Research in Exercise Nutrition
Year 2025, Volume 4, Issue 1, Pages 33-47

Original Article

https://researchinexercisenutrition.com

https://doi.org/10.22034/ren.2025.143651.1092

The Effect of Twelve Weeks of Blood Flow Restriction Training with Citrulline Malate Supplementation on serum NO and lactate levels in Young Male Athletes

Roghayeh Fakhrpour✉ [1], Mohsen Salamat Thomtri [1], Karim Azali Alamdari[1]

Received: 2025/05/07 **Accepted: 2025/07/02**

Abstract

Aim: Citrulline malate (CM) as a nitric oxide (NO) enhancer has recently been introduced as an energy-boosting supplement to improve athletic performance in resistance training, as well as in the process of muscle recovery. The aim of the present study was to determine the effect of twelve weeks of blood flow restriction (BFR) training with citrulline malate supplementation on nitric oxide (NO) and lactate levels in young male athletes.

Method: In this double-blind study, 40 male athletes with normal body mass index were randomly divided into four groups and performed 12 weeks of blood flow restriction (BFR) resistance training with citrulline malate supplementation or placebo. The control group remained without intervention. Serum nitric oxide (NO) and lactate levels were measured in two phases and in the fasting state, and the data were analyzed with SPSS software.

Results: Twelve weeks of blood flow restriction training with citrulline malate supplementation had a significant effect on blood NO (p=0.036) in young male athletes, but had no significant effect on blood lactate levels, fat mass, and lean mass (p<0.05).

onclusion: Blood flow restriction training combined with citrulline malate appeared to help improve nitric oxide levels more and had less effect on other physiological variables.

Keywords: Blood flow restriction, Citrulline malate supplementation, Hypertrophy, Nitric oxide, Young male athletes

1- Department of Sport Sciences, Faculty of Education and Psychology, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

✉ **Corresponding author:**
fakhrpour@azaruniv.ac.ir

ISSN: 2980-8960

All rights of this article are reserved for Authors.

Owner and Publisher: University of Kurdistan

Journal ISSN (online): 2980-8960
Access Type: Open Access
DOI: https://doi.org/10.22034/ren.2025.143651.1092

Copyright ©The authors

ارجاع دهی:

Fakhrpour R, Salamat Thomtri M, Azali Alamdari K. The Effect of Twelve Weeks of Blood Flow Restriction Training with Citrulline Malate Supplementation on serum NO and lactate levels in Young Male Athletes. **Research in Exercise Nutrition.** 2025;4(1):33-47. **Doi:** https://doi.org/10.22034/ren.2025.143651.1092 .

https://doi.org/10.22034/ren.2025.143651.1092 Research in Exercise Nutrition 2025; 4(1):33-47

Extended abstract

Problem Statement and Research Significance

Athletes from a wide range of contact and non-contact sports use resistance training to enhance muscle growth and physical performance. Traditional guidelines recommend loads ≥70% of one-repetition maximum; however, growing evidence supports low-load resistance training combined with moderate blood flow restriction (BFR) as an effective strategy to increase hypertrophy and strength. BFR uses cuffs placed proximally on the limbs to restrict venous return while maintaining arterial inflow, thereby increasing metabolic stress, muscle fiber recruitment, cell swelling, anabolic signaling, and myogenic stem cell activity. Reperfusion after BFR induces an acute inflammatory response and enhances angiogenic and hormonal adaptations. Nitric oxide (NO), produced via nitric oxide synthase, plays a key role in endothelial function, vasodilation, and muscle performance. Nutritional strategies to elevate NO include citrulline malate supplementation, which may improve ATP production and reduce lactate accumulation. Therefore, this study aims to examine the effects of twelve weeks of BFR training combined with citrulline malate supplementation on blood NO and lactate levels in young male athletes.

Methodology Overview (Research Methods, Study Population, Instruments)

A low-load resistance training program combined with blood flow restriction (BFR) was implemented over a 12-week period. Limb occlusion pressure (LOP) was applied during training and maintained consistently throughout the study, with weekly monitoring to ensure accuracy and intervention integrity. Training intensity progressed from 30% of one-repetition maximum (1RM) in weeks 1–4, to 40% 1RM in weeks 5–8, and 50% 1RM in weeks 9–12. Each session consisted of four sets, with higher repetitions in the initial weeks and reduced repetitions as intensity increased, and rest intervals of 30–60 seconds between sets. Maximal strength was estimated using the Brzycki equation, and movement tempo was controlled at a concentric-to-eccentric ratio of 1:2 to 1:4. Participants in the experimental group consumed citrulline malate (8 g per kg body weight) 30–60 minutes before training, while the placebo group received flavored dextrin capsules; the control group maintained their usual lifestyle. The study followed a double-blind design. Blood nitric oxide levels were assessed using a human ELISA kit. Data were analyzed using descriptive statistics, Shapiro–Wilk, Levene's test, ANCOVA, and paired t-tests in SPSS (v22) at a significance level of $p \leq 0.05$.

Key Findings and Results Analysis

Demographic characteristics of the participants are presented in Table 2, indicating that the four groups (control–placebo, supplement, BFR–placebo, and BFR–supplement) were comparable at baseline in terms of age, height, body weight, and body mass index. No meaningful differences were observed between groups before the intervention.

Paired t-test results showed a significant increase in blood nitric oxide (NO) levels in the BFR–supplement and supplement-only groups at post-test compared with pre-test ($p < 0.05$), whereas no significant changes were observed in the placebo or BFR–placebo groups. ANCOVA analysis, controlling for baseline values, revealed a significant between-group difference in post-test NO levels. Bonferroni post hoc analysis indicated that the BFR–supplement group differed significantly from the control–placebo group, while other comparisons were not significant.

Blood lactate levels decreased significantly in the supplement, BFR–placebo, and BFR–supplement groups at post-test ($p < 0.05$), but no significant change was found in the placebo group. However, ANCOVA showed no significant between-group differences for lactate levels. Regarding body composition, fat mass significantly decreased and fat-free mass significantly increased in both BFR groups, regardless of supplementation. These changes were not significant in the control or supplement-only groups. ANCOVA analyses did not reveal significant between-group differences for fat mass or fat-free mass. Overall, the findings suggest that BFR training, particularly when combined with supplementation, may beneficially influence NO levels and body composition.

Conclusions and Recommendations

The aim of this study was to examine the effects of twelve weeks of resistance training with blood flow restriction (BFR) combined with citrulline malate supplementation on blood nitric oxide (NO), lactate, and body composition in young male athletes. The results showed that citrulline malate supplementation, alone or combined with BFR training, significantly increased blood NO levels, with the greatest increase observed in the BFR–supplement group compared with the control group. These findings suggest that BFR training and supplementation may enhance NO bioavailability, potentially improving vascular function and exercise performance. However, no significant combined effect of BFR and citrulline malate was observed on blood lactate levels, although supplementation alone reduced lactate. In addition, twelve weeks of BFR training with citrulline malate did not produce significant changes in fat mass or fat-free mass in young trained men. Overall, while BFR training and citrulline malate appear beneficial for increasing NO, their effects on lactate dynamics and body composition remain inconsistent, highlighting the need for further research considering training status, dosage, and population characteristics.

