Journal of Sport Biosciences
University of Tehran Press
Online ISSN: 2676-4148

The Effect of Twelve Weeks of Blood Flow Restriction Training with Citrulline Malate Supplementation on Hypertrophy and IGF-1 in Young Male Athletes

Mohsen Salamat Toumatari [1], Roghayeh Fakhrpour [2]✉

1. Department of Sport Sciences, Faculty of Education and Psychology, Azerbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran. E-mail: Mohsensalamat77@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Sport Sciences, Faculty of Education and Psychology, Azerbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran. E-mail: r.fakhrpour@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research

Article history:
Received:
4 April 2025
Received in revised form:
7 October 2025
Accepted:
12 October 2025
Published online:
2 December 2025

Keywords:
Blood flow Restriction, Citrulline Malate Supplementation, Hypertrophy, Male Athletes.

ABSTRACT

Introduction: Blood flow restriction (BFR) training combined with ergogenic supplements such as citrulline malate can influence muscle hypertrophy and IGF-1 levels by enhancing anabolic pathways. The general aim of this study was to determine the effect of twelve weeks of BFR training along with citrulline malate supplementation on muscle hypertrophy and IGF-1 in young male athletes**.**

Methods: In this experimental study, 40 young male athletes with normal body mass index from Tabriz City were randomly assigned to four groups: BFR training + supplement, BFR training + placebo, supplement only, and control + placebo. The two training groups exercised for 12 weeks, and cuff pressure was gradually increased from 130 to 200 mmHg. Citrulline malate supplementation was administered at a dose of 8 g per kg of body weight, 30 to 60 minutes before exercise. The study was conducted in a double-blind manner. Serum IGF-1 levels were assessed using the ELISA method, and hypertrophy of the quadriceps and biceps muscles was evaluated by limb circumference measurements. After confirming data normality using the Shapiro-Wilk test, analysis of covariance, Tukey's post hoc test, and paired t-test were employed and analyzed using SPSS software version 22 with a significance level of 0.05.

Results: Twelve weeks of BFR training combined with citrulline malate supplementation had a significant effect on biceps and quadriceps hypertrophy (p=0.001) and serum IGF-1 levels (p=0.001) in young male athletes.

Conclusion: BFR training is an effective tool for improving training outcomes and increasing muscle growth factors such as IGF-1. The findings of this study recommend its inclusion in exercise programs to optimize muscle hypertrophy.

Cite this article: Salamat Toumatari M., & Fakhrpour R. The Effect of Twelve Weeks of Blood Flow Restriction Training with Citrulline Malate Supplementation on Hypertrophy and IGF-1 in Young Male Athletes. *Journal of Sport Biosciences.* 2025; 17 (3): 53-69.

DOI: http//doi.org/10.22059/JSB.2025.39293.1675.

Journal of Sport Biosciences by University of Tehran Press is licensed under CC BY-NC 4.0. | Web site: https://jsb.ut.ac.ir/ | Email: jsb@ut.ac.ir.

© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.

Journal of Sport Biosciences
University of Tehran Press
Online ISSN: 2676-4148

Extended Abstract

Introduction

The sports and fitness industry is rapidly evolving, with new training methods continually emerging. One such method is blood flow restriction (BFR) training, which involves intentionally reducing blood flow during exercise using a tourniquet. Originally popular in Japan, BFR allows even low-intensity exercises to promote significant muscle hypertrophy and strength gains. Insulin-like Growth Factor-1 (IGF-1) plays a crucial role in skeletal muscle growth, regeneration, and strength. It primarily functions through the activation of the PI3K/Akt signaling pathway. Meanwhile, Citrulline Malate (CM), a precursor to nitric oxide, has gained attention as an ergogenic aid that enhances exercise performance by improving ATP production and blood flow. Studies suggest that both BFR training and CM supplementation independently promote muscle hypertrophy and performance, although findings are inconsistent. The combined effects of BFR training and CM supplementation have yet to be thoroughly examined. Therefore, this study aimed to investigate the impact of twelve weeks of BFR training combined with CM supplementation on muscle hypertrophy and IGF-1 levels in young male athletes.

Methods

The study included two experimental groups: one group performed blood flow restriction (BFR) training with creatine monohydrate (CM) supplementation, while the other group did BFR training without supplementation. Over a period of twelve weeks, both groups engaged in eight resistance exercises: machine biceps curl, standing barbell curl, cable triceps pushdown, French dumbbell triceps extension, leg extension, leg curl, back squat, and leg press. Each participant's one-repetition maximum (1RM) was measured individually before the training began and reassessed after four weeks. The training intensity progressed every four weeks, starting at 30% of 1RM for the first four weeks, then increasing to 40% of 1RM for weeks five to eight, and finally reaching 50% of 1RM for weeks nine to twelve. The exercise sets followed either a 30-15-15-15 or a 15-10-10-10 repetition scheme, with participants resting for 30 to 60 seconds between sets. The tempo for movements was consistently maintained at a ratio of 1:2 to 1:4 for concentric and eccentric phases. Members of the supplementation group consumed 8 grams of creatine monohydrate 30 to 60 minutes before exercising, while the placebo group was given flavored dextrin capsules. The trial utilized a double-blind design, ensuring that neither the participants nor the researchers were aware of the group assignments. Maximum strength was calculated using the Brzycki equation, and serum IGF-1 concentrations were measured using the ELISA method (Mediagnost, Germany). Data analysis involved descriptive statistics, the Shapiro-Wilk and Levene's tests for normality and homogeneity, and ANCOVA for intergroup comparisons. Paired t-tests were used to evaluate differences within groups, with statistical significance set at $p < 0.05$ (using SPSS v22).

Results

The demographic characteristics of the participants are presented in Table 2. Shapiro-Wilk tests confirmed the normality of the data. Paired t-tests showed significant increases in quadriceps hypertrophy in both the Blood Flow Restriction (BFR) and BFR + supplement groups after the intervention ($p < 0.05$). However, the changes observed in the placebo and supplement-only groups were not significant. ANCOVA results indicated significant differences between groups ($p = 0.001$), with Bonferroni tests confirming that hypertrophy was significantly greater in the BFR + supplement group compared to all other groups ($p < 0.05$). Additionally, biceps hypertrophy significantly increased only in the BFR + supplement group ($p < 0.001$). Serum IGF-1 levels showed significant increases in all groups except the placebo, with ANCOVA and post-hoc analyses revealing the highest elevations in the BFR + supplement group ($p < 0.001$).

Conclusion

This study found that twelve weeks of blood flow restriction (BFR) training, combined with Citrulline Malate (CM) supplementation, significantly enhanced muscle hypertrophy and serum IGF-1 levels in young male athletes. BFR, which is performed using low loads (30–50% of one-rep max), stimulates hypertrophic and hormonal responses similar to traditional high-load resistance training, making it suitable for individuals who are unable to lift heavy weights. The ischemic environment created by BFR promotes metabolic stress, cellular swelling, and the release of anabolic hormones, all of which stimulate IGF-1 production and muscle growth. CM, a precursor to nitric oxide, enhances vascular dilation and improves nutrient delivery to muscles, thereby supporting recovery and performance. While CM alone did not significantly increase muscle hypertrophy, its combination with BFR resulted in synergistic effects, leading to greater growth in the quadriceps and biceps, as well as elevated IGF-1 levels. These findings are consistent with previous research, which indicates that BFR enhances IGF-1 expression through the PI3K/Akt signaling pathway and increases metabolic stress. The results suggest that the combination

Journal of Sport Biosciences
University of Tehran Press
Online ISSN: 2676-4148

of BFR and CM can optimize muscular adaptation while minimizing joint strain, offering an effective strategy for enhancing strength and hypertrophy. However, the study has limitations, including its focus on young men and the absence of long-term follow-up to assess sustained hormonal or morphological changes.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines:
The current study was conducted in full compliance with ethical standards in Faculty of Education and Psychology, Azerbaijan Shahid Madani University

Funding:
This study is derived from a master's thesis in sports science and applied sports physiology, and it has not received any financial support.

Authors' contribution:
All authors contributed to both the design and implementation of the study.

Conflict of interest:
The authors declare that there are no conflicts of interest associated with this article.

