ای بـزرگ، چهـار سـر ران و سـرینی بـزرگ را بـه طـور معنـی‌داری افزایـش مـی دهـد. از سـوی دیگـر، یافتـه اصلـی ایـن پژوهـش

1. Magnetic resonance imaging
2. Tesla
3. Ozaki
4. Shapiro - Wilk
5. Analysis of covariance

جدول ۱. توصیف (میانگین ± انحراف استاندارد) ویژگی های فردی شرکت کنندگان در تحقیق

متغیر	گروه محدودیت جریان خون	آزمون شاپیرو-ویلک	گروه تمرین مقاومتی با شدت بالا	آزمون شاپیرو-ویلک	تفاوت بین گروهی
		P – مقدار		P – مقدار	P
تعداد	۸	–	۸	–	–
سن (سال)	۲۸/۳۰±۲/۳۱	۰/۹۵	۲۸/۸۰±۱/۶۷	۰/۸۴	۰/۹۷
قد (سانتی متر)	۱۷۸±۶/۹۱	۰/۶۵	۱۷۶/۴۲±۴/۶۰	۰/۵۷	۰/۲۳
وزن (کیلوگرم)	۷۰/۵۰±۵/۶۰	۰/۲۹	۷۲/۱۲±۷/۱۰	۰/۴۵	۰/۸۶
شاخص توده بدنی (کیلوگرم/متر مربع)	۲۳/۴۰±۲/۵۰	۰/۳۲	۲۴/۴۰±۱/۴۷	۰/۲۵	۰/۲۳
فشار خون سیستولیک (میلی متر جیوه)	۱۲۰/۹۰±۸۰/۷۰	۰/۶۶	۱۱۹/۴۰±۱۱/۴۰	۰/۵۷	۰/۷۵
فشار خون دیاستولیک (میلی متر جیوه)	۶۹/۱۰±۴/۱۰	۰/۱۷	۷۱/۹۰±۵	۰/۲۸	۰/۸۳

جدول ۲ . نتایج آزمون t وابسته و تحلیل کوواریانس در خصوص مقایسه متغیرهای وابسته تحقیق

عضلات بررسی شده	گروه ها	سطح مقطع عضلانی (میلی متر مربع)		تفاوت درون گروهی		تفاوت بین گروهی	
		پیش آزمون	پس آزمون	t	p	F	p
سه سر بازو	محدودیت جریان خون	۲۹۲۸/۸۲±۶۵۰/۷۰	۳۱۵۵/۸۸±۶۳۹/۱۰	۱/۶۶	۰/۰۴*	۱/۲۶	۰/۲۸
	مقاومتی با شدت بالا	۳۱۴۹/۷۲±۵۵۲/۲۱	۳۲۷۸/۴۲±۶۱۵/۲۵	۴/۳۶	۰/۰۰۱*		
سینه ای بزرگ	محدودیت جریان خون	۳۰۶۲/۹۵±۶۱۲/۸۴	۳۵۵۲/۲۸±۵۱۱/۷۳	۳/۲۲	۰/۰۱*	۰/۹۷	۰/۳۴
	مقاومتی با شدت بالا	۳۱۷۳/۴۵±۵۵۲/۴۵	۳۴۷۶/۸۶±۵۲۸/۳۵	۳/۸۴	۰/۰۰۶*		
چهار سر رانی	محدودیت جریان خون	۶۶۰۲/۲۵±۵۷۰/۵۲	۷۳۷۶/۷۳±۶۶۲/۹۱	۸/۱۷	۰/۰۰۱*	۳/۵۷	۰/۰۸
	مقاومتی با شدت بالا	۷۱۰۵/۲۳±۸۴۰/۵۸	۷۶۵۸/۶۲±۱۱۰۹/۳۳	۳/۹۵	۰/۰۰۵*		
سرینی بزرگ	محدودیت جریان خون	۴۳۰۳/۸۳±۹۰۵/۲۵	۵۱۰۶/۹۴±۶۷۴/۹۳	۳/۵۷	۰/۰۰۹*	۰/۱۳	۰/۷۱
	مقاومتی با شدت بالا	۵۰۵۲/۶۴±۶۷۶/۸۵	۵۵۲۷/۵۴±۷۳۶/۷۲	۳/۹۹	۰/۰۰۵*		