Innovation and Practical Implications

This study introduces an innovative combined approach by integrating low-load resistance training with blood flow restriction (BFR) and citrulline malate supplementation to target vascular, metabolic, and performance-related adaptations in young male athletes. Unlike traditional high-load resistance protocols, this model demonstrates that meaningful increases in nitric oxide (NO) bioavailability can be achieved with lower mechanical stress, highlighting a safer and more time-efficient

Citation:
Fakhrpour R, Salamat Thomtri M, Azali Alamdari K. The Effect of Twelve Weeks of Blood Flow Restriction Training with Citrulline Malate Supplementation on serum NO and lactate levels in Young Male Athletes**. Research in Exercise Nutrition.** 2025;4(1):33-47. **Doi:** https://doi.org/10.22034/ren.2025.143651.1092 .

training strategy. The findings suggest that BFR, particularly when paired with citrulline malate, may enhance endothelial function and muscle perfusion, which are critical for both athletic performance and cardiovascular health. Practically, this approach can be applied in athletic training, rehabilitation, and return-to-play programs where high loads are contraindicated. Coaches and practitioners may use BFR combined with targeted supplementation to maintain or enhance training adaptations while reducing joint and musculoskeletal strain. Although effects on lactate and body composition were inconsistent, the demonstrated NO-related benefits support the practical use of this combined strategy as a complementary ergogenic and health-promoting intervention in trained populations.

مقاله پژوهشی

پژوهش در تغذیه ورزشی
سال چهارم، شماره اول، فروردین ۱۴۰۴، صص ۴۷-۳۳

https://doi.org/10.22034/ren.2025.143651.1092

Research in Exercise Nutrition 2025; 4(1):33-47

تاثیر دوازده هفته تمرینات مقاومتی همراه با محدودیت جریان خون و مصرف مکمل سیترولین مالات بر میزان NO و لاکتات سرم در مردان جوان ورزشکار

رقیه فخرپور[1]✉، محسن سلامت تومتری[1]، کریم آزالی علمداری [1]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۱

چکیده

هدف: سیترولین مالات (CM) به عنوان یک تقویت‌کننده اکسید نیتریک (NO) به تازگی به عنوان یک مکمل انرژی‌زا برای بهبود عملکرد ورزشی در تمرینات مقاومتی، همچنین در فرآیند بازیابی عملکرد عضلات، معرفی شده است. هدف پژوهش حاضر تعیین تأثیر دوازده هفته تمرینات محدودیت جریان خون (BFR) به همراه مکمل سیترولین مالات بر سطوح نیتریک اکسید (NO) و لاکتات در مردان جوان ورزشکار بود.

روش شناسی: در این مطالعه دوسوکور، ۴۰ مرد ورزشکار با شاخص توده بدنی طبیعی به‌طور تصادفی به چهار گروه تقسیم شدند و طی ۱۲ هفته تمرینات مقاومتی با محدودیت جریان خون (BFR) همراه با مصرف مکمل سیترولین مالات یا دارونما انجام دادند. گروه کنترل بدون مداخله باقی ماند. سطوح سرمی نیتریک اکسید (NO) و لاکتات در دو مرحله و در شرایط ناشتا اندازه‌گیری و داده‌ها با نرم‌افزار SPSS تحلیل شدند.

یافته ها: دوازده هفته تمرینات محدودیت جریان خون به همراه مکمل سیترولین مالات بر NO خون (p=۰/۰۳۶) مردان جوان ورزشکار تاثیر معناداری داشت. اما بر سطوح لاکتات خون، توده چربی و توده بدون چربی تاثیر معناداری نداشت (P>۰/۰۵).

نتیجه گیری: به نظر می‌رسد تمرینات محدودیت جریان خون همراه با سیترولین مالات بیشتر به بهبود سطوح نیتریک اکسید کمک کرده و تأثیر کمتری بر سایر متغیرهای فیزیولوژیکی داشته است.

واژگان کلیدی محدودیت جریان خون، مکمل سیترولین مالات، هایپرتروفی، نیتریک اکساید، مردان جوان ورزشکار

۱- گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

✉ **نویسنده مسئول:**
fakhrpour@azaruniv.ac.ir

ISSN:۲۹۸۰-۸۹۶۰

تمامی حقوق این مقاله برای نویسندگان محفوظ است.

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه کردستان
شاپای الکترونیکی: ۲۹۸۰-۸۹۶۰
نوع دسترسی: آزاد
DOI: https://doi.org/10.22034/ren.2025.143651.1092

Copyright ©The authors

Citation:
Fakhrpour R, Salamat Thomtri M, Azali Alamdari K. The Effect of Twelve Weeks of Blood Flow Restriction Training with Citrulline Malate Supplementation on serum NO and lactate levels in Young Male Athletes. **Research in Exercise Nutrition.** 2025;4(1):33-47. **Doi:** https://doi.org/10.22034/ren.2025.143651.1092 .

مقدمه

ورزشکارانی که در طیف وسیعی از ورزش‌های تماسی و غیرتماسی با یکدیگر رقابت می‌کنند، از تمرینات مقاومتی برای تقویت رشد عضلانی و بهبود عملکرد بدنی استفاده می‌کنند. دستورالعمل‌های سنتی بیان می‌کنند که برای افزایش قابل‌توجه در اندازه و قدرت عضلانی، تمرین مقاومتی باید با استفاده از حداقل ۷۰ درصد حداکثر یک بیشینه انجام شود. با این حال، شواهد موجود از بکارگیری تمرینات مقاومتی با بار کم همراه با محدودیت جریان خون[1] (BFR) متوسط برای تسهیل افزایش هیپرتروفی و قدرت پشتیبانی می‌کند. این استراتژی جدید شامل استفاده از کاف‌هایی است که در نزدیکی اندام قرار می‌گیرند، با هدف حفظ جریان ورودی شریانی در حالی که بازگشت وریدی را در طول ورزش مسدود می‌کنند. مکانیسم‌های اولیه پیشنهادی شامل افزایش استرس متابولیک، افزایش بکارگیری فیبرهای عضلانی، تورم سلولی، افزایش سیگنال‌دهی عضلانی برای سنتز پروتئین و تکثیر سلول‌های بنیادی میوژنیک است که تصور می‌شود همه این موارد باعث رشد عضلانی می‌شوند (۱).

خونرسانی مجدد پس از یک دوره BFR باعث آسیب موضعی ثانویه به یک پاسخ التهابی حاد می‌شود. نوتروفیل‌ها و پلاکت‌ها در نتیجه آسیب، فعال می‌شوند و گونه‌های فعال اکسیژن و مولکول چسبندگی تولید می‌کنند که عملکرد اندوتلیال را مختل می‌کند (۲, ۳). این تغییرات با تقویت پاسخ‌های هورمونی مرتبط با افزایش فعال سازی فرآیندهای آنژیوژنیک همراه است. سلول‌های اندوتلیال عروق با تولید مواد فعال همچون اندوتلین-۱ [2] (ET-1)، نیتریک اکسید[3] (NO) و پروستاسیکلین نقش مهمی در تنظیم فعالیت عروق دارند. NO تحت تاثیر آنزیم نیتریک اکسید سنتاز [4] (NOS) تشکیل می‌شود که اسید آمینه ال آرژنین را به NO تبدیل می‌کند (۴). بر اساس شواهد و گزارش مطالعات، بازیابی سیگنال‌دهی NO توسط بیان بیش از حد nNOS عملکرد عضلات را بهبود می‌بخشد (۵, ۶). این در حالی است که NO نقش مهمی در عملکرد اندوتلیال ایفا می‌کند و باعث آرامش عضلات صاف عروق و متعاقب آن اتساع می‌شود که ممکن است به طور مطلوب بر جریان خون تأثیر بگذارد و مکانیسم‌های تقویت کننده را که به عملکرد عضلات اسکلتی، هیپرتروفی و سازگاری‌های قدرتی کمک می‌کند، داشته باشد (۵). افزایش جریان خون داخل عضلانی برای القای سیگنال دهی آنابولیک بیشتر و سنتز پروتئین عضلانی از جمله مسیرهای احتمالی تحریک عضله جهت هیپرتروفی عضلانی است (۷, ۸).