Acknowledgments:
We want to express our gratitude to all the participants and those who assisted us in conducting this study.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

علوم زیستی ورزشی
انتشارات دانشگاه تهران
شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۱۴۸

تأثیر دوازده هفته تمرینات محدودیت جریان خون به‌همراه مکمل سیترولین مالات بر هایپرتروفی و IGF-1 در مردان جوان ورزشکار

محسن سلامت تومری[۱]، رقیه فخرپور[۲]✉

۱. کارشناسی ارشد، گروه علوم ورزشی، دانشکدهٔ علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران. رایانامه: Mohsensalamat77@gmail.com
۲. نویسندهٔ مسئول، دانشیار، گروه علوم ورزشی، دانشکدهٔ علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران. رایانامه: r.fakhrpour@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/ ۱۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/ ۲۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۹/ ۱۲

کلیدواژه‌ها:
سیترولین مالات،
محدودیت جریان خون،
مردان ورزشکار
هایپرتروفی

چکیده

مقدمه: تمرینات محدودیت جریان خون همراه با مصرف مکمل‌های ارگوژنیک مانند سیترولین مالات می‌توانند با تقویت مسیرهای آنابولیک، بر هایپرتروفی عضلانی و سطوح IGF-1 تأثیرگذار باشند. هدف کلی این پژوهش، تعیین تأثیر ۱۲ هفته تمرینات محدودیت جریان خون به‌همراه مکمل سیترولین مالات بر هایپرتروفی و IGF-1 در مردان جوان ورزشکار بود.

روش پژوهش: در این تحقیق تجربی، ۴۰ مرد جوان ورزشکار با شاخص تودهٔ بدنی طبیعی از تبریز به‌صورت تصادفی در چهار گروه تمرین BFR + مکمل، تمرین BFR + دارونما، مکمل، و کنترل + دارونما قرار گرفتند. دو گروه تمرینی به مدت ۱۲ هفته ورزش کردند، و فشار کاف‌ها از ۱۳۰ به ۲۰۰ میلی‌متر جیوه افزایش یافت. مکمل سیترولین مالات با دوز ۸ گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن، ۳۰ تا ۶۰ دقیقه پیش از تمرین مصرف شد. این تحقیق به‌صورت دوسوکور انجام گرفت. سطوح سرمی IGF-1 با روش الایزا و هایپرتروفی عضلات چهارسر ران و دوسر بازویی از طریق دور اندام بررسی شد. پس از تأیید نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپیروویلک، از تحلیل کوواریانس، آزمون تعقیبی توکی، و تی همبسته استفاده و با نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۲۲ و سطح معناداری ۰/۰۵ تحلیل شدند.

یافته‌ها: ۱۲ هفته تمرینات محدودیت جریان خون به‌همراه مکمل سیترولین مالات بر هایپرتروفی دوسر بازویی و چهارسر ران (P=۰/۰۰۱)، IGF-1 سرم (P=۰/۰۰۱) مردان جوان ورزشکار تأثیر معناداری دارد.

نتیجه‌گیری: تمرین BFR ابزاری مؤثر برای بهبود نتایج تمرینی و افزایش فاکتورهای رشد عضلانی مانند IGF-1 است. یافته‌های پژوهش، گنجاندن آن در برنامه‌های ورزشی را برای بهینه‌سازی هایپرتروفی عضلانی توصیه می‌کند.

استناد: سلامت تومری، محسن و فخرپور، رقیه. تأثیر دوازده هفته تمرینات محدودیت جریان خون به‌همراه مکمل سیترولین مالات بر هایپرتروفی و IGF-1 در مردان جوان ورزشکار. نشریهٔ *علوم زیستی ورزشی*.۱۴۰۴؛ ۱۷(۳): ۶۹-۵۳.
DOI: http//doi.org/10.22059/JSB.2025.39293.1675.

دسترسی به این نشریه علمی، رایگان است و حق مالکیت فکری خود را بر اساس لایسنس کریتیو کامنز (CC BY-NC 4.0) به نویسندگان واگذار کرده است.| آدرس نشریه: https://jsb.ut.ac.ir/ | ایمیل: jsb@ut.ac.ir

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان.

مقدمه

صنعت ورزش و تناسب‌اندام به‌سرعت در حال توسعه هستند و روش‌های تمرینی جدید به‌طور مکرر در حال ظهورند. یکی از این روش‌های تمرینی شامل فعالیت بدنی همراه با ایسکمی تورنیکه یا انسداد عروق است [۱، ۲]. این تمرین روش ورزشی بسیار محبوب و پرکاربردی در ژاپن بود و به‌سرعت در کشورهای دیگر محبوبیت پیدا کرد [۳]. کاهش عمدی جریان خون در حین ورزش که به‌طور معمول به آن محدودیت جریان خون[1](BFR) می‌گویند، با استفاده از یک تورنیکت برای کاهش جریان خون شریانی و محدود یا مسدود کردن خروجی وریدی انجام می‌شود [۴]. جذابیت اصلی تکنیک ورزشی همراه با BFR این است که با این روش، حتی تمرینات ورزشی با شدت کم نیز می‌تواند افزایش شایان توجهی در تودهٔ عضلانی و قدرت ایجاد کند [۵].

فاکتور رشد شبه‌انسولین-۱[2](IGF-1) هورمونی است که در خون یافت می‌شود و نقش مهمی در میوژنز اسکلتی ایفا می‌کند و به‌طور مهمی با تودهٔ عضلانی، رشد قدرت و انحطاط مرتبط است و ظرفیت تکثیر سلول‌های ماهواره‌ای عضلانی را افزایش می‌دهد. IGF-1R یک گیرندهٔ IGF-1 با محل عبور غشایی است که سیگنالینگ PI3K/Akt را فعال می‌کند و دارای فعالیت تیروزین کیناز است و بیان آن از نظر تکثیر میوبلاست و حفظ تودهٔ عضلانی طبیعی شایان توجه است. سنتز IGF-1 در سلول‌های بنیادی مزانشیمی عضلات آسیب‌دیده افزایش می‌یابد و تکثیر سلول‌های بنیادی مزانشیمی و تمایز میوژنیک را تحریک می‌کند و سطوح پایین این هورمون با ضعف در قدرت دست و عملکرد ضعیف جسمانی مرتبط است [۶].

از سوی دیگر، سیترولین مالات[3] یک واسطه در مسیر اکسید نیتریک، به‌دلیل نقش خود به‌عنوان یک کمک‌ارگوژنیک بر اساس پتانسیل افزایش تولید اکسید نیتریک، که به افزایش عملکرد ورزشی منجر می‌شود، مورد توجه قرار گرفته است [۷، ۸]. ال-سیترولین یک اسید آمینه غیرضروری است که در بدن تولید می‌شود و از نظر فیزیولوژیکی به‌عنوان پیش ساز ال-آرژنین عمل می‌کند و بر خلاف ال-آرژنین، می‌تواند سوخت‌وساز کبدی را دور بزند و به کلیه‌ها منتقل شود، جایی که می‌تواند به‌طور مستقیم به ال-آرژنین تبدیل شود. به‌منظور مؤثر بودن، ال سیترولین باید با اسید آمینهٔ مالات ترکیب شود که به‌عنوان واسطهٔ چرخهٔ اسید تری کربوکسیلیک عمل می‌کند و ممکن است سرعت تولید آدنوزین تری فسفات را افزایش دهد [۹]. این در حالی است که تحقیقات اخیر مربوط به استفاده از سیترولین مالات به‌عنوان یک کمک مکمل، تأثیرات ارگوژنیک مثبتی را با توجه به عملکرد تمرین مقاومتی زیر بیشینه تا واماندگی را نشان داده‌اند. بر اساس نتایج پژوهشی پس از مصرف یک دوز حاد (۸ گرم) سیترولین مالات، مردان تمرین‌کردهٔ مقاومتی عملکرد تمرین خود را تا حد خستگی برای عضلات بالاتنه [۱۰] و پایین‌تنه [۸] در هنگام بلند کردن ۸۰ و ۶۰ درصد حداکثر یک تکرار بیشینه افزایش دادند. این بهبودهای قدرتی همچنین هنگام انجام تمرینات با وزن بدن پس از دوز حاد مشابه وجود داشت [۸]، که نشان می‌دهد مکمل سیترولین مالات ممکن است عملکرد قدرتی را با شدت‌های مختلف مفید کند.