* نشانه تفاوت معنی داری بین گروه ها در سطح p<۰/۰۵

دال بر این بود که تمرین مقاومتی با شدت پایین (۳۰ درصد 1RM) همراه با محدودیت جریان خون بازوها و پاها، نه تنها سطح مقطع عضلات محدود شده سه سر بازویی و چهار سررانی را افزایش می دهد، بلکه در افزایش سطح مقطع عضلات مجاور محدود نشده سینه ای بزرگ و سرینی بزرگ نیز به طور معنی داری موثر است. پژوهش های معدودی تاثیر تمرینات با محدودیت جریان خون را بر عضلات محدود نشده بررسی کرده اند. ابه و دیگران (۲۰۰۵) گزارش کرده اند که دو هفته (روزی دو بار) تمرینات مقاومتی اسکات و پشت پا با دستگاه، همراه با محدودیت جریان خون (۲۰ درصد 1RM)؛ سطح مقطع عضلات محدود شده چهار سر رانی، دوسر رانی و عضله محدود نشده سرینی بزرگ را به ترتیب ۸%، ۱۰% و ۹% افزایش می دهد. یاسودا و دیگران (۲۰۱۰) افزایش ضخامت عضله محدود شده سه سربازو (۸%) و عضله محدود نشده سینه ای بزرگ (۱۶%) را پس از دو هفته تمرین پرس سینه همراه با محدودیت جریان خون (۳۰ درصد 1RM) گزارش کرده اند. اوزاکی و دیگران (۲۰۱۳) نیز افزایش سطح مقطع عضله سه سر بازویی و سینه ای بزرگ را پس از شش هفته تمرین پرس سینه همراه با محدودیت جریان خون (۳۰ درصد 1RM) گزارش نموده اند. ساکاماکی و دیگران (۲۰۱۱) ضمن بررسی تاثیر سه هفته تمرین پیاده روی

همراه با محدودیت جریان خون بر سطح مقطع عضلات محدود شده ران و ساق پا و همچنین عضلات محدود نشده سرینی بزرگ، خاصره‌ای - مازویی و کمری؛ نشان داده اند که سطح مقطع عضلات ران و ساق در گروه پیاده روی با محدویت جریان خون، به ترتیب ۳/۸% و ۳/۲% افزایش می‌یابد؛ اما سایر عضلات تغییر معنی داری نمی کنند. علت احتمالی ناهمسویی نتایج ساکاماکی و دیگران (۲۰۱۱) با یافته های پژوهش حاضر می تواند شدت (به طور کلی) کمتر پروتکل تمرین پیاده روی (سرعت ۵۰ متر در دقیقه روی نوارگردان) در مقایسه با اجرای حرکت اسکات (۳۰ درصد 1RM) در مطالعه ما باشد. در این زمینه، ابه و دیگران (۲۰۱۲) شدت تمرین پیاده روی با محدودیت جریان خون را بر عضلات محدود شده چهار سر رانی، معادل ۱۰ تا ۲۰ درصد انقباض ارادی ایزومتریک بیشینه[1] (MVIC) و بر عضلات محدود نشده سرینی بزرگ، کمتر از ۲۰ درصد MVIC گزارش کرده اند. همسویی نتایج پژوهش حاضر با پژوهش های ابه و دیگران (۲۰۰۵)، یاسودا و دیگران (۲۰۱۰) و اوزاکی و دیگران (۲۰۱۳) فرضیه امکان انتقال اثرات آنابولیک ناشی از تمرینات با محدودیت جریان خون به عضلات محدود نشده مجاور (اما درگیر تمرین) را تایید می کند.