استراتژی‌های تغذیه‌ای معمول برای افزایش فعالیت NO شامل مصرف سبزیجات برگ سبز و/یا آب چغندر و ال سیترولین است. در واقع، ال سیترولین برای اعمال اثرات مثبت بر عملکرد ورزشی و ریکاوری شناخته شده است. با این حال، اخیراً، یک پیش‌ساز مستقیم NO به نام مالات سیترولین[5] (CM) برای داشتن پتانسیل ارژوژنیک تبلیغ شده است که ترکیبی از ال سیترولین و مالات است. در نتیجه مکانیسم CM ممکن است به دلیل تأثیر هم افزایی هر دو جزء (یعنی ال سیترولین و مالات) در سطح عضلانی گسترده‌تر باشد. به طور خاص، مالات برای افزایش نرخ تولید ATP با کاهش تولید لاکتات در طول حالت‌های شار بالا پیشنهاد شده است (۱). با انجام این کار امکان ادامه تولید پیرووات و انرژی فراهم می‌شود. علاوه بر این، شاتل مالات-آسپارتات[6] (MAS) ممکن است پس از مصرف CM کارآمدتر باشد و در نتیجه در دسترس بودن ATP را بهبود بخشد. بر اساس این یافته‌های امیدوارکننده و مکانیسم‌های اضافی در مقایسه با مکمل ال سیترولین به تنهایی، می‌توان پیشنهاد کرد که مکمل CM می‌تواند یک کمک ارگوژنیک ارزشمند باشد (۹). لذا بررسی اثر همزمان مصرف مکمل CM و استفاده از تمرینات BFR روی مردان ورزشکار بر سطوح لاکتات و نیتریک اکساید خون جوانان ورزشکار از اهمیت و ضرورت لازم برخوردار است. تا اثرات هم‌افزایی و بالاترین اثر بخشی در این مدل تمرینات به همراه مکمل‌های رایج در بازار بر عملکرد ورزشکاران بررسی شود. بنابراین هدف از این مطالعه، بررسی تاثیر دوازده هفته تمرینات محدودیت جریان خون به همراه مکمل سیترولین مالات بر NO و لاکتات در مردان جوان ورزشکار است.

روش‌شناسی

پژوهش حاضر در قالب یک مطالعه‌ی نیمه‌تجربی با طراحی پیش‌آزمون و پس‌آزمون انجام شده است. جامعه آماری شامل مردان ورزشکار (فیتنس‌کاران) ساکن تبریز با سابقه فعالیت منظم یک ساله و با دامنه سنی ۲۰ تا ۳۰ سال بود. نمونه آماری شامل ۴۰ مرد ورزشکار بود که به‌صورت عمومی در باشگاه هتل پارس دعوت شدند. شرایط ورود به مطالعه شامل داشتن شاخص توده بدنی طبیعی (بین ۲۴.۹-۲۰ کیلوگرم بر متر مربع)، تأیید پزشکی مبنی بر نداشتن مشکلات و بیماری‌های مزمن، عدم مصرف

[1] Blood Flow Restriction (BFR)
[2] endothelin-1 (ET-1)
[3] nitric oxide (NO)
[4] Nitric oxide synthases (NOS)
[5] Citrulline malate (CM)
[6] Malate-Aspartate Shuttle (MAS)

دارو و مکمل‌های غذایی در سه ماه گذشته بود. در صورت غیبت داوطلب در یک مرحله از آزمون‌ها یا در سه جلسه تمرینی مشخص، از مطالعه حذف می‌شد. پس از توضیح کامل در مورد موضوع و اهداف تحقیق، فرم رضایت‌نامه و پرسشنامه سلامت و سابقه ورزشی تکمیل شد و سپس شرکت‌کنندگان مورد معاینه پزشکی قرار گرفتند. پس از احراز شرایط لازم، آزمودنی‌ها به‌طور تصادفی به چهار گروه گروه تمرین BFR و مکمل، گروه تمرین BFR و دارونما، گروه مکمل و گروه کنترل و دارونما تقسیم شدند. اندازه‌گیری لاکتات پلاسما بعد از آزمون وامانده ساز بروس در مرحله پیش آزمون (قبل از شروع تمرینات) و پس آزمون (پس از دوازده هفته و آخرین جلسه تمرینی) انجام شد (۲). خون‌گیری اول بعد از ۱۲ ساعت ناشتایی در هر دو مرحله صورت گرفت و همچنین نمونه‌گیری پس از آخرین جلسه تمرین به فاصله ۱۲ ساعت انجام شد. جهت رعایت ملاحظات اخلاقی و کاهش عوارض خون‌گیری نظیر کبودی و تورم موضعی، از کمپرس یخ استفاده شد. برای اندازه‌گیری دور عضلات ران و بازو از متر نواری بهره گرفته شد و این اندازه‌گیری‌ها دو بار انجام شد. در صورت اختلاف بین دو مقدار، میانگین آن‌ها به‌عنوان نتیجه نهایی گزارش شد. این تحقیق با شناسه IR.AZARUNIV.REC.1403.030 به تصویب کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه شهید مدنی آذربایجان (تبریز، ایران) رسیده است.

برنامه تمرینات مقاومتی و محدودیت جریان خون

دوگروه تمرین - BFRمکمل، گروه تمرین BFR، حرکات ورزشی شامل جلو بازو دستگاه لاری، جلو بازو هالتری ایستاده، پشت بازو سیمکش، پشت بازو دمبل فرانسوی، جلو پا دستگاه، پشت پا دستگاه، بک اسکوات و پرس پا را طی دوازده هفته اجرا کردند. بعد از تست 1RM برای هر فرد به صورت مجزا ارزیابی شد و بعد از چهار هفته دوباره برآورد 1RM انجام شد . جدول۱ برنامه تمرینات را در مدت دوازده هفته نشان می‌دهد. میزان فشار میلی‌متر جیوه کاف ها از ۱۳۰شروع شد و هر چهار هفته با افزایش ۱۰میلی متر جیوه به ۲۰۰میلی متر جیوه رسید. محدودیت جریان خون با استفاده از دستگاه دستی داپلر توسط متخصص سونوگرافی کنترل شد (۳). با استفاده از این دستگاه دستی داپلر، میزان فشار میلی متر جیوه در محدودیت جریان خون نسبت به میزان فشار خون در حالت عادی مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه، از کاف‌های Delfi PTS، مدل: سیستم تورنیکت شخصی با عرض ۱۱ cm برای BFR استفاده شد. فشار انسداد با استفاده از سونوگرافی تعیین گردید و بر اساس فشار انسداد اندام[7] (LOP) یا فشار انسداد شریانی[8] (AOP)، مقدار ۶۰٪ از LOP برای تمرینات مقاومتی و ۵۰٪ از LOP برای تمرینات استقامتی اعمال شد. این درصد در طول دوره مطالعه حفظ گردید و به‌صورت هفتگی کنترل شد تا دقت و یکپارچگی مداخله تضمین شود.