بنابراین بر اساس برخی از پژوهش‌های قبلی تمرینات BFR تأثیرات هایپرتروفیک مشابهی را در شدت‌های تمرین پایین‌تر ایجاد کرده و آن را به جایگزینی جذاب برای تمرینات مقاومتی[4](RT) سنتی با بار بالا تبدیل می‌کند [۱۱-۱۳]. از طرفی برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند این تمرینات اثربخشی محسوسی بر هایپرتروفی ندارد، بلکه بر سیستم قلبی- عروقی نیز مضر خواهد بود [۱۴، ۱۵]. همچنین اثر همزمان روش تمرینی BFR و مکمل سیترولین مالات بررسی نشده است. با توجه به شواهد موجود، تمرینات BFR و مکمل سیترولین مالات هر

[1]. Blood Flow Restriction (BFR)
[2]. Insulin-Like Growth Factor 1 (IGF-1)
[3]. Citrulline Malate
[4]. Resistance Training (RT)

کدام پتانسیل افزایش هایپرتروفی و عملکرد عضلانی را دارند، اما نتایج تحقیقات قبلی متناقض است و اثر همزمان این دو روش هنوز به‌طور کامل بررسی نشده است. این شکاف علمی نیازمند تحقیقات بیشتری برای روشن شدن تأثیرات ترکیبی آنها بر تودۀ عضلانی و IGF-1است. از این‌رو، برای پر کردن این شکاف علمی، هدف از این بررسی پاسخ دادن به پرسش‌های زیر بود: ۱. آیا BFR سبب هایپرتروفی عضلۀ اسکلتی در ورزشکاران می‌شود؟ و ۲. تغییرات بیوشیمیایی حاصل از تمرینات BFR به هایپرتروفی کمک می‌کند؟ ۳. آیا BFR به‌همراه استفاده از مکملی که در هایپرتروفی نقش دارد می‌تواند تأثیرات مثبت BFR را افزایش دهد؟ از این‌رو هدف از این تحقیق بررسی تأثیر ۱۲ هفته تمرینات محدودیت جریان خون به‌همراه مکمل سیترولین مالات بر هایپرتروفی و IGF-1 در مردان جوان ورزشکار است.

روش‌شناسی پژوهش

روش پژوهش حاضر از نوع تجربی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون، با توجه به طول زمان اجرای تحقیق از نوع مقطعی و به لحاظ استفاده از نتایج، کاربردی است. جامعۀ آماری تحقیق مردان ورزشکار (فیتنس‌کاران) با سابقۀ فعالیت منظم در طول یک سال گذشته ساکن شهر تبریز با دامنۀ سنی ۲۰ تا ۳۰ سال بودند. نمونۀ آماری شامل ۴۰ مرد ورزشکار بود که به‌صورت فراخوان عمومی در باشگاه ورزشی هتل پارس حضور داشتند. مردان ورزشکار با سابقۀ فعالیت منظم با شاخص تودۀ بدنی طبیعی (۲۰- ۲۴/۹ کیلوگرم بر متر مربع) بودند. تأییدیۀ پزشکی مبنی بر نداشتن هرگونه مشکلات و بیماری‌های مزمن، عدم مصرف دارو و عدم مصرف مکمل غذایی از جمله معیارهای ورود به تحقیق بود. اگر داوطلبی تنها در یک مرحلۀ اندازه‌گیری و انجام تست‌های ورزشی حضور نداشت، یا در سه جلسۀ تمرینی مشخص‌شده غیبت داشت، از فرایند تحقیق کنار گذاشته می‌شد. پس از توضیح و شرح کامل موضوع، اهداف، روش‌های تحقیق، تکمیل و اخذ برگۀ رضایت‌نامه و تکمیل پرسشنامۀ سلامت و سابقۀ ورزشی و معاینه توسط پزشک، آزمودنی‌ها پس از احراز شرایط ذکرشده، در قالب طرح تجربی به‌صورت تصادفی به چهار گروه تمرین BFR –مکمل، گروه تمرینBFR –دارونما، گروه مکمل و گروه کنترل–دارونما تقسیم شدند. اندازه‌گیری لاکتات پلاسما در بعد از تست وامانده‌ساز بروس در مرحلۀ پیش‌آزمون (پیش از شروع تمرینات) و پس‌آزمون (پس از ۱۲ هفته و آخرین جلسۀ تمرینی) ارزیابی شد [۱۶]. خون‌گیری اول بعد از ۱۲ ساعت ناشتایی در مرحلۀ پیش‌آزمون و پس از ۱۲ هفته (دورۀ مداخلۀ تمرینی و مکمل‌گیری)، مرحلۀ پس‌آزمون، بلافاصله پس از آخرین جلسۀ تمرین ارزیابی شد. به‌منظور رعایت ملاحظات اخلاقی و به حداقل رساندن عوارض خون‌گیری مثل کبودی و تورم موضعی از کمپرس یخ در محل خون‌گیری استفاده شد. برای سنجش دور عضلات ران و دور بازو از متر نواری استفاده شد. این اندازه‌گیری‌ها دو بار اجرا و درصورتی‌که دو مقدار متفاوت به‌دست آید، میانگین دو داده به‌عنوان نتیجۀ نهایی گزارش شد.

برنامۀ تمرینات محدودیت جریان خون

دو گروه تمرین BFR– مکمل، گروه تمرین BFR، حرکات ورزشی شامل جلوبازو دستگاه لاری، جلوبازو هالتری ایستاده، پشت‌بازو سیم‌کش، پشت‌بازو دمبل فرانسوی، جلو پا دستگاه، پشت پا دستگاه، بک اسکوات و پرس پا را طی ۱۲ هفته اجرا کردند. پیش از تست 1RM برای هر فرد به‌صورت مجزا ارزیابی شد و پس از چهار هفته دوباره برآورد 1RM انجام گرفت. جدول ۱ برنامۀ تمرینات را در مدت ۱۲ هفته نشان می‌دهد [۱۷].

برنامهٔ تمرینی در این پژوهش به‌صورت یک دورهٔ ۱۲ هفته‌ای شامل سه جلسه در هفته (در روزهای غیرمتوالی) اجرا شد. هر جلسهٔ تمرینی شامل هشت حرکت مقاومتی بود که به‌ترتیب از عضلات بزرگ‌تر به کوچک‌تر اجرا شدند؛ حرکات شامل اسکوات، پرس پا، جلوپا دستگاه، پشت پا دستگاه، جلوبازو دستگاه لاری، جلو بازو هالتری، پشت بازو سیم‌کش و پشت بازو دمبل فرانسوی بودند. شدت تمرین در طول دورهٔ به‌تدریج از ۳۰ درصد یک تکرار بیشینه در هفته‌های اول تا چهارم، به ۴۰ درصد در هفته‌های پنجم تا هشتم و در نهایت به ۵۰ درصد یک تکرار بیشینه در هفته‌های نهم تا دوازدهم افزایش یافت. هر حرکت در چهار ست انجام شد؛ به‌طوری‌که در مراحل اولیه ۳۰ تکرار در ست اول و ۱۵ تکرار در ست‌های بعدی، و در مراحل پایانی ۱۲ و ۸ تکرار اجرا شد. زمان استراحت بین ست‌ها ۳۰ تا ۶۰ ثانیه و بین حرکات ۹۰ تا ۱۲۰ ثانیه در نظر گرفته شد. در طول استراحت بین ست‌ها، کاف محدودیت جریان خون بسته باقی می‌ماند و پس از اتمام هر حرکت باز می‌شد.

محدودیت جریان خون

میزان فشار میلی‌متر جیوهٔ کاف‌ها از ۱۳۰ شروع شد و هر چهار هفته با افزایش ۱۰میلی‌متر جیوه به ۲۰۰ میلی‌متر جیوه رسید. محدودیت جریان خون با استفاده از دستگاه دستی داپلر توسط متخصص سونوگرافی کنترل شد [۱۸]. با استفاده از این دستگاه دستی داپلر، میزان فشار میلی‌متر جیوه در محدودیت جریان خون نسبت به میزان فشار خون در حالت عادی بررسی شد. افزایش تدریجی فشار کاف‌ها در این پژوهش با هدف ایجاد سازگاری ایمن و تدریجی در دستگاه عضلانی–عروقی انجام گرفت. در ابتدای دورهٔ تمرینی، فشار محدودیت جریان خون برای همهٔ آزمودنی‌ها بر اساس فشار سیستولی فردی و با میانگین حدود ۱۳۰ میلی‌متر جیوه تنظیم شد. سپس این فشار به‌صورت مرحله‌ای و هر چهار هفته ۱۰ میلی‌متر جیوه افزایش یافت تا در پایان دوره به حداکثر مقدار ۲۰۰ میلی‌متر جیوه برسد. بدین ترتیب در هفته‌های اول تا چهارم فشار ۱۳۰ میلی‌متر، در هفته‌های پنجم تا هشت برابر ۱۴۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر، و در هفته‌های نهم تا دوازدهم به‌تدریج تا ۲۰۰ میلی‌متر جیوه افزایش یافت. این روند افزایشی به‌صورت فردی و بر اساس تحمل آزمودنی و تأیید متخصص سونوگرافی با استفاده از دستگاه داپلر دستی کنترل و اعمال شد تا ضمن حفظ فشار محدودکنندهٔ مؤثر بر جریان وریدی، ایمنی فرد در برابر خطرهای احتمالی مانند ایسکمی یا درد بیش‌ازحد تضمین شود.