گزارش شده است که تمرینات با محدودیت جریان خون از طریق تجمع خون، تجمع متابولیت ها و هیپرترمی (پرخونی) واکنشی[2] پس از حذف محدودیت، تورم سلولی (تغییرات حاد در اندازه سلول) را افزایش می دهد (لئونک و دیگران، ۲۰۱۲). یاسودا و دیگران (۲۰۱۱) این افزایش تورم سلولی را در هر دو عضله محدود شده سه سر بازویی و عضله محدود نشده سینه ای بزرگ، بعد از یک وهله تمرین پرس سینه با محدودیت جریان خون، گزارش کرده اند؛ به گونه ای که بزرگی این تغییرات در عضله سینه ای بیشتر از عضله سه سر بازویی بوده است. بنابراین تورم سلولی می تواند به عنوان عاملی در رشد هر دو عضلات محدود شده و محدود نشده در نظر گرفته شود. در واقع، تورم سلولی یا افزایش حاد در اندازه عضله، با کاهش حجم پلاسما همراه است و در وهله نخست، نشان دهنده انتقال مایع از فضای عروقی به درون سلول عضلانی می باشد (ابه و دیگران، ۲۰۱۲). به نظر می رسد که تورم سلولی ناشی از تمرینات با محدودیت جریان خون، پس از شناسایی توسط یک حسگر حجمی، با فعال سازی یک نوع G پروتئین[3] میانجیگری شده توسط غشاء، منجر به فعال سازی مسیرهای پیام رسانیmTOR و پروتئین کیناز فعال شده با میتوژن[4] (MAPK) می شود (لئونک و دیگران، ۲۰۱۲). عامل mTOR به عنوان یک تنظیم کننده اصلی رشد عضلانی، با اثرگذاری بر هدف های پایین دستی، در نهایت افزایش سنتز پروتئین عضلانی را تحریک می کند (بودین[5] و دیگران،۲۰۰۱). بنابراین، تورم سلولی می تواند از کاتابولیسم پروتئینی جلوگیری کرده و تعادل پروتئین را در جهت آنابولیسم تغییر دهد (برنیس[6] و دیگران، ۱۹۹۹؛ کلر[7] و دیگران، ۲۰۰۳). پس از تمرینات با محدودیت جریان خون، تجمع متابولیکی با کاهش PH محیط می تواند ترشح هورمون رشد را نیز تحریک کند (هوانگ[8] و دیگران، ۲۰۱۷).

اگرچه در مطالعه حاضر پاسخ هورمون های آنابولیک مورد بررسی قرار نگرفت، اما افزایش غلظت های سیستمیک هورمون های آنابولیک در پاسخ به تمرینات محدودیت جریان خون، می تواند عامل مهم دیگری در افزایش هایپرتروفی در هر دو عضلات محدود شده و محدود نشده باشد. در تایید این موضوع، پژوهش های متعددی افزایش هورمون رشد و همچنین عامل رشد شبه انسولینی-۱[9] (IGF-1) را در خلال و پس از جلسه تمرین انسدادی گزارش کرده اند. لئونک و دیگران (۲۰۱۲) نشان داده اند که اجرای تمرینات با محدودیت جریان خون، سطوح هورمون رشد را تا ۲۹۰ برابر افزایش می دهد. پژوهشی دیگر نشان داده که ایسکمی (کم خونی)[10] عضله اسکلتی همراه با حرکت باز کردن زانو با شدت پایین، سطوح هورمون رشد را به میزان معنی داری افزایش می دهد (پیرس و دیگران، ۲۰۰۶). شواینفلد[11] و دیگران (۲۰۱۳) نیز افزایش ۱۰ برابری هورمون رشد را در گروه تمرینات با محدودیت جریان خون نسبت به گروه کنترل نشان داده اند. با این که پیرامون نقش مستقیم هورمون رشد بر سنتز پروتئین عضلانی هنوز اختلاف نظرهایی وجود دارد؛ اما این باور وجود دارد که هورمون رشد با تحریک رها سازی IGF_1، به فرآیند کلی هایپرتروفی عضلانی کمک می کند (رنی[12]، ۲۰۰۳؛ وبر[13] ، ۲۰۰۲). در واقع، افزایش ناشی از تمرین در هورمون رشد با افزایش تولید کبدی IGF_1 (بورست[14] و دیگران، ۲۰۰۱) و تولید درون عضلانی IGF_1 ؛ سنتز پروتئین عضلانی را تحریک می کند (فلورینی[15] و دیگران، ۱۹۹۶). نقش ایزوفرم های IGF-1 در هایپرتروفی عضلات اسکلتی

1. Maximal voluntary isometric contraction
2. Reactive hyperemia
3. G-protein
4. Mitogen-activated protein kinase
5. Bodine
6. Bernis
7. Keller
8. Hwang
9. Insulin-like growth factor 1
10. Ischemia
11. Schoenfeld
12. Rennie
13. Weber
14. Borest
15. Florini

می تواند تحریک، تکثیر و ادغام سلول های ماهواره ای[1] موجود در تارهای عضلانی باشد (تویگو و بوتلیر[2]، ۲۰۰۶؛ ولوسو[3]، ۲۰۰۸).