جدول ۱. برنامه تمرین مقاومتی

هفته	شدت تمرین	تکرار	استراحت
هفته اول	۳۰ ٪ 1RM	ست اول ۳۰ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۱۵ تکرار	۳۰ الی ۶۰ ثانیه
هفته دوم	۳۰ ٪ 1RM	ست اول ۳۰ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۱۵ تکرار	۳۰ الی ۶۰ ثانیه
هفته سوم	۳۰ ٪ 1RM	ست اول ۳۰ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۱۵ تکرار	۳۰ الی ۶۰ ثانیه
هفته چهارم	۳۰ ٪ 1RM	ست اول ۳۰ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۱۵ تکرار	۳۰ الی ۶۰ ثانیه
هفته پنجم	۴۰ ٪ 1RM	ست اول ۱۵ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۱۰ تکرار	۳۰ الی ۶۰ ثانیه
هفته ششم	۴۰ ٪ 1RM	ست اول ۱۵ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۱۰ تکرار	۳۰ الی ۶۰ ثانیه
هفته هفتم	۴۰ ٪ 1RM	ست اول ۱۵ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۱۰ تکرار	۳۰ الی ۶۰ ثانیه
هفته هشتم	۴۰ ٪ 1RM	ست اول ۱۵ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۱۰ تکرار	۳۰ الی ۶۰ ثانیه
هفته نهم	۵۰ ٪ 1RM	ست اول ۱۲ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۸ تکرار	۳۰ الی ۶۰ ثانیه

[7] Limb Occlusion Pressure (LOP)

[8] Arterial Occlusion Pressure (AOP)

هفته دهم	۵۰ ٪ 1RM	ست اول ۱۲ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۸ تکرار	۳۰ الی ۶۰ ثانیه
هفته یازدهم	۵۰ ٪ 1RM	ست اول ۱۲ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۸ تکرار	۳۰ الی ۶۰ ثانیه
هفته دوازدهم	۵۰ ٪ 1RM	ست اول ۱۲ تکرار، ست دوم، سوم و چهارم ۸ تکرار	۳۰ الی ۶۰ ثانیه

اندازه گیری قدرت بیشینه عضلات از طریق فرمول برزیسکی محاسبه شد (۴, ۵). سرعت حرکات ۱ به ۲ الی ۱ به ۴ بود (کانسنتریک–اکسنتریک).

$$1\ rep\ max = \frac{\text{وزنه جابجا شده}}{1.0278-(0.0278\times \text{تعداد تکرار})}$$

مصرف مکمل در مطالعه حاضر، هشت گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن دوز مصرفی سیترولین مالات و زمان مصرف مکمل نیز ۳۰ دقیقه الی ۱ساعت قبل تمرین بود (۶). در طول مطالعه گروه دارونما در کپسول های مشابه قرص مکمل حاوی دکسترین طعم دهنده دریافت کردند. گروه کنترل در مدت پژوهش روش زندگی معمول خود را حفظ و دنبال کردند. این مطالعه به صورت دو سوکور اجرا شد. نیتریک اکساید با استفاده از کیت انسانی نیتریک اکساید به نام ایستبیوفارم ساخت تورنس آمریکا به روش الایزا، بر حسب میلی مول بر لیتر در طول موج ۳۶۰–۴۵۰ نانومتر ارزیابی شد.

روش آماری

به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات، از روش‌های آمار توصیفی برای محاسبه شاخص‌های مرکزی و پراکندگی استفاده شد. از آزمون شاپیرو–ویلک برای بررسی نرمال بودن داده‌ها، همچنین از آزمون لوین برای بررسی برابری واریانس متغیرهای مورد نظر استفاده شد. در بخش آمار استنباطی، از آزمون آنکوا استفاده شد. برای بررسی تفاوت های درون گروهی نیز از آزمون تی همبسته استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام شد.

یافته‌ها

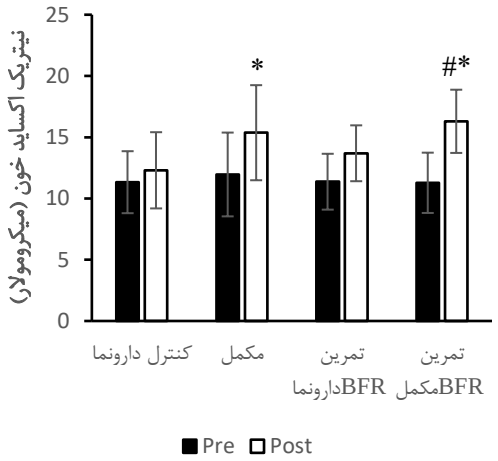
یافته ها مربوط به ویژگی های دموگرافیک تحقیق بین گروه های پژوهش در جدول ۲ گزارش شده است.

جدول ۲. بررسی ویژگی های دموگرافیک تحقیق بین گروه های پژوهش

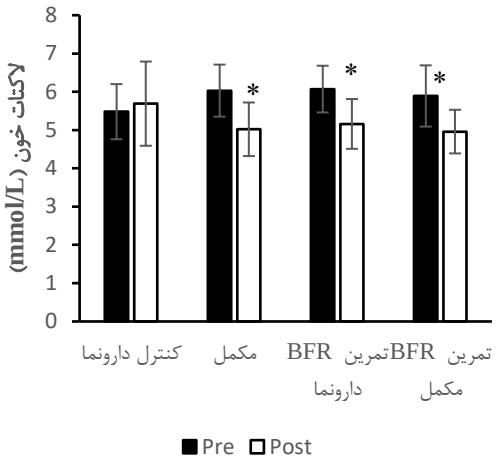
متغیر	کنترل دارونما	مکمل	تمرین BFR–دارونما	تمرین BFR–مکمل
سن (سال)	۲۵/۸ ± ۲/۵۷	۲۶/۳ ± ۲/۵۴	۲۶/۱۰ ± ۳/۱۰	۲۵/۷۰ ± ۳/۳۰
قد (cm)	۱۷۵ ± ۵/۹۸	۱۷۶/۳ ± ۲/۲۶	۱۷۶/۵۰ ± ۴/۸۵	۱۷۶/۳۰ ± ۵/۶۷
وزن (kg) پیش آزمون	۷۲/۸۶ ± ۶/۰۲	۷۷/۸۳ ± ۲/۷۱	۸۰/۳۹ ± ۴/۴۷	۷۶/۸۹ ± ۴/۴۹
وزن (kg) پس آزمون	۷۲/۹۵ ± ۶/۲۰	۷۷/۳۸ ± ۳/۳۲	۷۹/۶۷ ± ۴/۱۷	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

نتایج آزمون t زوجی در رابطه با سطوح NO خون در گروه BFR مکمل و گروه مکمل در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون افزایش معناداری یافته است (p<۰/۰۵). اما این تغییر در گروه دارونما (P=۰/۳۵۴) و گروه BFR دارونما (P=۰/۱۱۶) در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون معنادار نبود. با بررسی بیشتر توسط آزمون آنکوا و با کواریانت قرار دادن مقادیر پایه نیز تفاوت معناداری بین پس آزمون گروه‌های مورد مطالعه مشاهده شد (F=۳/۱۷۱، p=۰/۰۳۶). در بررسی نتایج حاصل از آزمون تعقیبی بن فرونی برای متغییر NO خون نشان داد بین گروه تمرینBFR–مکمل در مقایسه با گروه کنترل دارونما (P=۰/۰۴۱) معنادار بود اما در سایر مقایسه‌ها تفاوت

معناداری مشاهده نشد (P>۰/۰۵)(شکل۱). نتایج آزمون t زوجی در رابطه با سطوح لاکتات خون در گروه مکمل (P=۰/۰۰۸)، گروه تمرین BFR دارونما (P=۰/۰۳۲) و گروه تمرین BFR مکمل (P=۰/۰۲۷) در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون کاهش معناداری یافته است (p<۰/۰۵). اما این تغییر در گروه دارونما در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون معنادار نبود (p=۰/۶۰۹). با بررسی بیشتر توسط آزمون آنکوا و با کواریانت قرار دادن مقادیر پایه نیز تفاوت معناداری بین پس آزمون گروه‌های مورد مطالعه مشاهده نشد (F=۱/۳۶۸، p=۰/۲۶۸) (شکل ۲).