مصرف مکمل

دوز مصرفی سیترولین مالات هشت گرم و زمان مصرف مکمل نیز ۳۰ دقیقه تا یک ساعت قبل تمرین بود [۱۹]. در طول پژوهش گروه دارونما در کپسول‌های مشابه قرص مکمل حاوی دکسترین طعم‌دهنده دریافت کردند. گروه کنترل در مدت پژوهش روش زندگی معمول خود را حفظ و دنبال کردند. این تحقیق به‌صورت دو سوکور اجرا شد. به‌طوری‌که نه محقق و نه آزمودنی‌ها از گروه‌بندی صورت‌گرفته اطلاع نداشتند و فردی خارج از تحقیق، گروه‌بندی را اجرا کرد.

جدول ۱. برنامهٔ تمرین مقاومتی

هفته	شدت تمرین	تکرار	استراحت
اول	٪ ۳۰1RM	ست اول ۳۰ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۱۵ تکرار	۳۰ تا ۶۰ ثانیه
دوم	٪ ۳۰1RM	ست اول ۳۰ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۱۵ تکرار	۳۰ تا ۶۰ ثانیه
سوم	٪ ۳۰1RM	ست اول ۳۰ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۱۵ تکرار	۳۰ تا ۶۰ ثانیه
چهارم	٪ ۳۰1RM	ست اول ۳۰ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۱۵ تکرار	۳۰ تا ۶۰ ثانیه
پنجم	٪ ۴۰1RM	ست اول ۱۵ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۱۰ تکرار	۳۰ تا ۶۰ ثانیه

ششم	٪ ۴۰1RM	ست اول ۱۵ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۱۰ تکرار	۳۰ تا ۶۰ ثانیه
هفتم	٪ ۴۰1RM	ست اول ۱۵ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۱۰ تکرار	۳۰ تا ۶۰ ثانیه
هشتم	٪ ۴۰1RM	ست اول ۱۵ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۱۰ تکرار	۳۰ تا ۶۰ ثانیه
نهم	٪ ۵۰1RM	ست اول ۱۲ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۸ تکرار	۳۰ تا ۶۰ ثانیه
دهم	٪ ۵۰1RM	ست اول ۱۲ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۸ تکرار	۳۰ تا ۶۰ ثانیه
یازدهم	٪ ۵۰1RM	ست اول ۱۲ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۸ تکرار	۳۰ تا ۶۰ ثانیه
دوازدهم	٪ ۵۰1RM	ست اول ۱۲ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۸ تکرار	۳۰ تا ۶۰ ثانیه

اندازه‌گیری قدرت بیشینهٔ عضلات از طریق فرمول برزیسکی محاسبه شد [۲۰، ۲۱]. سرعت حرکات ۱ به ۲ تا ۱ به ۴ بود (کانسنتریک–اکسنتریک).

$$1\,rep\,max = \frac{\text{وز}\ldots\ \text{ا}.\ \text{ا}.\ \text{ده}}{1.0278 - (0.0278 \times \text{ر}.\text{رار}\ \ldots\text{داد})}$$

اندازه‌گیری متغیر

اندازه‌گیری غلظت IGF-1 سرمی بر اساس نانوگرم در میلی‌لیتر با استفاده از کیت Mediagnost ساخت آلمان به روش الایزا، برحسب میلی‌مول بر لیتر در طول موج ۳۶۰–۴۵۰ نانومتر ارزیابی شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری

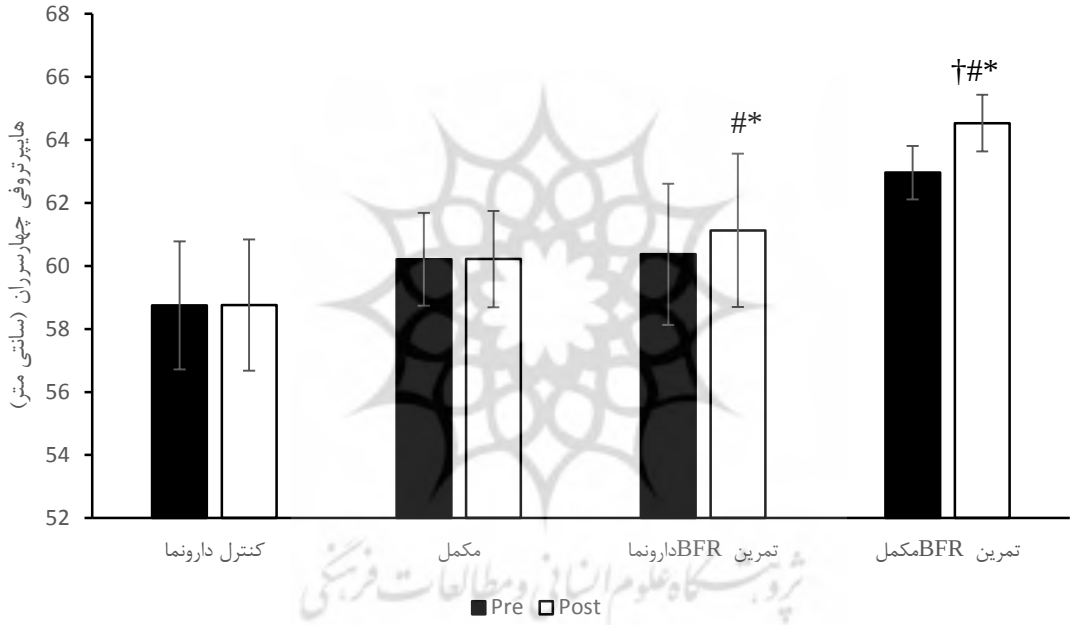
به‌منظور تجزیه‌وتحلیل اطلاعات، از روش‌های آمار توصیفی برای محاسبهٔ شاخص‌های مرکزی و پراکندگی استفاده شد. از آزمون شاپیروویلک برای بررسی نرمال بودن داده‌ها، همچنین از آزمون لوین برای بررسی برابری واریانس متغیرهای موردنظر استفاده شد. در بخش آمار استنباطی، از آزمون تحلیل کوواریانس استفاده شد. برای بررسی تفاوت‌های درون‌گروهی نیز از آزمون تی همبسته استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۲۲ در سطح معناداری ۰/۰۵ انجام شد.

یافته‌های پژوهش

یافته‌ها مربوط به ویژگی‌های دموگرافیک تحقیق بین گروه‌های پژوهش در جدول ۲ گزارش شده است. پس از بررسی توزیع نرمال داده‌ها با آزمون شاپیروویلک، نتایج آزمون t زوجی (شکل ۱) نشان داد که میانگین هایپرتروفی چهارسر ران در گروه تمرین BFR دارونما و گروه تمرین BFR مکمل در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون افزایش معناداری یافته است (P<۰/۰۵). اما این تغییر در گروه دارونما (P=۰/۷۵۸) و مکمل (P=۰/۷۸۰) در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون معنادار نبود. با بررسی بیشتر توسط آزمون آنکوا و با کواریانت قرار دادن مقادیر پایه نیز تفاوت معناداری بین پس‌آزمون گروه‌های مورد بررسی مشاهده شد (P=۰/۰۰۱). در بررسی نتایج حاصل از آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داده شد گروه‌های تمرین BFR دارونما و گروه تمرین BFR مکمل در مقایسه با گروه مکمل و کنترل دارونما اختلاف معناداری دارند (P<۰/۰۵). در مقایسهٔ بین گروه تمرین BFR دارونما و گروه تمرین BFR مکمل نیز اختلاف معناداری مشاهده شد (P=۰/۰۰۱).