عامل احتمالی دیگری که می تواند در افزایش هایپرتروفی عضلات محدودشده و محدودنشده تاثیر گذار باشد، افزایش فعالیت الکتریکی عضله محدود شده (ایل بیگی و دیگران، ۲۰۲۰) و محدود نشده (یاسودا و دیگران، ۲۰۰۶) باشد. یاسودا و دیگران (۲۰۰۶) فعالیت الکترومایوگرافی[4] عضله محدود شده سه سر بازویی و عضلات محدود نشده سینه‌ای بزرگ را در دو گروه با و بدون محدودیت جریان خون، در حرکت پرس سینه، مقایسه کرده اند. این پژوهشگران گزارش نموده اند که در خلال چهار نوبت تمرین پرس سینه، فعالیت الکترومایوگرافی در گروه با محدودیت جریان خون در هر دو عضله محدود شده و عضلات محدود نشده، به طور تدریجی افزایش می یابد؛ به طوری که در اولین نوبت تمرین، میانگین شدت تمرین از الکترومایوگرافی نرمال سازی شده در هر دو گروه، تقریبا ۴۰ درصد 1RM می باشد. با این وجود، میانگین شدت تمرین در هر دو عضله در چهارمین نوبت در گروه با محدودیت جریان خون، معادل ۷۰-۶۰ درصد 1RM و در گروه کنترل تنها ۵۰ درصد 1RM بود. پژوهشگران نتیجه گرفتند که افزایش ها در فعالیت الکترومایوگرافی یکپارچه در عضلات محدود نشده تنه در خلال تمرینات انسدادی، احتمالا عامل مهمی در هایپرتروفی عضلانی ناشی از تمرین است. درگیری عضلانی بیشتر در عضلات محدود نشده ممکن است بدلیل جبران کسر توسعه نیروی عضله سه سر بازویی در خلال تمرین انسدادی پرس سینه رخ دهد (ابه و دیگران، ۲۰۱۲).

از جمله محدودیت های پژوهش حاضر، عدم امکان ارزیابی فعالیت الکتریکی عضله با روش الکترومایوگرافی بود. همچنین بدلیل هم زمانی دستورالعمل وزارت بهداشت مبنی بر تخلیه خوابگاه دانشجویی به منظور پیشگیری از شیوع بیماری کرونا، امکان اجرای آزمون قدرت بیشینه در انتهای پژوهش میسر نشد.

نتیجه گیری: با توجه به نتایج پژوهش حاضر و نتایج سایر پژوهش ها در این زمینه، به نظر می رسد که اثرات آنابولیکی ناشی از تمرینات با محدودیت جریان خون به صورت موضعی محدود نمی شود و می تواند به عضلات مجاور درگیر در تمرین، اما به دور از محدودیت جریان خون مستقیم، نیز انتقال یابد. از آنجا که در این پژوهش تاثیر تمرینات با محدودیت جریان خون بر عضلات محدود نشده، اما درگیر در تمرین بررسی شد، پیشنهاد می شود تاثیر تمرینات با محدودیت جریان خون بر عضلات محدود نشده، بدون تحریک تمرینی، اما تحت تاثیر تحریک موضعی انسداد خون نیز مورد بررسی قرار گیرد (برای مثال اعمال محدودیت جریان خون در یک بازو و بررسی تاثیر آنابولیکی این روش تمرینی بر عضلات بازوی محدود نشده دیگر).

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

قدردانی و تشکر: این مقاله حاصل پایان نامهٔ کارشناسی ارشد مصوب در دانشگاه خوارزمی تهران است. بدین وسیله پژوهشگران از تمامی شرکت کنندگان و بویژه از مسئولین خوابگاه دانشجویی دانشگاه خوارزمی، تشکر می کنند.