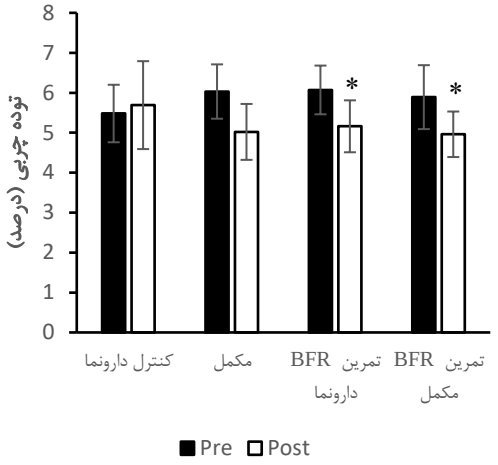


شکل ۱ تغییرات سطوح نیتریک اکساید در بین گروه‌های پژوهش، * تفاوت معنادار نسبت به مرحله پیش آزمون، # تفاوت معنادار نسبت به گروه کنترل دارونما (P<۰/۰۵).

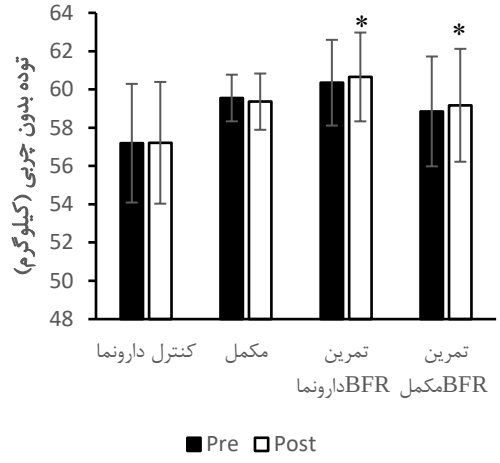


شکل ۲ تغییرات سطوح لاکتات خون در بین گروه‌های پژوهش، * تفاوت معنادار نسبت به مرحله پیش آزمون (P<۰/۰۵).

نتایج آزمون t زوجی در رابطه با سطوح توده چربی در گروه تمرین BFR دارونما (P=۰/۰۴۶) و گروه تمرین BFR مکمل (P=۰/۰۱۳) در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون کاهش معناداری یافته است (p<۰/۰۵). اما این تغییر در گروه دارونما (p=۰/۵۷۴) و گروه مکمل (p=۰/۱۱۴) در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون معنادار نبود. با بررسی بیشتر توسط آزمون آنکوا و با کواریانت قرار دادن مقادیر پایه نیز تفاوت معناداری بین پس آزمون گروه‌های مورد مطالعه مشاهده نشد (F=۲/۲۵۱، p=۰/۱۰۰) (شکل۳). نتایج آزمون t زوجی در رابطه با سطوح توده بدون چربی در گروه تمرین BFR دارونما (P=۰/۰۳۸) و گروه تمرین BFR مکمل (P=۰/۰۱۴) در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون افزایش معناداری یافته است (p<۰/۰۵). اما این تغییر در گروه دارونما (p=۰/۶۸۹) و گروه مکمل (p=۰/۱۰۷) در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون معنادار نبود. با بررسی بیشتر توسط آزمون آنکوا و با کواریانت قرار دادن مقادیر پایه نیز تفاوت معناداری بین پس آزمون گروه‌های مورد مطالعه مشاهده نشد (F=۱/۹۵۰، p=۰/۱۴۰) (شکل ۴).



شکل ۳ تغییرات توده چربی در بین گروه‌های پژوهش، * تفاوت معنادار نسبت به مرحله پیش آزمون (P<۰/۰۵).



شکل ۴ تغییرات توده بدون چربی در بین گروه‌های پژوهش، * تفاوت معنادار نسبت به مرحله پیش آزمون (P<۰/۰۵).

بحث

هدف کلی این پژوهش، تعیین تاثیر دوازده هفته تمرینات مقومتی همراه با محدودیت جریان خون به همراه مکمل سیترولین مالات بر سطوح NO خون و لاکتات در مردان جوان ورزشکار بود. در مطالعه حاضر مصرف مکمل سیترولین مالات در گروه مکمل، گروه تمرین و مکمل موجب افزایش سطوح NO شد. این در حالی است که این تغییرات در گروه تمرین BFR نیز معنادار و افزایشی بود. این نشان می‌دهد که BFR نه تنها ممکن است به هیپرتروفی عضلانی کمک کند، بلکه با افزایش فراهمی زیستی NO ممکن است به سلامت قلب و عروق نیز کمک می‌کند (۷-۹). استرس فیزیولوژیکی ناشی از تمرین BFR می‌تواند منجر به سازگاری‌های مختلف در عضلات اسکلتی و سیستم عروقی شود. این سازگاری‌ها شامل افزایش استفاده از فیبرهای عضلانی و بهبود تراکم مویرگ‌ها است که می‌تواند جریان خون و تولید NO را در طول و بعد از ورزش افزایش دهد (۱۰, ۱۱). فرگوسن و همکاران (۲۰۱۸) طی مطالعه روی شش مرد در دو گروه با و بدون محدودیت جریان خون گزارش کردند که یک جلسه تمرین باز کردن زانو با ۲۰ درصد یک تکرار بیشینه و تعداد تکرار (۱۵-۱۵-۱۵-۳۰) و فشار کاف ۱۱۰ میلی متر جیوه، در گروه با محدودیت نسبت به گروه بدون محدودیت، مقدار eNOS، افزایش بیشتری داشته است (۱۲). همچنین لارکین و همکاران (۲۰۱۲) با تحقیق روی مردان سالمند و جوان سالم نشان دادند تمرینات با محدودیت جریان خون موجب افزایش بیان فاکتور رشد اندوتلیال عروقی و NOS در گروه محدودیت جریان خون نسبت به گروه بدون محدودیت جریان خون شده است (۱۳). این نتایج با یافته‌های مطالعه حاضر همسو است. در این مطالعه نشان داده شد NO خون گروه BFR-مکمل در مقایسه با گروه کنترل افزایش معناداری داشت. همچین سطوح NO خون در گروه مکمل نیز در مقایسه با مرحله پیش آزمون افزایش داشت. ممکن است جریان خون و اکسیژن رسانی عضلات را که برای عملکرد ورزشی حیاتی هستند، بهبود بخشد. اعتقاد بر این است که مکمل باعث افزایش در دسترس بودن آرژنین، پیش ساز NO، می‌شود و در نتیجه به طور بالقوه تولید NO را در بدن افزایش می‌دهد (۱, ۱۴). همسو با نتایج مطالعه حاضر نشان داده شده است که دوز ۸ گرمی CM به طور قابل توجهی تعداد تکرارهای انجام شده در تمرینات مقاومتی را در بین مردان تمرین کرده افزایش می‌دهد، که حاکی از بهبود استقامت عضلانی و کاهش خستگی است (۱, ۱۴). مکمل سیترولین مالات همچنین ممکن است با کاهش درد عضلانی و تلاش درک شده به ریکاوری بعد از ورزش کمک کند. این می‌تواند برای ورزشکارانی که به دنبال حفظ حجم تمرین بالا بدون خستگی مفرط هستند مفید باشد (۱, ۱۵).