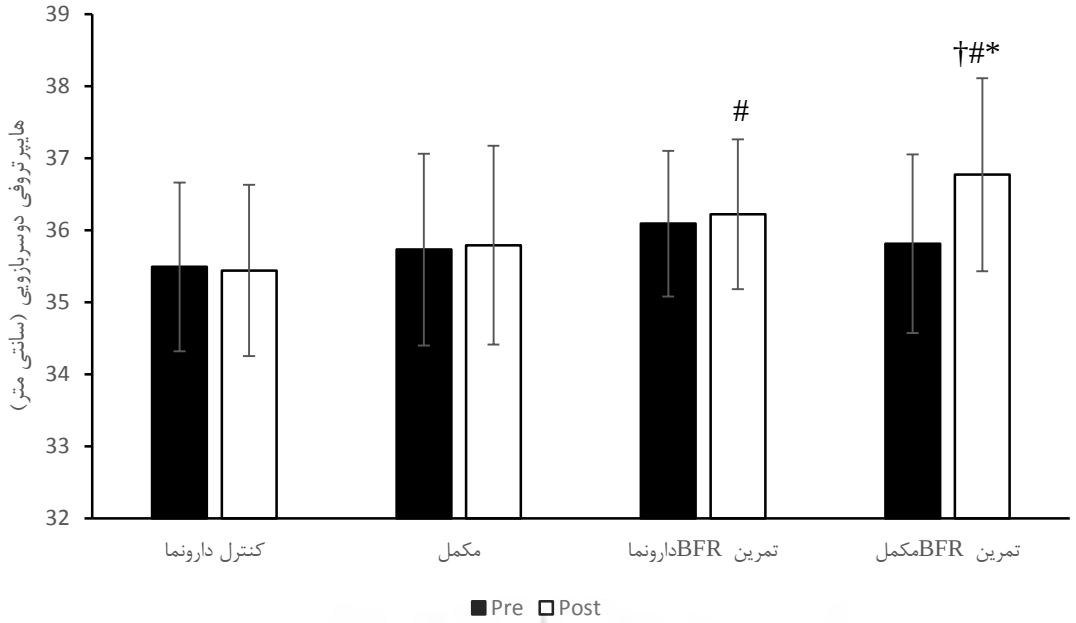
جدول ۲. بررسی ویژگی‌های دموگرافیک تحقیق بین گروه‌های پژوهش

متغیر	کنترل دارونما	مکمل	تمرین BFR-دارونما	تمرین BFR-مکمل
سن (سال)	۲۵/۸ ± ۲/۵۷	۲۶/۳ ± ۲/۵۴	۲۶/۱۰ ± ۳/۱۰	۲۵/۷۰ ± ۳/۳۰
قد (cm)	۱۷۵ ± ۵/۹۸	۱۷۶/۳ ± ۲/۲۶	۱۷۶/۵۰ ± ۴/۸۵	۱۷۶/۳۰ ± ۵/۶۷
وزن (kg) پیش‌آزمون	۷۲/۸۶ ± ۶/۰۲	۷۷/۸۳ ± ۲/۷۱	۸۰/۳۹ ± ۴/۴۷	۷۶/۸۹ ± ۴/۴۹
وزن (kg) پس‌آزمون	۷۲/۹۵ ± ۶/۲۰	۷۷/۳۸ ± ۳/۳۲	۷۹/۶۷ ± ۴/۱۷	۷۶/۱۲ ± ۴/۳۹
BMI(kg/m^2)re	۲۳/۸۵ ± ۲/۳۶	۲۵/۰۵ ± ۱/۱۱	۲۵/۸۵ ± ۱/۹۲	۲۴/۷۵ ± ۱/۴۳
BMI(kg/m^2)post	۲۳/۸۷ ± ۲/۳۸	۲۴/۹ ± ۱/۲۶	۲۵/۶۲ ± ۱/۸۷	۲۴/۵۱ ± ۱/۴۸



شکل 1. تغییرات هایپرتروفی چهارسران در بین گروه‌های پژوهش، * تفاوت معنادار نسبت به مرحلهٔ پیش ، # تفاوت معنادار نسبت به گروه مکمل و گروه کنترل دارونما، † تفاوت معنادار نسبت به گروه تمرین BFR دارونما (P<۰/۰۵)

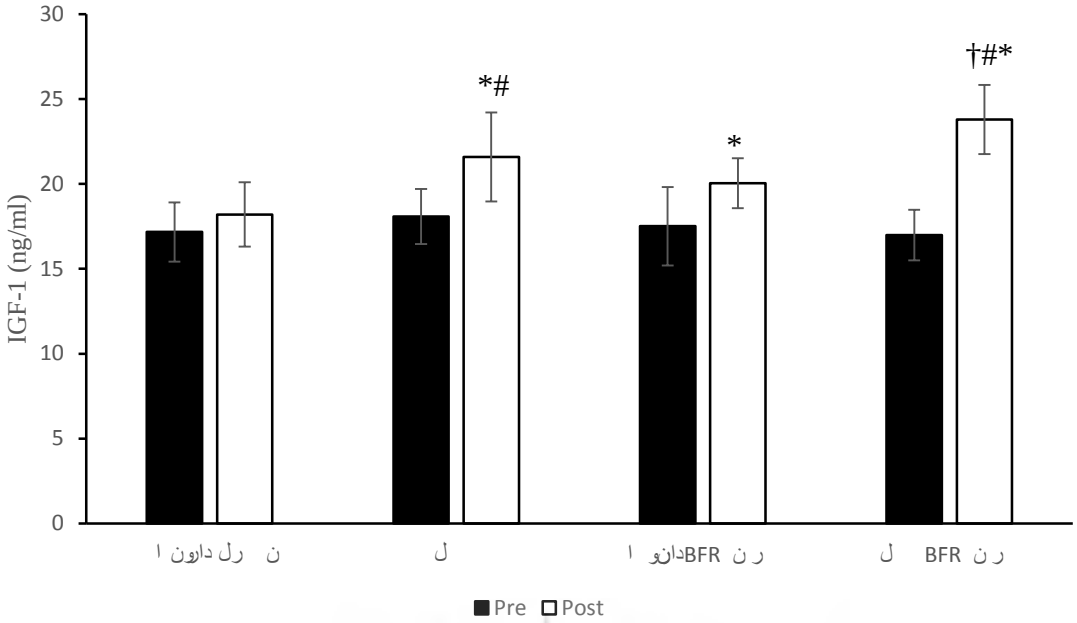
نتایج آزمون t زوجی (شکل ۲) نشان داد که میانگین هایپرتروفی دوسر بازویی در گروه تمرین BFR مکمل در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون افزایش معناداری یافته است (P<۰/۰۵). اما این تغییر در گروه دارونما (P=۰/۱۳۸)، مکمل (P=۰/۱۶۸)، گروه تمرین BFR دارونما (P=۰/۱۸) در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون معنادار نبود. با بررسی بیشتر توسط آزمون آنکوا و با کواریانت قرار دادن مقادیر پایه نیز تفاوت معناداری بین پس‌آزمون گروه‌های مورد بررسی مشاهده شد (P=۰/۰۰۱). نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نیز نشان داد این افزایش در مقایسهٔ گروه تمرین BFR مکمل در مقایسه با سایر گروه‌ها معنادار بود (P=۰/۰۰۱). همچنین اختلاف معناداری بین گروه تمرین BFR دارونما با گروه تمرین BFR مکمل مشاهده شد (P=۰/۰۰۱).



شکل 2. تغییرات هایپرتروفی دوسربازویی در بین گروه‌های پژوهش، * تفاوت معنادار نسبت به مرحلهٔ پیش‌آزمون، # تفاوت معنادار نسبت به گروه مکمل و گروه کنترل دارونما، † تفاوت معنادار نسبت به گروه تمرین BFR دارونما (P<۰/۰۵)

نتایج آزمون t زوجی (شکل ۳) نشان داد که سطوح IGF-1 در گروه دارونما، گروه مکمل، گروه تمرین BFR دارونما و گروه تمرین BFR مکمل نسبت به پیش‌آزمون افزایش معناداری یافته است (P<۰/۰۵). اما این تغییر در گروه دارونما در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون معنادار نبود (P=۰/۱۷۵). با بررسی بیشتر توسط آزمون آنکوا و با کواریانت قرار دادن مقادیر پایه نیز تفاوت معناداری بین پس‌آزمون گروه‌های مورد بررسی مشاهده شد (P=۰/۰۰۱). نتایج حاصل از آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد گروه مکمل در مقایسه با گروه کنترل دارونما (P=۰/۰۰۶)، گروه تمرین BFR–مکمل با گروه کنترل دارونما (P=۰/۰۰۱) و گروه تمرین BFR–مکمل با گروه تمرین BFR–دارونما (P=۰/۰۰۲) اختلاف معناداری داشتند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل 3. تغییرات IGF-1 در بین گروه‌های پژوهش، * تفاوت معنادار نسبت به مرحلهٔ پیش‌آزمون، # تفاوت معنادار نسبت به گروه کنترل دارونما، † تفاوت معنادار نسبت به گروه تمرین BFR دارونما (P<۰/۰۵)