منابع

Abe, T., Kearns, C.F., & Sato, Y. (2006). Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *European Journal of Applied Physiology*, *100***(5), 1460-6.**

Abe, T., Yasuda, T., Midorikawa, T., Sato, Y., Kearns, C. F., Inoue, k., ... & Ishii, N. (2005). Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily Kaatsu resistance training. *International Journal of KAATSU Training Research, 1***(1), 6-12.**

Abe, T., Loenneke, J.P., Fahs, C.A., Rossow, L., Robert, S., Thiebaud, R., & Bemben, M. (2012). Exercise intensity and muscle hypertrophy in blood flow–restricted limbs and non-restricted muscles: a brief review. *Clinical Physiology and Functional Imaging, 32***(4) ,247–52.**

Amani-Shalamzari, S., Farhani, F., Rajabi, H., Abbasi, A., Sarikhani, A., & Paton, C. (2019). Blood Flow Restriction During Futsal Training Increases Muscle Activation and Strength. *Frontiers in Physiology, 10*, **614.**

1. Satellite cells
2. Toigo and Boutllier
3. Velloso
4. Electromyography

Amani-Shalamzari, S., Sarikhani, A., Paton, C., Rajabi, H., Bayati, M., & Nikolaidis, P.T. (2020). Occlusion Training During Specific Futsal Training Improves Aspects of Physiological and Physical Performance. *Journal of Sports Science and Medicine, 19***(2), 374-82.**

Berneis, K., Ninnis, R., Haussinger, D., & Keller, U. (1999). Effect of hyper- and hypoosmolality on whole body protein and glucosekinetic in humans. *The American Journal of Physiology, 276***(1), 188-95.**

Bodine, S.C., Stitt, T.N., Gonzalez ,M., Kline, W.O., Stover, G.L., Bauerlein, R., … Yancopoulos, G.D. (2001). Akt/mTOR pathway is a crucial regulator of skeletal muscle hypertrophy and can prevent muscle atrophy in vivo. *Nature Cell Biology, 3***(11), 1014-9.**

Borest, E., Hoyos, D., & Garzarella, L. (2001). Effects of resistance training on insulin-like growth factor-I and IGF binding proteins. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 33***(4), 648– 53.**

Fahs, C. A., Loenneke, J.P., Rossow, J.P., Thiebaud, R.S., & Bemben, M.G. (2012). Methodological considerations for blood flow restricted resistance exercise. *Journal of Trainology, 1***(1), 14-22.**

Florini, J., Ewton, D., & Coolican, S.A. (1996). Growth hormone and insulin-like growth factor system in myogenesis. *Endocrine Reviews, 17***(5), 481–517.**

Gualano, B., Neves, M.J., Lima, F.R., Pinto, A.L., Laurentino, G., … & Ugrinowitsch, C. (2010). Resistance training with vascular occlusion in inclusion body myositis: a case study. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 42***(2), 250-4.**

Hwang, P., & Willoughby, D.S. (2017). Mechanisms Behind Blood Flow Restricted Training and its Effect Towards Muscle Growth. *The Journal of Strength and Conditioning Research, 1***(1), 1.**

Ilbeigi, S., Yousefi, M., & Ghasemi, F. (2020). Effect of one session of high intensity interval exercise with and without blood flow restriction on electrical selected Mmuscles activity of brachial in trained female. *Journal of Paramedical Science and Rehabilitation, 9***(4), 7-15.**

Keller, U., Szinnai, G., Bilz, s., & Berneis, K. (2003). Effects of changes in hydration on protein, glucose and lipid metabolism in men: impact on health. *European Journal of Clinical Nutrition, 57***(2), 69-74.**

Kubota, A., Sakuraba, K., Sawaki, K., Sumide, T., & Tamura, Y. (2008). Prevention of disuse muscular weakness by restriction of blood flow. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 40***(3), 529-34.**

Laurentino, G.C., Ugrinowitsch, C., Roschel, H., Aok, M.S., Soares, A., Neves, M.J., … & Tricoli, V. (2011). Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 44***(3), 406-12.**

Loenneke, J.P., Abe, T., Wilson, J., Ugrinowitsch, C., & Bemben, M. (2012). Blood flow restriction: how does it work?. *Frontiers in Physiology, 3***, 392.**

Loenneke, J.P., Allen, K.M., Mouser, J., Thiebaud, R.S., Kim, D., Abe, T., & Bemben, M. (2014). Blood flow restriction in the upper and lower limbs is predicted by limb circumference and systolic blood pressure. *European Journal of Applied Physiology, 115***(2), 397- 405.**

Loenneke, J.P., Fahs, C.A., Rossow, L.M., Abe, T., & Bemben, M. (2012). The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling. *Medical Hypotheses, 78***(1), 151-4.**