علیرغم این فواید بالقوه، نتایج مربوط به اثربخشی سیترولین مالات بر عملکرد ورزشی متفاوت است. برخی از مطالعات پیشرفت‌های قابل‌توجهی را گزارش می‌کنند، در حالی که برخی دیگر هیچ افزایشی در معیارهای عملکرد مانند تولید نیروی ایزومتریک یا پارامترهای اکسیژن‌رسانی عضلات پیدا نمی‌کنند (۱۵, ۱۶). کوتروفلو و همکاران (۲۰۱۵) هیچ اثری از ۸ گرم سیترولین مالات بر اتساع شریان بازویی با واسطه جریان را به دنبال پنج مجموعه پرس سینه ماشینی در ۸۰٪ 1RM نشان ندادند (۱۷). پس از تجویز

حاد ۸ گرم سیترولین مالات، ترکسلر و همکاران (۲۰۱۹) همچنین هیچ افزایشی در قطر شریان فمورال و جریان خون یا سطح مقطع عرضی پهن جانبی به دنبال پروتکل اکستنشن دینامومتر ایزوکینتیک نشان ندادند (۱۸). به نظر می‌رسد طی فعالیت بدنی با کاهش سطوح گلیکوژن عضلانی، AMPK فسفریله شده و فعال می‌شود و از طریق افزایش PGC1α سبب افزایش بیان ژن عامل رشد اندوتلیال و NO می‌شود (۱۹). افزایش جریان خون سیستمی و موضعی از مهم ترین نیازهای بدن طی انواع فعالیت ورزشی و سازگارهای متعاقب تمرینات ورزشی است که به تامین مواد سوخت و سازی اندام‌ها و رفع استرس فیزیولوژیکی در حین ورزش منجر می‌شود که برای رفع این شرایط استرسی هنگام فعالیت ورزشی در ساختار عروق عضله اسکلتی فزاینده به نام آنژیوژنز روی می‌دهد (۱۲).

یکی دیگر از یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد دوازده هفته تمرینات محدودیت جریان خون به همراه مکمل سیترولین مالات بر لاکتات خون مردان جوان ورزشکار تاثیر معناداری ندارد. ناهمسو با نتایج مطالعه نشان داده شده است که تمرینات BFR به طور قابل توجهی بر سطح لاکتات خون در مردان به ویژه در طول تمرینات مقاومتی و تمرینات اینتروال تأثیر می‌گذارد. نیتسچه و همکاران (۲۰۱۸) طی مطالعه‌ای با مقایسه تمرینات مقاومتی حاد با و بدون BFR نشان دادند که غلظت لاکتات در طول و بعد از تمرینات انجام شده با BFR به طور قابل توجهی بالاتر بود. به طور خاص، زمانی که آزمودنی‌ها در ۳۰ درصد 1RM با BFR تمرین کردند، سطح لاکتات آنها به ۳.۴۳ ± ۱.۳۷ mmol/L رسید، در حالی که فقط ۰.۸۶ ± ۱.۷۸ میلی مول در لیتر بدون BFR بود. این روند با بارهای بالاتر ادامه یافت و به حداکثر ۷.۲۲ ± ۲.۳۲ میلی مول در لیتر هنگام تمرین در ۵۰٪ ۱-RM با BFR رسید، که نشان می‌دهد BFR تجمع لاکتات را در طول تمرین مقاومتی کم تا متوسط افزایش می‌دهد (۲۰). کریستینسن و همکاران (۲۰۲۱) با تمرکز بر دوچرخه سواری اینتروال، BFR روی یک پا اعمال شد در حالی که پای دیگر به عنوان کنترل عمل می‌کرد. نتایج نشان داد که پای BFR شیب لاکتات عضلانی کمتری دارد و تولید لاکتات را در طول ریکاوری کاهش می‌دهد، که نشان می‌دهد تمرین BFR توانایی عضله را برای بافر و انتقال لاکتات بهبود می‌بخشد که می‌تواند عملکرد را در تمرینات پویا افزایش دهد (۲۱). ژانگ و همکاران (۲۰۲۳) طی تحقیقات مربوط به دوندگان دونده مرد نشان دادند تمرین BFR منجر به سطوح بالاتر لاکتات خون بلافاصله پس از تمرین در مقایسه با روش‌های سنتی می‌شود. این تجمع متابولیک با بهبود فعال سازی و عملکرد عضلانی در اسپرینت های بعدی همراه بود (۲۲). میلر و همکاران (۲۰۲۱)

افزایش لاکتات با افزایش استرس متابولیک مرتبط است و ممکن است به بهبود سازگاری عضلات و نتایج عملکرد کمک کند (۲۳). یافته‌ها نشان می‌دهد که BFR می‌تواند یک ابزار ارزشمند در هر دو زمینه تمرینات ورزشی و توانبخشی باشد. هرچند بین تمرینات BFR با مصرف مکمل سیترولین مالات اختلاف معناداری مشاهده نشد. اما مصرف مکمل سیترولین مالات به تنهایی نیز توانست سطوح لاکتات را کاهش دهد. مکمل سیترولین برای اثرات بالقوه آن بر سطح لاکتات خون در ورزشکاران مرد جوان، به ویژه در رابطه با عملکرد ورزشی و ریکاوری مورد مطالعه قرار گرفته است. مطالعه‌ای که به بررسی اثرات ال سیترولین بر حذف لاکتات خون در طول دوره ریکاوری فعال پرداخته بود، همسو با نتایج مطالعه حاضر، دیویتو و همکاران (۲۰۲۲) هیچ تاثیر قابل توجهی بر سینتیک لاکتات خون نشان ندادند. علیرغم مزایای نظری سیترولین در افزایش دسترسی به اکسید نیتریک و ترویج اتساع عروق، این تحقیق به این نتیجه رسید که مکمل ال سیترولین سرعت پاکسازی لاکتات از خون را در طی ریکاوری پس از ورزش شدید بهبود نمی‌بخشد (۲۴). این نشان می‌دهد که در حالی که ال سیترولین به تنهایی ممکن است پاکسازی لاکتات را افزایش ندهد، ترکیب آن با مالات می‌تواند مفید باشد. یک بررسی سیستماتیک نشان داد که در حالی که مکمل سیترولین می‌تواند فشار و درد عضلانی پس از ورزش را کاهش دهد، اما در مطالعات مختلف به طور مداوم بر سطح لاکتات خون تأثیر نمی‌گذارد (۱۶). این منعکس کننده یک ناسازگاری گسترده تر در ادبیات در مورد اثربخشی مکمل سیترولین بر دینامیک لاکتات است. اثر مکمل سیترولین بر لاکتات خون در مردان ورزشکار جوان متغیر به نظر می‌رسد. در حالی که برخی از مطالعات مزایای بالقوه را در ترکیب با مالات نشان می‌دهند، برخی دیگر تأثیر قابل‌توجهی بر پاکسازی لاکتات در طول بهبودی نشان نمی‌دهند. بنابراین، ورزشکارانی که مکمل سیترولین را در نظر می گیرند، باید این یافته‌های ترکیبی را بسنجید و احتمالاً ترکیباتی مانند سیترولین مالات را برای افزایش مزایای عملکرد بررسی کنند.