بحث و نتیجه‌گیری

یکی از یافته‌های تحقیق نشان داد ۱۲ هفته تمرینات محدودیت جریان خون به‌همراه مکمل سیترولین مالات بر هایپرتروفی مردان جوان ورزشکار تأثیر معناداری دارد. تمرین BFR که به‌عنوان تمرین انسدادی نیز شناخته می‌شود، روش مؤثری برای القای هایپرتروفی عضلانی در مردان در ترکیب با تمرینات مقاومتی کم‌بار است. همسو با یافته‌های تحقیق حاضر، محمدی و همکاران (۲۰۱۵) طی تحقیقی نشان دادند تمرین مقاومتی با بار کم (۲۰-۳۰٪ 1RM) با BFR سبب افزایش هایپرتروفی عضلانی و افزایش قدرت می‌شود که به‌طور معمول پس از تمرین با بار بالا (۷۰-۸۵٪ 1RM) در مردان مشاهده می‌شود [۲۲]. این سبب می‌شود تمرین BFR برای کسانی که قادر به بلند کردن بارهای سنگین نیستند، مانند افراد مسن یا کسانی که از آسیب بهبود می‌یابند، مفید باشد [۲۳]. در این روش BFR به‌طور معمول با استفاده از یک کاف یا تورنیکت تحت فشار در نزدیک‌ترین قسمت اندام تحت تمرین اعمال می‌شود. فشار کاف به‌طور معمول روی درصد نسبی (۴۰ تا ۸۰ درصد) فشار انسداد اندام فرد تنظیم می‌شود [۲۳، ۲۴]. تمرینات با بارهای سبک (۲۰-۳۰٪ RM۱) برای ۳-۵ ست ۱۵-۳۰ تکراری با دوره‌های استراحت کوتاه (۳۰ ثانیه تا یک دقیقه) انجام می‌شود [۲۲، ۲۳].

با توجه به یافته‌های اخیر، تمرینات BFR همراه با مکمل سیترولین مالات می‌تواند برای مردان جوان ورزشکار مؤثر باشد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که BFR با شدت کم (۲۰-۳۰٪ 1RM) می‌تواند مشابه تمرینات با بار بالا در افزایش هایپرتروفی عضلانی مؤثر باشد [۲۵]. همچنین مصرف مکمل سیترولین مالات به‌ویژه در ترکیب با BFR می‌تواند تأثیرات هم‌افزایی در

افزایش سطح IGF-1 و بهبود عملکرد عضلانی داشته باشد [۲۶]. با این حال، توجه به تفاوت‌های فردی، شرایط فیزیولوژیکی و نیازهای خاص هر ورزشکار ضروری است. بنابراین توصیه می‌شود پیش از اجرای این برنامهٔ تمرینی، ارزیابی‌های لازم توسط متخصصان انجام گیرد. در تحقیق حاضر نیز بار ۳۰ درصد 1RM شروع و تا انتهای هفتهٔ دوازدهم به ۵۰ درصد 1RM رسید. از این‌رو به‌نظر می‌رسد تمرین BFR روش کارامد و مؤثری برای تحریک هایپرتروفی عضلانی در مردان هنگامی است که با تمرینات مقاومتی کم‌بار ترکیب شود. به‌نظر می‌رسد محیط ایسکمیک ایجادشده توسط BFR یک محرک هیپرتروفیک قوی باشد. این در حالی است که مصرف مکمل سیترولین مالات به‌تنهایی نتوانست هایپرتروفی عضلانی را افزایش دهد، اما در ترکیب با تمرینات BFR توانست هم‌افزایی خوبی در هایپرتروفی چهارسر ران و دوسر بازویی ایجاد کند. تحقیقات محدودی برای بررسی تأثیرات مکمل سیترولین بر هایپرتروفی عضلانی در ورزشکاران مرد جوان وجود دارد. با این حال، برخی تحقیقات به تأثیر سیترولین بر عملکرد ورزش و نتایج مرتبط که ممکن است به‌طور غیرمستقیم بر هیپرتروفی تأثیر بگذارد، پرداخته‌اند. سیترولین به‌طور مؤثر به ال-آرژنین بازیافت می‌شود، که پیش ماده‌ای برای تولید اکسید نیتریک[1](NO) است [۲۷]. افزایش سطح NO می‌تواند سبب افزایش اتساع عروق و جریان خون به عضلات در حال کار در طول ورزش شود [۲۷، ۲۸]. این جریان خون بهبودیافته ممکن است به‌طور بالقوه مواد مغذی و اکسیژن بیشتری را برای حمایت از رشد و ریکاوری عضلانی ارائه دهد.

یکی دیگر از یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد ۱۲ هفته تمرینات محدودیت جریان خون به‌همراه مکمل سیترولین مالات بر IGF-1 خون مردان جوان ورزشکار تأثیر معناداری دارد. به‌طوری‌که سطوح فعالیت هورمون IGF-1 در گروه BFR-مکمل در مقایسه با گروه کنترل و گروه BFR افزایش معناداری داشت. نشان داده شده است که تمرینات BFR به‌طور قابل توجهی بر سطوح سرمی IGF-1 در ورزشکاران مرد جوان تأثیر می‌گذارد. تحقیقات نشان می‌دهد تمرین BFR، به‌طور معمول شامل تمرین‌های مقاومتی با شدت کم همراه با انسداد جریان خون به عضلات است، می‌تواند پاسخ‌های هورمونی را که برای رشد و ریکاوری عضلات حیاتی‌اند، افزایش دهد. همسو با نتایج پژوهش حاضر هوسله و همکاران (۲۰۲۱) طی تحقیقی شامل ورزشکاران مرد جوان بود نشان دادند پس از یک برنامهٔ تمرینی ۱۲ هفته‌ای BFR، افزایش شایان توجهی در سطح سرمی IGF-1 در مقایسه با اندازه‌گیری‌های پیش از تمرین مشاهده شد. این افزایش از نظر آماری معنادار بود که نشان‌دهندهٔ تأثیر قوی BFR بر این فاکتور رشد است [۲۹]. همچنین وکیلی و همکاران (۲۰۱۹) همسو با نتایج تحقیق حاضر گزارش کردند ورزشکاران مرد جوانی که تحت تمرین BFR قرار می‌گرفتند، افزایش بیشتری را در سطوح IGF-1 در مقایسه با ورزشکارانی که تمرینات مقاومتی مشابه بدون BFR انجام می‌دادند، نشان دادند. این نشان می‌دهد BFR ممکن است در تحریک آزادسازی IGF-1 مؤثرتر باشد، که نقش مهمی در هایپرتروفی عضلانی و بهبودی ایفا می‌کند [۳۰]. چن و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند سطح IGF-1 سرم را در ورزشکاران مرد جوان افزایش می‌دهد و سبب رشد و ریکاوری عضلات می‌شود. به‌طوری‌که هورمون‌های مرتبط با میوژنز در زنان مبتلا به استئوآرتریت یکطرفهٔ زانو را می‌توان با تمرین مقاومتی با بار بالا و تمرین مقاومتی با بار کم با BFR در اندام سالم افزایش داد [۳۱]. در این زمینه آبه و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که دو هفته تمرین مقاومتی با BFR سبب افزایش سطح IGF-1 در گردش می‌شود. مکانیسم‌های زمینه‌ای ممکن است شامل افزایش استرس متابولیک و افزایش

[1] .Nitric Oxide (NO)

جذب تار عضلانی در طول تمرینات BFR باشد، که اعتقاد بر این است که آزادسازی IGF-1 و سایر هورمون‌های آنابولیک مانند هورمون رشد[1](GH) و اکسید نیتریک مؤثرتر از روش‌های تمرین سنتی است [۳۰، ۳۱]. این نوع ورزش همچنین سطح مقطع عضله و قدرت را افزایش می‌دهد [۳۲]. به‌طور کلی، چندین تحقیق افزایش IGF-1 را پس از تمرین مقاومتی نشان داده‌اند [۳۳، ۳۰، ۳۱]. چندین تحقیق نیز هیچ اثر یا کاهشی نشان نداده‌اند [۳۴، ۳۵]. این تفاوت‌ها می‌تواند به دلیل نوع سوژه (سالم در مقابل بیمار) یا نوع اندازه‌گیری (سرم در مقابل سلولی) باشد. در واقع، BFR از طریق افزایش متابولیت‌های استرس (که به یک محیط هیپوکسیک / ایسکمیک منجر می‌شود) سازگاری را القا می‌کند [۳۶]، که با تأثیرگذاری بر عوامل دیگری مانند استفاده از تارهای عضلانی با انقباض سریع، افزایش هورمون‌های سیستمیک [۳۷]، تورم سلولی [۳۸] و افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال [۳۹] به رشد عضلانی منجر می‌شود. سازوکار اثر IGF-1 بر هایپرتروفی عضلانی اغلب از طریق تنظیم و تکثیر و عملکرد سلول‌های ماهواره‌ای رخ می‌دهد [۴۰]. IGF-1 همچنین آپوپتوز را مهار می‌کند [۴۱].