Loenneke, J.P., Wilson, G.J., & Wilson, J.M. (2009). A mechanistic approach to blood flow occlusion. *International Journal of Sports Medicine, 31***(1), 1-4.**

Ozaki, H., Yasuda, T., Ogasawara, R., Sakamaki-Sunaga, M., Naito, H., & Abe, T. (2012). Effects of high-intensity and blood flow-restricted low-intensity resistance training on carotid arterial compliance: role of blood pressure during training sessions. *European Journal of Applied Physiology, 113***(1), 167–74.**

Patterson, S.D., & Ferguson, R.A. (2011). Enhancing strength and post occlusive calf blood flow in older people with training with blood-flow restriction. *Journal Aging Physiology, 19***(3), 201-13.**

Pearson, J.S., & Hussain, S.R. (2015). A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Medicine, 45***(2), 187-200.**

Pierce, J., Clark, B., Ploutz-Snyder, L., & Kanaley, J.A. (2006). Growth hormone and muscle function responses to skeletal muscle ischemia. *Journal of Applied Physiology, 101***(6), 1588–95.**

Pignanelli, C., Christiansen, D., & Jamie F. Burr. (2021). Blood flow restriction training and the high-performance athlete: science to application. *Journal of Applied Physiology, 130***(4), 1163–1170**

Reeves, G., Kraemer, R., Hollander, D.B., Clavier,J., Thomas, C., Francois, M., & Castracane., V.D. (2006). Comparison of hormone responses following light resistance exercise with partial vascular occlusion and moderately difficult resistance exercise without occlusion. *Journal of Applied Physiology, 101***(6), 1616-22.**

Rennie, M. (2003). Claims for the anabolic effects of growth hormone: a case of the emperor's new clothes? *British Journal of Sports Medicine, 37***(2), 100-5.**

Sakamaki, M., Bemben, M., & Abe, T. (2011). Legs and trunk muscle hypertrophy following walk training with restricted leg muscle blood flow. *Journal of Sports Science and Medicine, 10***(2), 338-40.**

Schoenfeld, B. (2013). Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Medicine, 43***(3), 179-94.**

Takano, H., Morita, T., Iida, H., Asada, K., , Kato,M., Uno, K., … & Nakajima, T. (2005). Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *European Journal of Applied Physiology, 95***(1), 65-73.**

Takarada, Y., Sato Y., & Ishii, N. (2002). Effect of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *European Journal of Applied Physiology, 86***(4), 308-14.**

Takarada, Y., Nakamura, Y., Aruga, S., Onda, T., Miyazaki ,S., & Ishii, N. (2000). Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *European Journal of Applied Physiology, 88***(1), 61-5.**

Takarada, Y., Takazawa, H., & Ishii, N. (2000). Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 32***(12), 2035-39.**

Toigo, M., & Boutellier, U. (2006). New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *European Journal of Applied Physiology*, 97**(6), 643-63.**

Velloso, C.P. (2008). Regulation of muscle mass by growth hormone and IGF-I. *British Journal of Pharmacology, 154***(3), 557-68**

Weber, M.M. (2002). Effects of growth hormone on skeletal muscle. *Hormone Research, 58***(3), 43–8.**

Yasuda, T., Abe, T., Sato, Y., Midorikawa, T., Kearns, C.F., Inoue, K., … & Ishii, N. (2005). Muscle fiber cross-sectional area is increased after two weeks of twice daily KAATSU-resistance training. *International Journal of KAATSU Training Research, 1***(2), 65-70.**

Yasuda, T., Fujita, S., Miyagi, Y., Kubota, Y., Sato, Y., Nakajima, T., … & Abe, T. (2006). Electromyographic responses of arm and chest muscle during bench press exercise with and without KAATSU. *International Journal of KAATSU Training Research, 2***(1), 15-8.**

Yasuda, T., Fujita, S., Ogasawara, R., Sato, Y., & Abe, T. (2010). Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study. *Clinical Physiology and Functional Imaging, 30***(5), 338-43.**

Yasuda, T., Ogasawara, R., Sakamaki, M., Bemben, M.G., & Abe, T. (2011). Relationship between limb and trunk muscle hypertrophy following high-intensity resistance training and blood flow–restricted low-intensity resistance training. *Clinical Physiology and Functional Imaging, 31***(5), 347-51.**