یکی دیگر از نتایج مطالعه حاضر نشان داد دوازده هفته تمرینات محدودیت جریان خون به همراه مکمل سیترولین مالات بر توده چربی و توده بدون چربی مردان جوان ورزشکار تاثیر معناداری ندارد. برخی از مطالعات نا همسو با نتایج مطالعه حاضر نشان داده‌اند تمرینات محدودیت جریان خون (BFR) زمانی که با تمرینات مقاومتی با شدت کم ترکیب می شود، روشی موثر برای کاهش توده چربی در مردان است. تمرین BFR همراه با تمرینات مقاومتی با شدت کم می‌تواند به طور موثر درصد چربی بدن را در افراد چاق کاهش دهد (۲۵). ناهمسو با نتایج مطالعه حاضر سو و همکاران (۲۰۲۲) طی یک متاآنالیز نشان دادند تمرین BFR به طور قابل

توجهی BMI را با کاهش وزن بدن، درصد چربی بدن و دور کمر در بزرگسالان دارای اضافه وزن/چاق کاهش می‌دهد (۲۶). یکی از دلایل عدم ناهمسویی به آزمودنی‌ها (سالم ورزشکار در مقابل چاق و اضافه وزن) و میزان دوز مصرفی مکمل باشد. مصرف مکمل‌ها به صورت طولانی مدت از ۲ گرم سیترولین مالات، ۲ گرم سیترولین، ۲۰۰ میلی گرم گلوتاتیون و دارونما در طی ۸ هفته هیچ تأثیری بر حداکثر قدرت عضلانی نداشتند اما تأثیر زیادی در کاهش توده چربی نشان دادند (۲۷). تأثیر محدود بر عملکرد و سازگاری ممکن است به دلیل کاهش دوز استفاده شده از سیترولین مالات باشد. با این حال، دوز پایین مکمل سیترولین مالات در کاهش توده چربی و کمک به مدیریت ترکیب بدن ورزشکاران نویدبخش بوده است. اما میزان دوز مصرفی در مطالعه حاضر ۸ گرم بود. به نظر میرسد تمرینات BFR از طریق افزایش لیپولیز (تجزیه چربی) ممکن است باعث کاهش بهتر چربی احشایی شکم در مقایسه با مرحله ورزش در بزرگسالان چاق می شود (۲۸).

مکمل سیترولین برای اثرات بالقوه آن بر عملکرد و نتایج مختلف بازیابی در ورزشکاران از جمله توده چربی مورد مطالعه قرار گرفته است. با این حال، شواهد در مورد تأثیر آن به طور خاص بر توده چربی در ورزشکاران مرد جوان محدود و تا حدودی نا مشخص و کم است. برخی از مطالعات نشان می‌دهد که مکمل سیترولین، به ویژه به شکل سیترولین مالات، ممکن است با کاهش بالقوه توده چربی به مدیریت ترکیب بدن کمک کند. تصور می‌شود که این اثر با بهبود عملکرد ورزشی و ریکاوری مرتبط است، که می‌تواند به طور غیرمستقیم بر کاهش چربی از طریق افزایش ظرفیت تمرینی و کارایی متابولیک تأثیر بگذارد (۲۹, ۳۰). همسو با نتایج مطالعه حاضر، پهلوانی وهمکاران (۲۰۱۷) با تمرکز بر ال-آرژنین، اسید آمینه دیگر، هیچ تغییر قابل توجهی در توده چربی بدن یا توده بدون چربی بدن مشاهدهنکردند، که نشان می‌دهد مکمل‌های اسید آمینه مشابه ممکن است بر ترکیب بدن در ورزشکاران تأثیری نداشته باشد (۳۱). نقش سیترولین در کاهش توده چربی به خوبی پشتیبانی نمی‌شود، زیرا مطالعات در درجه اول بر عملکرد به جای اثرات مستقیم روی چربی بدن تمرکز دارند (۳۲, ۳۳). سیترولین برای افزایش تولید اکسید نیتریک شناخته شده است، که می‌تواند جریان خون را بهبود بخشد و ممکن است منجر به عملکرد بهتر ورزش شود. بهبود عملکرد می‌تواند مصرف انرژی بیشتر در طول تمرینات را تسهیل کند و به طور بالقوه به کاهش چربی در طول زمان کمک کند. با این حال، شواهد مستقیمی که مکمل سیترولین را به کاهش قابل توجه توده چربی به ویژه در ورزشکاران مرد جوان مرتبط می‌کند، بی‌نتیجه است، با برخی از مطالعات اثرات ناچیز بر متغیرهای ترکیب بدن را گزارش می‌کنند (۱, ۳۴). همسو با نتایج مطالعه حاضر، یک بررسی سیستماتیک نشان داد که در حالی که مکمل سیترولین می‌تواند نتایج مختلف ورزش را افزایش دهد، در مقایسه با دارونما به طور مداوم منجر به بهبود قابل توجهی در توده چربی یا ترکیب کلی بدن نمی‌شود (۲۹).

نتیجه‌گیری

در حالی که مکمل سیترولین ممکن است از نظر عملکرد ورزشی و ریکاوری فوایدی را ارائه دهد، تأثیر مستقیم آن بر توده چربی در ورزشکاران مرد جوان به شدت توسط تحقیقات فعلی پشتیبانی نمی‌شود. مطالعات هدفمند بیشتری برای روشن شدن نقش و اثربخشی آن در کاهش چربی در این جمعیت شناسی خاص مورد نیاز است.

پیام مقاله

ترکیب تمرینات مقاومتی با بار کم با BFR و مکمل سیترولین مالات، یک استراتژی مؤثر و نوآورانه برای افزایش فراهمی زیستی نیتریک اکسید در ورزشکاران مرد جوان است. این رویکرد با ارتقاء سازگاری‌های عروقی و عضلانی با کاهش استرس مکانیکی، یک جایگزین عملی برای تمرینات مقاومتی سنتی با بار زیاد ارائه می‌دهد. در حالی که مداخله ترکیبی اثرات محدود و متناقضی بر سطح لاکتات خون و ترکیب بدن نشان داد، تأثیر قابل توجه آن بر اکسید نیتریک، ارزش بالقوه آن را برای بهبود عملکرد اندوتلیال، پرفیوژن عضلانی و راندمان کلی ورزش برجسته می‌کند. بنابراین، تمرین BFR، به ویژه هنگامی که با مکمل‌های هدفمند پشتیبانی می‌شود، می‌تواند یک روش ایمن، کارآمد از نظر زمان و حامی عملکرد در هر دو محیط آمادگی ورزشی و توانبخشی در نظر گرفته شود.

تشکر و قدردانی

از کلیه افرادی که در به سر انجام رسیدن این پژوهش یاری کردند کمال تشکر و قدردانی داریم.

تعارض منافع

تعارض منافعی گزارش نشده است.

منابع

[1] Gough LA, Sparks SA, McNaughton LR, Higgins MF, Newbury JW, Trexler E, et al. A critical review of citrulline malate supplementation and exercise performance. European journal of applied physiology. 2021;121(12):3283-95. https://doi.org/10.1007/s00421-021-04774-6

questionnaire survey of professionals. Medicine. 2021;100(18):e25794. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000025794

[11] Saatmann N, Zaharia O-P, Loenneke JP, Roden M, Pesta DH. Effects of blood flow restriction exercise and possible applications in type 2 diabetes. Trends in Endocrinology & Metabolism. 2021;32(2):106-17. https://doi.org/ 10.1016/j.tem.2020.11.010

[12] Ferguson RA, Hunt JE, Lewis MP, Martin NR, 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. https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1422281

[13] Larkin KA, Macneil RG, Dirain M, Sandesara B, Manini TM, Buford TW. Blood flow restriction enhances post–resistance exercise angiogenic gene expression. Medicine and science in sports and exercise. 2012;44(11):2077. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182625928

[14] Gonzalez AM, Yang Y, Mangine GT, Pinzone AG, Ghigiarelli JJ, Sell KM. 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):88. https://doi.org/10.3390/jfmk8030088

[15] Glenn JM, Gray M, Jensen A, Stone MS, Vincenzo JL. Acute citrulline-malate supplementation improves maximal strength and anaerobic power in female, masters athletes tennis players. European journal of sport science. 2016;16(8):1095-103. https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1158321

[16] Rhim HC, Kim SJ, Park J, Jang K-M. Effect of citrulline on post-exercise rating of perceived exertion, muscle soreness, and blood lactate levels: A systematic review and meta-analysis. Journal of Sport and Health Science. 2020;9(6):553-61. https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.02.003

[17] Cutrufello PT, Gadomski SJ, Zavorsky GS. The effect of l-citrulline and watermelon juice supplementation on anaerobic and aerobic exercise performance. Journal of sports sciences. 2015;33(14):1459-66. https://doi.org/10.1080/02640414.2014.990495

[18] Trexler ET, Keith DS, Schwartz TA, Ryan ED, Stoner L, Persky AM, et al. Effects of citrulline malate and beetroot juice

[2] Machek SB, Harris DR, Zawieja EE, Heileson JL, Wilburn DT, Radziejewska A, 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):5040. https://doi.org/10.3390/nu14235040.

[3] Laurentino GC, Loenneke JP, Mouser JG, Buckner SL, Counts BR, Dankel SJ, 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):2693-6. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002665

[4] Mannion A, Adams M, Cooper R, Dolan P. Prediction of maximal back muscle strength from indices of body mass and fat-free body mass. Rheumatology (Oxford, England). 1999;38(7):652-5. https://doi.org/10.1093/rheumatology/38.7.652

[5] Talebi V, Fallah MZ, Saadat P, Hosseini NSE. Compare the strength, range of motion and balance the active and inactive groups with multiple sclerosis. 2020; 3(12).263-276. https://doi.org/10.22059/jsb.2019.285313.1351

[6] Gonzalez AM, Church DD, Townsend JR, Bagheri R. Emerging nutritional supplements for strength and hypertrophy: an update of the current literature. Strength & Conditioning Journal. 2020;42(5):57-70. https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000552

[7] Freitas ED, Karabulut M, Bemben MG. The evolution of blood flow restricted exercise. Frontiers in physiology. 2021;12:747759. https://doi.org/ 10.3389/fphys.2021.747759

[8] Loenneke J, Wilson J, Wilson G, Pujol T, Bemben M. Potential safety issues with blood flow restriction training. Scandinavian journal of medicine & science in sports. 2011;21(4):510-8. https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01290.x

[9] Loenneke J, Wilson G, Wilson J. A mechanistic approach to blood flow occlusion. International journal of sports medicine. 2010;31(01):1-4. https://doi.org/10.1055/s-0029-1239499

[10] de Queiros VS, Dantas M, Neto GR, da Silva LF, Assis MG, Almeida-Neto PF, et al. Application and side effects of blood flow restriction technique: a cross-sectional

[27] Hwang P, Morales Marroquín FE, Gann J, Andre T, McKinley-Barnard S, Kim C, et al. Eight weeks of resistance training in conjunction with glutathione and L-Citrulline supplementation increases lean mass and has no adverse effects on blood clinical safety markers in resistance-trained males. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2018;15:1-10. https://doi.org/10.1186/s12970-018-0235-x.

[28] Li S, Guo R, Yu T, Li S, Han T, Yu W. Effect of high-intensity interval training combined with blood flow restriction at different phases on abdominal visceral fat among obese adults: A randomized controlled trial. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022;19(19):11936. https://doi.org/10.3390/ijerph191911936

[29] Viribay A, Fernández-Landa J, Castañeda-Babarro A, Collado PS, Fernández-Lázaro D, Mielgo-Ayuso J. Effects of citrulline supplementation on different aerobic exercise performance outcomes: A systematic review and meta-analysis. Nutrients. 2022;14(17):3479. https://doi.org/10.3390/nu14173479

[30] Park H-Y, Kim S-W, Seo J, Jung YP, Kim H, Kim A-J, et al. Dietary arginine and citrulline supplements for cardiovascular health and athletic performance: a narrative review. Nutrients. 2023;15(5):1268. https://doi.org/10.3390/nu15051268

[31] Pahlavani N, Entezari MH, Nasiri M, Miri A, Rezaie M, Bagheri-Bidakhavidi M, et al. The effect of l-arginine supplementation on body composition and performance in male athletes: a double-blinded randomized clinical trial. European journal of clinical nutrition. 2017;71(4):544-8. https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.266

[32] La Monica M, Raub B, Sandrock J, Cyvas J, Hartshorn S, Gustat A. A Randomized, Single-Blind, Crossover Study to Evaluate the Efficacy of a Novel Dietary Supplement Blend with L-Citrulline on Biomarkers of Hydration, Muscle Size, Affect, Inflammation, and Muscular Endurance. Journal of Exercise and Nutrition. 2023;6(1). https://doi.org/10.53520/jen2023.103144

[33] Faria VS, Egan B. Effects of 3 days of citrulline malate supplementation on short-duration repeated sprint running performance in male team sport athletes. European Journal of Sport Science. 2024. https://doi.org/10.1002/ejsc.12090

[34] Mirenayat MS, Faramarzi M, Ghazvini MR, Karimian J, Hadi A, Heidari Z, et al. The supplementation on blood flow, energy metabolism, and performance during maximum effort leg extension exercise. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2019;33(9):2321-9. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003286

[19] Bahreinipour M-A, Joukar S, Hovanloo F, Najafipour H, Naderi V, Rajiamirhasani A, et al. Mild aerobic training with blood flow restriction increases the hypertrophy index and MuSK in both slow and fast muscles of old rats: Role of PGC-1α. Life sciences. 2018;202:103-9. https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.03.051

[20] Nitzsche N, Schulze R, Weigand F, Hummer N, Schulz H. Comparison of an acute resistance training on the lactate concentration with and without blood flow restriction at different loads. Dtsch Z Sportmed. 2018;69(11):337-43. https://doi.org/ 10.5960/dzsm.2018.351

[21] Christiansen D, Eibye K, Hostrup M, Bangsbo J. The effect of blood-flow-restricted interval training on lactate and H+ dynamics during dynamic exercise in man. Acta Physiologica. 2021;231(3):e13580. https://doi.org/ 10.1111/apha.13580

[22] Zhang J, Zhou R, Zhao N, Li Y, Liu H, Zhang W, et al. Acute effects of blood flow restriction with whole-body vibration on sprint, muscle activation and metabolic accumulation in male sprinters. Frontiers in Physiology. 2023;14:1149400. https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1149400

[23] Talebi V, Falahmommadi Z. Effects of magnesium supplementation on the central and peripheral fatigue indices of active individuals following an anaerobic activity. Koomesh. 2019;21(2):286-91.

[24] Divito B, McLaughlin M, Jacobs I. The effects of l-citrulline on blood-lactate removal kinetics following maximal-effort exercise. Journal of Dietary Supplements. 2022;19(6):704-16. https://doi.org/10.1080/19390211.2021.1926392

[25] 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. https://doi.org/ 10.3389/fphys.2023.1252052

[26] Sun L. Effects of blood flow restriction training on anthropometric and blood lipids in overweight/obese adults: Meta-analysis. Frontiers in physiology. 2022;13:1039591. https://doi.org/ 10.3389/fphys.2022.1039591

effects of short term citrulline malate supplementation on oxidative stress and muscle damage in trained soccer players. Human Nutrition & Metabolism. 2024;36:200242. https://doi.org/10.1016/j.hnm.2024.200242