تمرینات BFR علاوه بر ایجاد پاسخ هایپرتروفیک، مزیت مهمی برای ورزشکاران دارد که قادر به بلند کردن بارهای سنگین نیستند یا در حال بهبود از آسیب‌های عضلانی‌اند. با توجه به شدت کمتر و حجم تمرینی قابل مدیریت، ریسک آسیب‌های عضلانی و مفصلی کاهش می‌یابد، درحالی‌که رشد عضلانی حفظ می‌شود [۴۲، ۴۳]. این امر BFR را به گزینه‌ای مناسب برای افراد جوان و فعال تبدیل می‌کند که به‌دنبال افزایش حجم و قدرت عضلانی‌اند، بدون مواجهه با فشار زیاد بر مفاصل و بافت همبند. از سوی دیگر، مکمل سیترولین مالات نقش مهمی در افزایش جریان خون عضلانی و بهبود عملکرد ورزشکاران ایفا می‌کند. سیترولین به ال-آرژنین تبدیل می‌شود، پیش‌مادهٔ NO، که سبب گشاد شدن عروق و افزایش انتقال اکسیژن و مواد مغذی به عضلات می‌شود [۴۴، ۴۵]. این سازوکار می‌تواند هم به‌طور غیرمستقیم هایپرتروفی عضلانی را تقویت کند و هم سبب افزایش توان و ظرفیت ورزشکاران شود. در تحقیق حاضر، مصرف سیترولین مالات به‌تنهایی افزایش معناداری در هایپرتروفی ایجاد نکرد، اما در ترکیب با تمرینات BFR سبب اثر هم‌افزایی و افزایش بیشتر سطح IGF-1 شد، که بیانگر تعامل مثبت بین محرک تمرینی و مکمل تغذیه‌ای است.

علاوه بر این، تحقیق دیگری نشان داد سیترولین می‌تواند سطح ال-آرژنین پلاسما را افزایش دهد، که برای سنتز NO بسیار مهم است و به‌طور بالقوه به بهبود معیارهای عملکرد ورزشی مانند زمان تا خستگی و ظرفیت کلی هوازی منجر می‌شود [۲۷]. از نظر پاسخ‌های هورمونی، برخی تحقیقات نشان می‌دهد مکمل سیترولین ممکن است بر سطح هورمون‌های رشد و عوامل مرتبط، از جمله IGF-1 تأثیر بگذارد. نتایج تحقیقی نشان داد اسیدهای آمینه مانند ال-آرژنین و ال-سیترولین می‌توانند ترشح هورمون رشد را افزایش دهند، به نوبهٔ خود ممکن است بر سطح IGF-1 پس از ورزش تأثیر بگذارد [۴۶]. تمرین BFR به‌عنوان ابزاری ارزشمند برای ورزشکارانی با هدف بهینه‌سازی نتایج تمرینی خود، به‌ویژه در افزایش فاکتورهای رشد عضلانی مانند IGF-1، تأکید دارند. یافته‌های تحقیق حاضر از گنجاندن تمرین BFR در برنامهٔ تمرین ورزشی، به‌ویژه برای کسانی که به‌دنبال به حداکثر رساندن هایپرتروفی عضلانی هستند و در عین حال خطر آسیب‌های مرتبط با تمرینات با شدت بالا را به

[1] .Growth Hormone (GH)

حداقل می‌رسانند، پشتیبانی می‌کند. یافته‌های تحقیق حاضر نشان می‌دهد که ترکیب ۱۲ هفته تمرینات محدودیت جریان خون با مصرف مکمل سیترولین مالات تأثیر شایان توجهی بر افزایش سطح IGF-1 در خون و بهبود هایپرتروفی عضلانی در مردان جوان ورزشکار دارد. این نتایج می‌تواند به‌عنوان روشی مؤثر برای افزایش عملکرد ورزشی و رشد عضلات در افراد فعال استفاده شود و اهمیت تغذیهٔ مناسب در کنار تمرینات جسمانی را تأیید می‌کند. اما از آنجا که این تحقیق تنها روی مردان جوان ورزشکار متمرکز شده است، نتایج آن ممکن است به گروه‌های سنی یا جنسیتی دیگر تعمیم‌پذیر نباشد. همچنین عدم بررسی تأثیرات بلندمدت این تمرینات و مکمل بر IGF-1 و هایپرتروفی می‌تواند یکی دیگر از محدودیت‌های این تحقیق باشد.

تشکر و قدردانی

از تمامی آزمودنی‌ها و کسانی که ما را در انجام این پژوهش یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

حمایت مالی

پژوهش حاضر برگرفته از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد رشتهٔ علوم ورزشی، گرایش فیزیولوژی ورزشی کاربردی است و حمایت مالی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمامی نویسندگان در طرح و اجرای پژوهش مشارکت داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند در این مقاله هیچ‌گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

References

[1]. Abe, T., et al., Muscle, tendon, and somatotropin responses to the restriction of muscle blood flow induced by KAATSU-walk training. Equine veterinary journal, 2006. 38(S36): p. 345-348. https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05566.x

[2]. Kubota, A., et al., Prevention of disuse muscular weakness by restriction of blood flow. Medicine and science in sports and exercise, 2008. 40(3): p. 529. https://doi.org/ 10.1249/MSS.0b013e31815ddac6

[3]. Manini, T.M. and B.C. Clark, Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. Exercise and sport sciences reviews, 2009. 37(2): p. 78-85. https://doi.org/ 10.1097/JES.0b013e31819c2e5c

[4]. Pignanelli, C., D. Christiansen, and J.F. Burr, Blood flow restriction training and the high-performance athlete: science to application. Journal of Applied Physiology, 2021. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00982.2020

[5]. Moore, D.R., et al., Neuromuscular adaptations in human muscle following low intensity resistance training with vascular occlusion. European journal of applied physiology, 2004. 92(4): p. 399-406. https://doi.org/ 10.1007/s00421-004-1072-y

[6]. Ahmad, S.S., et al., Implications of insulin-like growth factor-1 in skeletal muscle and various diseases. Cells, 2020. 9(8): p. 1773. https://doi.org/ 10.3390/cells9081773

[7]. Wax, B., A.N. Kavazis, and W. Luckett, Effects of supplemental citrulline-malate ingestion on blood lactate, cardiovascular dynamics, and resistance exercise performance in trained males. Journal of dietary supplements, 2016. 13(3): p. 269-282. https://doi.org/ 10.3109/19390211.2015.1008615

[8]. Wax, B., et al., Effects of supplemental citrulline malate ingestion during repeated bouts of lower-body exercise in advanced weightlifters. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2015. 29(3): p. 786-792. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000670

[9]. Besco, R., et al., The effect of nitric-oxide-related supplements on human performance. Sports medicine, 2012. 42(2): p. 99-117. https://doi.org/ 10.2165/11596860-000000000-00000

[10]. Pérez-Guisado, J. and P.M. Jakeman, Citrulline malate enhances athletic anaerobic performance and relieves muscle soreness. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2010. 24(5): p. 1215-1222. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cb28e0

[11]. Simões, R.P., et al., Heart-rate variability and blood-lactate threshold interaction during progressive resistance exercise in healthy older men. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2010. 24(5): p. 1313-1320. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d2c0fe

[12]. Yasuda, T., et al., 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, 2010. 30(5): p. 338-343.https:/doi.org/10.1111/j.1475-097X.2010.00949.x

[13]. Fujita, T., et al., Increased muscle volume and strength following six days of low-intensity resistance training with restricted muscle blood flow. International Journal of KAATSU Training Research, 2008. 4(1): p. 1-8. https://doi.org/10.3806/ijktr.4.1

[14]. El-Magd, M.A., et al., High doses of S-methylcysteine cause hypoxia-induced cardiomyocyte apoptosis accompanied by engulfment of mitochondaria by nucleus. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2017. 94: p. 589-597. https://doi.org/ 10.1016/j.biopha.2017.07.100

[15]. Olkowicz, M., et al., Enhanced cardiac hypoxic injury in atherogenic dyslipidaemia results from alterations in the energy metabolism pattern. Metabolism, 2021. 114: p. 154400. https://doi.org/10.1016/j.metabol.2020.154400

[16]. Machek, S.B., et al., The Impacts of Combined Blood Flow Restriction Training and Betaine Supplementation on One-Leg Press Muscular Endurance, Exercise-Associated Lactate Concentrations, Serum Metabolic Biomarkers, and Hypoxia-Inducible Factor-1α Gene Expression. Nutrients, 2022. 14(23): p. 5040. https://doi.org/10.3390/nu14235040

[17]. Malekyian Fini, E., et al., The effect of two methods of resistance training with and without blood flow restriction on coagulation indices and blood glucose levels in type 2 diabetic patients. Medical Journal of Mashhad university of Medical Sciences, 2021. 64(3): p. 3060-3071. (In Persian)

[18]. Laurentino, G.C., et al., Validity of the handheld Doppler to determine lower-limb blood flow restriction pressure for exercise protocols. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2020. 34(9): p. 2693-2696. https://doi.org/ 10.1519/JSC.0000000000002665

[19]. Gonzalez, A.M., et al., Emerging nutritional supplements for strength and hypertrophy: an update of the current literature. Strength & Conditioning Journal, 2020. 42(5): p. 57-70. https://doi.org/ 10.1519/SSC.0000000000000552

[20]. Mannion, A., et al., Prediction of maximal back muscle strength from indices of body mass and fat-free body mass. Rheumatology (Oxford, England), 1999. 38(7): p. 652-655. https://doi.org/10.1093/rheumatology/38.7.652

[21]. Talebi, V., et al., Compare the strength, range of motion and balance the active and inactive groups with multiple sclerosis. 2020. (In Persian) https://doi.org/10.22059/jsb.2019.285313.1351

[22]. Mohamadi, S., et al., The Effect of Low- Intensity Resistance Training with Blood Flow Restriction on Serum Cortisol and Testosterone Levels in Young Men. J Arch Mil Med, 2015. 3(3): p. e28306. https://doi.org/10.30476/whb.2024.103488.1303

[23]. Centner, C., et al., Effects of blood flow restriction training on muscular strength and hypertrophy in older individuals: a systematic review and meta-analysis. Sports Medicine, 2019. 49: p. 95-108. https://doi.org/ 10.1007/s40279-018-0994-1

[24]. Freitas, E.D., M. Karabulut, and M.G. Bemben, The evolution of blood flow restricted exercise. Frontiers in physiology, 2021. 12: p. 747759. https://doi.org/10.3389/fphys.2021.747759

[25]. Ma, F., J. He, and Y. Wang, Blood flow restriction combined with resistance training on muscle strength and thickness improvement in young adults: a systematic review, meta-analysis, and meta-regression. Frontiers in Physiology, 2024. 15: p. 1379605. https://doi.org/ 10.3389/fphys.2024.1379605

[26]. Li, P., et al., The effects of L-citrulline supplementation on the athletic performance, physiological and biochemical parameters, antioxidant capacity, and blood amino acid and polyamine levels in Speed-Racing Yili Horses. Animals, 2024. 14(16): p. 2438. https://doi.org/10.3390/ani14162438

[27]. Cabre, H.E., et al., The effects of L-Citrulline and Glutathione on Endurance performance in young adult trained males. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 2023. 20(1): p. 2206386. https://doi.org/ 10.1080/15502783.2023.2206386

[28]. Gonzalez, A.M., et al., Acute Effect of L-Citrulline Supplementation on Resistance Exercise Performance and Muscle Oxygenation in Recreationally Resistance Trained Men and Women. Journal of Functional Morphology and Kinesiology, 2023. 8(3): p. 88. https://doi.org/ 10.3390/jfmk8030088

[29]. Hoseleh, A., et al., Effect of Blood Flow Restriction Training on Serum Levels of Some Muscle Growth Factors in Male Athletes after Anterior Cruciate Ligament Surgery. Journal of Basic Research in Medical Sciences, 2021. 8(4): p. 42-49. http://jbrms.medilam.ac.ir/article-1-552-en.html

[30]. Vakili, J., R. Amirsasan, and P. Sanei, Effects of 4 weeks Resistance Training with and Without Blood Flow Restriction on GH, IGF-1, NO and Lactate in male Rock Climbers. Journal of Sport Biosciences, 2022. 14(1): p. 33-48. https://doi.org/10.22059/jsb.2021.323313.1468(In Persian)

[31]. Chen, Y., et al., Acute effects of low load resistance training with blood flow restriction on serum growth hormone, insulin-like growth factor-1, and testosterone in patients with mild to moderate unilateral knee osteoarthritis. Heliyon, 2022. 8(10). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11051

[32]. Goldspink, G., Mechanical signals, IGF-I gene splicing, and muscle adaptation. Physiology, 2005. 20(4): p. 232-238. https://doi.org/ 10.1152/physiol.00004.2005

[33]. Chen, H.T., et al., Effects of different types of exercise on body composition, muscle strength, and IGF-1 in the elderly with sarcopenic obesity. Journal of the American Geriatrics Society, 2017. 65(4): p. 827-832. https://doi.org/ 10.1111/jgs.14722

[34]. Nunes, P.R., et al., Muscular strength adaptations and hormonal responses after two different multiple-set protocols of resistance training in postmenopausal women. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2019. 33(5): p. 1276-1285. https://doi.org/ 10.1519/JSC.0000000000001788

[35]. Sillanpää, E., et al., Serum basal hormone concentrations, nutrition and physical fitness during strength and/or endurance training in 39–64-year-old women. International journal of sports medicine, 2010. 31(02): p. 110-117. https://doi.org/ 10.1055/s-0029-1242811

[36]. Lee, S.-J., Quadrupling muscle mass in mice by targeting TGF-ß signaling pathways. PloS one, 2007. 2(8): p. e789. https://doi.org/ 10.1371/journal.pone.0000789

[37]. Rodriguez, J., et al., Myostatin and the skeletal muscle atrophy and hypertrophy signaling pathways.

Cellular and Molecular Life Sciences, 2014. 71: p. 4361-4371. https://doi.org/ 10.1007/s00018-014-1689-x

[38]. Mohan, S. and D. Baylink, Beyond carrier proteins: IGF-binding proteins are multifunctional and act via IGF-dependent and–independent mechanisms. J endocrinol, 2002. 175: p. 19-31. https://doi.org/ 10.1677/joe.0.1750019

[39]. Heidariyeh, A., et al., Concentration of nitrate, nitrite and fluoride in drinking water and bottled water in Semnan city. Koomesh, 2024. 21(2): p. 381-386.

[40]. Jang, Y., et al. Skeletal muscle stem cells: effects of aging and metabolism on muscle regenerative function. in Cold Spring Harbor symposia on quantitative biology. 2011. Cold Spring Harbor Laboratory Press. https://doi.org/ 10.1101/sqb.2011.76.010652

[41]. Li, Y., H. Shelat, and Y.-J. Geng, IGF-1 prevents oxidative stress induced-apoptosis in induced pluripotent stem cells which is mediated by microRNA-1. Biochemical and biophysical research communications, 2012. 426(4): p. 615-619. https://doi.org/ 10.1016/j.bbrc.2012.08.139

[42]. Liu, Y., et al., The effect of blood flow restriction training on core muscle strength and pain in male collegiate athletes with chronic non-specific low back pain. Frontiers in Public Health, 2025. 12: p. 1496482. https://doi.org/ 10.3389/fpubh.2024.1496482

[43]. Ogrezeanu, D.C., et al., Neuromuscular Responses and Perceptions of Health Status and Pain-Related Constructs in End-Stage Knee Osteoarthritis During Resistance Training With Blood Flow Restriction. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2024. 38(4): p. 762-772. https://doi.org/ 10.1519/JSC.0000000000004680

[44]. Kurhaluk, N. and H. Tkaczenko, L-Arginine and Nitric Oxide in Vascular Regulation—Experimental Findings in the Context of Blood Donation. Nutrients, 2025. 17(4): p. 665. https://doi.org/ 10.3390/nu17040665

[45]. Kang, Y., Effects of L-Citrulline Supplementation on Macro-and Microvascular Function in the fasted state and during acute hyperglycemia in Middle-aged and Older Adults with Type 2 Diabetes. 2024, Texas Tech University. https://hdl.handle.net/2346/100274

[46]. Nyawose, S., et al., The effects of consuming amino acids L-arginine, L-Citrulline (and their combination) as a beverage or powder, on athletic and physical performance: a systematic review. Beverages, 2022. 8(3): p. 48. https://doi.org/10.3390/beverages8030048

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی