

## مطالعات کاربردی تدرستی در فیزیولوژی ورزش

سال هفتم، شماره اول؛

بهار و تابستان ۱۳۹۹؛ صفحات ۷۳-۸۱

مقاله پژوهشی

# تأثیر مصرف کوتاه مدت سیترولین مالات بر نیتریک اکساید، لاکتات و شاخص‌های گرددش خونی آسیب عضلانی در مردان سالم تمرین کرده

احمدرضا اسحاقیان<sup>\*</sup>، علی اصغر رواسی<sup>۲</sup>، عباسعلی گائینی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۲۰ فروردین ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: ۷ خداداد ۱۳۹۹



با اسکن QR فوق می‌توانید جزئیات مقاله حاضر را در سایت [www.jahssp.azaruniv.ac.ir/](http://jahssp.azaruniv.ac.ir/) مشاهده کنید  
 ۱. کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزش، گروه فیزیولوژی ورزش، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول)  
 ایمیل ahmadrezaesh@gmail.com

۲. استاد فیزیولوژی ورزش، گروه فیزیولوژی ورزش، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه تهران، تهران، ایران  
 ۳. استاد فیزیولوژی ورزش، گروه فیزیولوژی ورزش، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه تهران، تهران، ایران

### چکیده

**هدف:** سیترولین مالات (CM) یک مکمل غذایی است که با هدف بهبود عملکرد ورزشی از طریق افزایش تولید نیتریک اکساید (NO) استفاده می‌شود. هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر مصرف کوتاه مدت CM بر عملکرد ورزشی و مقادیر نیتریک اکساید، لاکتات و شاخص‌های گرددش خونی آسیب عضلانی در مردان سالم تمرین کرده بود. **روش شناسی:** در پژوهشی تجربی با طرح تصادفی معکوس، هشت آزمودنی پس از شرکت در جلسه اول جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های آنتروپومتری و فاکتورهای عملکردی پایه، سه جلسه دارونما (۸ گرم دکستروز) و یا مکمل CM (۸ گرم) را به صورت دوسوکور دریافت کردند و در طی سه مرحله، استقامت عضلانی، استقامت هوایی و توان بی‌هوایی با آزمون‌های شناسوئی، کوپر و رست سنجیده شدند. داده‌ها با استفاده از آزمون‌های تحلیل واریانس مکرر و آزمون تعقیبی یونفرونی در سطح معناداری ۰/۰۵ مقایسه شدند.

**یافته‌ها:** مصرف CM به کاهش معنادار پاسخ CK به فعالیت ورزشی ( $p=0/041$ ) افزایش پاسخ NO به فعالیت ورزشی ( $p=0/006$ )، افزایش میانگین توان بی‌هوایی ( $p=0/037$ ) و افزایش استقامت عضلانی ( $p=0/005$ ) منجر شد. با این حال اثر معناداری بر توان بی‌هوایی اوج ( $p=0/13$ ) و استقامت هوایی ( $p=0/08$ ) و پاسخ LDH و لاکتات به فعالیت ورزشی ( $p=0/99$ ) ایجاد نکرد. **نتیجه گیری:** بهره‌گیری کوتاه مدت از مکمل CM احتمالاً به بهبود عملکرد بی‌هوایی، رگ گشایی و کاهش آسیب‌های عضلانی بیانجامد.

**واژه‌های کلیدی:** ارگوژنیک، آسیب عضله، سیترولین مالات، نیتریک اکساید

**نحوه ارجاع:** احمد رضا اسحاقیان، علی اصغر رواسی، عباسعلی گائینی. تأثیر مصرف کوتاه مدت سیترولین مالات بر نیتریک اکساید، لاکتات و شاخص‌های گرددش خونی آسیب عضلانی در مردان سالم تمرین کرده. مطالعات کاربردی تدرستی در فیزیولوژی ورزش ۱۳۹۹؛ ۷(۱): ۷۳-۸۱.



---

Original Article

## **Effects of Short Term Citrulline Malate Supplementation on Circulatory Nitric Oxide, Lactate and Muscle Damage Markers in Healthy Trained Men**

Ahmad Reza Eshaghian <sup>1\*</sup>, Ali Asghar Ravasi <sup>2</sup>, Abas Ali Gaeini <sup>3</sup>

Received 8 April 2020; Accepted 27 May 2020

---

**Abstract**

**Aim:** Citrulline malate (CM) as a dietary supplement is used to enhance exercise performance via increasing nitric oxide production. The aim of this study was to investigate the effect of short term CM supplementation on exercise performance and circulatory nitric oxide, lactate and muscle damage markers in healthy trained men. **Methods:** In a cross over designed experimental study, eight subjects consumed CM or placebo (Starch) or (8g) for three consecutive days in a double blind order. Muscular endurance with both aerobic and anaerobic power were measured by pushup, cooper and RAST tests respectively. The data were compared using ANOVA for repeated measurements and Bonferroni post hoc tests, at a significance level of 0/05. **Results:** CM consumption significantly reduced CK response to exercise ( $p=0.041$ ), while increased NO response to exercise ( $p=0.006$ ), average anaerobic power ( $p=0.037$ ) and muscular endurance ( $p=0.005$ ). Nevertheless, it had'nt significant effects on LDH and lactate response to exercise ( $p=0.99$ ) or aerobic ( $p=0.08$ ) and anaerobic power ( $p=0.13$ ). **Conclusions:** Short term CM supplementation may lead to an improved anaerobic performance, vasodilation as well as a lowered level of muscular damage.

**Keywords:** Ergogenic, Muscle Damage, Citrulline Malate, Nitric Oxide,



Scan this QR code to see the accompanying video, or visit [jahssp.azaruniv.ac.ir](http://jahssp.azaruniv.ac.ir)

1. M.Sc, Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education, University of Tehran, Tehran, Iran (Corresponding Author)  
Email: ahmadrezaesh@gmail.com

2. Professor in Exercise Physiology, Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education, University of Tehran, Tehran, Iran

3. Professor in Exercise Physiology, Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education, University of Tehran, Tehran, Iran

---

**Cite as:** Eshaghian, Ahmad Reza, Ravasi, Ali Asghar, Gaeini, Abas Ali. Effects of Short Term Citrulline Malate Supplementation on Circulatory Nitric Oxide, Lactate and Muscle Damage Markers in Healthy Trained Men. *Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology*. 2020; 7(1): 73-81



Copyright ©The authors

Publisher: Azarbaijan Shahid Madani University

بیوزنر میتوکندریایی، فرایندهای شناختی، رگزایی، ترمیم عضلانی و عملکرد انقباضی ایفا می کند (۱۲, ۱۱, ۹). اختلال سلول های آندوتیلوم ناشی از اختلال عملکرد NO، از علل بیماری های قلبی عروقی، فشارخون و گرفتگی عروق به شمار می رود (۱۱). همچنین افزایش سن، بیماری ها، رژیم غذایی پر چرب و ... می تواند توانایی بدن را در تولید NO کاهش دهد و اختلالات آندوتیلیایی و عروقی را به همراه داشته باشد (۸, ۱۳). در اینجا مداخلاتی شامل تغذیه و فعالیت ورزشی ای که به بهبود عملکرد آندوتیلیایی منجر شود، اهمیت بسیاری دارد. هایپوکسی، اسیدوز، فعالیت ورزشی پرشدت، افزایش جریان خون عضله و تنفس برتری از عوامل محرك سنتز NO به شمار می روند (۱۰, ۱۴). اثرات فیزیولوژیک NO را نیمه عمر کوتاه آن (کمتر از چند ثانیه) محدود می کند (۱۰). به همین دلیل، سنجش نیترات و نیتریت خون از دقیق ترین راه های سنجش فعالیت NO می باشد. سیترولین همچنین از واسطه های مهم چرخه اوره و درگیر در دفع آمونیاک است (۱). مشخص شده مقادیر زیاد آمونیاک سمی بوده و به علت افزایش متабولیسم بی هوازی و متعاقباً افزایش مقادیر لاکتان، با خستگی عضله ارتباط دارد (۸). بر همین اساس افزایش مصرف CM از طریق افزایش مصرف اکسیژن عضله یا کاهش تولید لاکتان، می تواند به کاهش مهار متابولیسم هوازی و بهبود عملکرد ورزشی منجر شود. از طرفی دیگر مشخص شده مصرف CM به افزایش مقادیر بی کربنات بدن کمک می کند (۶). در نتیجه توانایی بافرینگ بدن افزایش یافته و اسیدوز سوت و سازی به تعویق می افتد. افزایش جریان خون عضلات فعل که از دیگر مزایای این مکمل است، به تسریع پاکسازی مواد زائدی مثل لاکتان کمک می کند. در زمینه کوفتگی و آسیب های عضلانی نیز، نشان داده شده مصرف CM به علت داشتن خواص آنتی اکسیدانی و همچنین افزایش آرژنین و NO، افزایش جریان خون و اکسیژن رسانی، احتمالاً به کاهش و تخفیف آسیب ها و کوفتگی عضلانی ناشی از فعالیت ورزشی کمک خواهد کرد (۱۵, ۱۲, ۶). در شرایط پاتولوژیکی یا فیزیولوژیکی مثل فعالیت ورزشی، مقادیر سرمی آنژیم ها یا پروتئین های عضلانی مثل LDH و CK، شاخص پیش کننده قوی و غیرمستقیم آسیب ها و کوفتگی های عضلانی هستند (۳, ۱۶). نمک مالات نیز یکی از واسطه های مهم چرخه کربس است و مکمل سازی آن می تواند به بهبود تولید انرژی کمک کند. اثرات سودمند مکمل CM احتمالاً به اثر هم افزایی یا سینرژیک ترکیب سیترولین و مالات نسبت داده می شود. CM با افزایش تولید <sup>5</sup>ATP از مسیر هوازی (حدود ۳۴ درصد) و کمک به بازسازی کراتین فسفات، می تواند به بهبود عملکرد ورزشی کمک کند. این فواید مثبت، احتمالاً به دلیل وجود مالات می باشد (۶, ۱۷). لازم به ذکر است که در چرخه کربس، مالات می تواند با ساخت NADH<sup>6</sup> به

## مقدمه

خستگی از عواملی است که بر عملکرد ورزشی تاثیر منفی می گذارد (۱, ۲). خستگی ممکن است به دلیل تجمع متabolیت هایی مثل آمونیاک، اسید لاکتیک، ضعف عضلانی، حداقل اکسیژن مصرفی<sup>۱</sup> پایین، اختلالات آندوتیلیایی، آمادگی جسمانی پایین و ... باشد. همچنین فشارهای مکانیکی و سوت و سازی که حین فعالیت ورزشی بر فرد وارد می شود، افزایش پاسخ های التهابی، افزایش خستگی، افزایش آسیب های عضلانی، افزایش آسیب غشاء سلول و افزایش نشت محتويات و آنزیمه های درون سلولی مانند کراتین کیناز<sup>۲</sup> و لاکتان دهیدروژنаз<sup>۳</sup> به خارج سلول را به همراه خواهد داشت (۳, ۴). ممکن است، اثرات این آسیب ها تا ۱۴ روز پس از فعالیت ورزشی ادامه داشته باشد. امروزه محققان جهت بهبود عملکرد ورزشی و بازیافت ناشی از آن، به دنبال کشف راه هایی برای بهبود عملکرد ورزشی، افزایش خون رسانی، تولید و بازسازی انرژی، اکسیژن رسانی و همچنین کاهش تولید و پاکسازی موثر لاکتان و آمونیاک هستند. یکی از این رویکردها، استفاده از مکمل های ورزشی مجاز و اینم است. سیترولین مالات<sup>۲</sup> یکی از این مکمل های در حال توسعه است. CM با نام تجاری استیمول، در ابتدا برای بهبود عملکرد عضلانی در بیماران مبتلا به آستنیا (ضعف فیزیکی و کاهش سطوح انرژی) و بهبود ریکاوری افراد مبتلا به بیماری های حاد توسعه یافت (۵, ۶). بررسی های متعدد نشان داده مصرف CM بویژه در کوتاه مدت، اینم و بدون عوارض است (۶, ۸). CM ترکیبی از اسیدآمینه غیر ضروری سیترولین و نمک مالات است. سیترولین در شرایط طبیعی یک اسیدآمینه غیر ضروری است (۷). سیترولین به مقدار کمی در منابع غذایی مانند هندوانه یافت می شود، با این حال مقادیر زیادتر آن به طور طبیعی در بدن از طریق دو مسیر متabolیکی ساخته می شود. در مسیر اول، سیترولین در دستگاه گوارش از کاتabolیسم برخی اسیدهای آمینه مانند گلوتامین و آرژنین ساخته می شود (۸). در مسیر دوم، سیترولین در واکنش تبدیل آرژنین به نیتریک اسید<sup>۴</sup>، که با آنژیم نیتریک اسید سنتاز (NOS) کاتالیز می شود، بدست می آید (۸). مکمل سیترولین مالات برخلاف آرژنین، متabolیسم کبدی را دور زده و تحت تاثیر آنژیم آرژیناز قرار نمی گیرد، بنابراین به کلیه ها منتقل می شود و تقریباً ۸۰ درصد آن به آرژنین تبدیل می گردد و سپس در پلاسما رها می شود. آرژنین نیز یک اسید آمینه ای نیمه ضروری است که به عنوان پیش ساز اصلی NO شناخته می شود. در نتیجه مکمل سازی CM نسبت به آرژنین، جهت افزایش مقادیر آرژنین و نیتریک اسید موثرتر است (۸). NO یک مولکول پیام رسان مهم با عملکردهای فیزیولوژیک مختلف است که از آندوتیلوم عروق آزاد می شود و سبب ریلاریزاسیون سلول، انساط عضلات صاف عروق و رگ گشایی می گردد (۹, ۱۰). NO همچنین نقش مهمی را در سلامت قلب و عروق، سیستم ایمنی، سوت و ساز، جریان خون، برداشت و اکسیداسیون گلوکر،

5. NO

6. Adenosine Triphosphate

1. VO<sub>2max</sub>

2. CK

3. LDH

4. CM



اختلافات موجود در تحقیقات می‌تواند ریشه در تفاوت دوزهای مصرفی (۳ الی ۱۲ گرم)، شیوه و زمان مصرف مکمل (صرف حد در برابر مزمن و یا مصرف ۶۰ الی ۱۲۰ دقیقه قبل از ورزش)، نوع ورزش (استقامتی در برابر قدرتی) یا روش‌های سنجش میدانی و آزمایشگاهی داشته باشد. مطالعات در حوزه CM محدود و متناقض بوده و اکثر پژوهشگران، توصیه کردند که تحقیقات بیشتری بر روی این مکمل انجام شود. در نتیجه برای روشن شدن تأثیرات دقیق آن، انجام تحقیقات جامع تر و بیشتر، یک ضرورت اساسی در آینده است. در پژوهش حاضر برخلاف اکثر مطالعات که فاکتورهای محدودی را سنجیده‌اند، پژوهشی جامع بر روی فاکتورهای مختلف انجام شده، همچنین به جای آزمون‌های آزمایشگاهی، از آزمون‌های میدانی دارای استاندارد طلایی استفاده شده و با توجه به استفاده از هشت آزمونی، هم به عنوان گروه کنترل و هم به عنوان گروه آزمایش و همچنین ایجاد فواصل استراحتی مناسب بین جلسات و آزمون‌ها چهت کاهش اثر خستگی بر نتایج آزمونهای عملکردی، نوآوری و جامیت جدیدی در حوزه مطالعات کوتاه مدت روی مکمل CM بکار رفته است. نتایج این تحقیق می‌تواند گامی رو به جلو در چهت شناخت اثرات ارگوژنیک مکمل CM و پاسخ دهی کوتاه مدت آن داشته باشد و محققان را نسبت به جمع بندی و مرور اثرات کوتاه مدت CM در آینده یاری کند. حال سوالی که مطرح می‌شود، این است که آیا مصرف کوتاه مدت ۸ گرم مکمل CM، یک ساعت قبل از فعالیت ورزشی، بر مقادیر NO<sub>x</sub>، لاكتات خون، عملکرد ورزشی و برخی شاخص‌های آسیب عضلانی در مردان سالم تمرین کرده اثر گذار است یا خیر.

## روش تحقیق

### آزمودنی‌ها

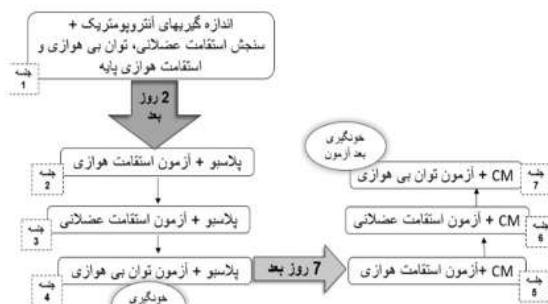
معیارهای ورود به تحقیق انتخاب آزمودنی‌ها بر اساس سن (۱۸ الی ۲۴ سال)، جنس (مرد)، فعال بودن از لحاظ بدنی (سابقه حداقل دو سال فعالیت ورزشی منظم و تفریحی) و سلامت کامل جسمانی بود. جامعه آماری پژوهش را مردان فعال تمرین کرده تشکیل داده که از بین آنها تعداد ۸ آزمودنی (سن  $21 \pm 0.7$  سال، وزن  $69 \pm 4/5$  کیلوگرم و شاخص توده بدنی  $21 \pm 0.5/2$  کیلوگرم برمترمربع) به روش تصادفی ساده و کاملاً داوطلبانه انتخاب شدند. آزمودنی‌ها پس از مطالعه، پر کردن و امضای فرم رضایت نامه و سوابق پزشکی ورزشی به پژوهش حاضر دعوت شدند. شایان ذکر است که تعداد نمونه‌ها بر اساس تحقیقات کوتاه مدت قبلی بر روی CM و همچنین محدودیت‌های اجتماعی ناشی از ویروس کرونا انتخاب شدند. آزمودنی‌ها در دو سال گذشته بطور منظم و تفریحی، فعالیت ورزشی هوازی و مقاومتی (سه جلسه در هفته) انجام داده و به لحاظ جسمانی کاملاً سالم بودند. آزمودنی‌ها همچنین هیچگونه داروی خاصی مصرف نمی‌کردند. لازم به ذکر است که ۸ آزمودنی در قالب یک گروه، به صورت متقاطع در جلسات پلاسبو و مکمل شرکت کردند، در نتیجه هم به عنوان گروه کنترل خود و هم گروه آزمایش این پژوهش به شمار می‌رond.

اگرال واستات تبدیل گردد. تحقیقات نشان داده است که بهره‌گیری از مکمل CM به افزایش تولید انرژی مسیر هوازی (۱۷)، افزایش قدرت عضلانی (۱۸، ۱۹)، افزایش استقامت عضلانی (۲۰، ۹)، افزایش آرژنین (۸)، افزایش NO<sub>x</sub> (۲۱، ۸)، افزایش نرخ پاکسازی لاكتات (۲۲)، افزایش پاکسازی آمونیاک، افزایش اکسیژن رسانی (۱۷، ۲۳)، افزایش توان و عملکرد بی‌هوایی (۶، ۱۸، ۱۹، ۲۴)، کاهش خستگی عضلانی (۲۴)، افزایش PGC-1α و زمان رسیدن به وماندگی (۲۵)، جلوگیری از کاهش شدید PH خون و عضله، کاهش کوفتگی و آسیب عضلانی ناشی از فعالیت ورزشی (۱۲، ۱۵) و ... منجر خواهد شد. از سوی دیگر، در بسیاری از زمینه‌ها، جمع بندی دقیقی در مورد این مکمل و اثرات کوتاه یا بلند مدت آن وجود ندارد. همچنین تحقیقات در حوزه این مکمل در ابتدای راه بوده و با نتایج متناقض زیادی همراه هستند. به عنوان مثال جوردن و همکاران (۱۸)، در تحقیقی دو سو کور، تاثیر کوتاه مدت ۸ گرم CM، یک ساعت قبل آزمون را بر قدرت حداکثر و نسبی، توان بی‌هوایی و عملکرد ۱۱ ورزشکار زن رشته تئیس بررسی کردند. قدرت با دینانومتر و توان بی‌هوایی با آزمون وینگیت اندازه گیری شد. در نهایت مشخص شد مصرف حاد ۸ گرم سیترولین مالات در مقایسه با دارونما یا دکستروز، به افزایش قدرت حداکثر و نسبی، توان بی‌هوایی و عملکرد منجر می‌شود. پر ز و جکمن نیز تاثیر کوتاه مدت ۸ گرم CM را بر دوره های تکراری تمرینات مقاومتی بالاتنه (عملکرد بی‌هوایی) طی یک پژوهش دو سو کور بررسی کردند. آن ها همچنین کوفتگی عضلانی را ۲۴ و ۴۸ ساعت بعد از دوره تمرینی پرشدند، با استفاده از پرسش نامه اندازه گرفتند. نویسنده‌گان گزارش کردند که مکمل سازی CM، کار اجرا شده (تکرارها) و عملکرد بی‌هوایی را طی یک پروتکل تمرینی مقاومتی با شدت ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه افزایش می‌دهد (۵۰ درصد) و در مقایسه با گروه پلاسبو، ۲۴ و ۴۸ ساعت بعد از ورزش، کوفتگی عضلانی را تا حد معناداری (۴۰ درصد) کاهش می‌دهد (۶). با این حال تحقیقاتی مانند تحقیق کوئینف و همکاران (۵) در تحقیق متقاطع خود روی ۱۰ مرد تمرین کرده حر斐‌ای، اثر کوتاه مدت ۱۲ گرم CM را بر عملکرد دوچرخه سواری با شدت بالا و تعادل اسیدی بدن، مورد بررسی قرار دادند. آزمودنی‌ها در یک جلسه آزمون، شامل ۲ مرحله. مرحله اول شامل رکاب زدن سرعتی به مدت ۱۵ ثانیه با اینتروال های استراحتی ۳۰ ثانیه ای، سپس بعد از ۵ دقیقه اجرای آزمون رکاب زدن تا وماندگی با شدت ۱۰۰ درصد حداکثر توان شرکت کردند. نتایج تحقیق نشان داد مصرف CM نسبت به دارونما، اثر معناداری بر عملکرد بی‌هوایی، خستگی یا تعادل اسیدی بدن نمی‌گذارد. در نهایت توصیه شد متخصصان و ورزشکاران، که علاقه به مکمل سازی CM دارند، به دنبال دیگر روش‌ها یا مواد ارگوژنیک باشند. کاتر و فلو و همکارانش (۲۶) نیز در تحقیقی روی ۲۲ مرد و زن تمرین کرده، اثر کوتاه مدت مصرف ۶ گرم سیترولین ورزشی را بر عملکرد ورزشی هوازی و بی‌هوایی، مورد بررسی قرار دادند. آنها گزارش دادند که مصرف حاد CM تاثیری بر آستانه بی‌هوایی، تعداد تکرارهای پرس سینه، زمان رسیدن به وماندگی و استقامت عضلانی ندارد.



### نمونه گیری و سنجش فاکتورهای خونی

مقادیر لاکتات، CK و NO نیز طی ۳ مرحله خونگیری، اندازه گیری شد. خونگیری مرحله ۱، یک ساعت قبل از شروع جلسه چهارم (برای ثبت مقادیر استراحتی)، و خونگیری مرحله ۲ و ۳، در انتهای جلسات تمرینی چهارم و هفتم، ۵ دقیقه پس از آزمون توان بیهوایی (برای بررسی تاثیر مکمل و یا پلاسیو) توسط متخصص آزمایشگاه صورت گرفت (شکل ۱). هر بار ۱۰ میلی لیتر خون از سیاه رگ بازویی اخذ گردید. نمونه‌ها بلافاصله در تیوبی حاوی ماده ضد انعقاد هیبارین ریخته شدند. سپس با سرعت ۳۰۰۰ rpm سانتریفیوز شدند و برای آنالیز در آینده، در دمای منفی ۸۰ درجه نگهداری شدند. NO به طور غیرمستقیم با استفاده از کیت شرکت نوند سلامت و روش رنگ سنجی گریس با اندازه گیری نیترات و نیتریت به کمک احیای آنزیمی نیترات روکتاژ سنجیده شد. CK و LDH هر دو با استفاده از کیت‌های شرکت پارس آزمون و روش کالریمتریک UV سنجیده شدند. لاکتات نیز با استفاده از کیت شرکت بایرکس فارس و روش آنژیماتیک/کالریمتریک سنجیده شد.



شکل ۱. روند پژوهش

### روش آماری پژوهش

پس از مشخص شدن نرمال بودن داده‌ها توسط آزمونهای کلموگروف اسمیرنوف و شاپریویک، محقق با استفاده از آزمون آماری ANOVA یا تحلیل واریانس یک طرفة تکراری و آزمون تعییی یونفروونی در نرم افزار Spss و رزن ۲۶، به تجزیه و تحلیل داده‌ها پرداخت.

### یافته‌های پژوهش

در جدول شماره ۱ شاخص‌های آنتروپومتریک و فردی آزمودنی‌ها ارائه شده است. همچنین در نمودارهای شماره ۱ الی ۸ نتایج حاصل از اثر CM یا پلاسیو بر هشت متغیر وابسته‌ی پژوهش ارائه شده است.

### ملاحظات اخلاقی پژوهش

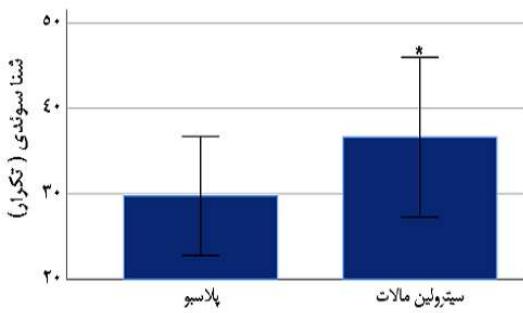
از لحاظ اخلاقی پژوهشی، در فرم رضایت نامه تمام نکات لازم به آزمودنیها منتقل شد. به آنها اطمینان داده شد که سلامت آنها اولویت پژوهش است و اطلاعات شخصی آنها نزد محققین حفظ می‌گردد. همچنین در هر زمانی می‌توانند آزادانه پژوهش را ترک کنند. در نهایت پس از اثبات پایبندی‌های اخلاقی پژوهش، کد اخلاق پژوهش از کمیته اخلاق در پژوهش‌های زیست پژوهشی دانشگاه تهران با شناسه IR.UT.SPORT.REC.1398.072 اخذ گردید.

**اندازه گیری‌های آنتروپومتریک و اطلاعات مکمل**  
وزن آزمودنی‌ها با ترازوی دیجیتال امن مدل BF511، قد با استفاده از قد سنج دیواری سکا مدل ۲۰۶ و شاخص توده‌ی بدنی با استفاده از فرمول رایج و معتمد، آدولف لمبرت اندازه گیری شد. همچنین یک عدد مکمل ۵۰۰ گرمی سیتروولین ملات ساخت شرکت متاپولیک نوتربیشن آمریکا نیز از آمازون خریداری شده و از آن در پژوهش استفاده شد.

### روند پژوهش

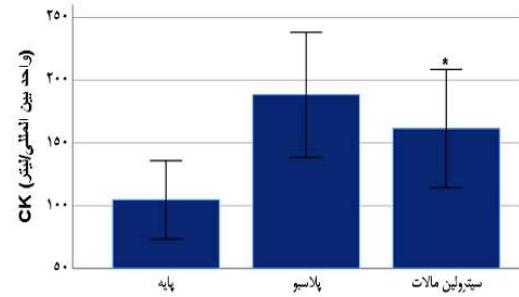
پژوهش حاضر از لحاظ هدف کاربردی و روش آن نیمه تجربی به همراه گروه کنترل پلاسیو بوده که به صورت پیش آزمون و پس آزمون اجرا گردید. آزمودنی‌ها پس از توجیه و آموزش‌های لازم در ۷ جلسه آزمون شرکت کردند. هر جلسه با احتساب زمان‌بندی مصرف مکمل یا پلاسیو، خونگیری یا عدم خونگیری، حدود ۹۰ دقیقه به طول انجامید. آزمودنی‌ها بعد مصرف مکمل یا پلاسیو، حدود ۱۰ دقیقه گرم کرده و آزمون مورد نظر آن جلسه را (شکل ۱) تا سرحد و امتدگی و بر اساس دستورالعملهای آزمون انجام می‌دادند. محقق و دستیارش، رکوردهای آزمودنی‌ها را در برگه ویژه ثبت می‌کردند. جلسه اول جهت بررسی ویژگی‌های آنتروپومتری و فاکتورهای عملکردی پایه پژوهش، سه جلسه بعد جهت بررسی اثر پلاسیو (کنترل) و سه جلسه آخر جهت بررسی اثر CM بر متغیرهای تحقیق (شکل ۱). استقامت هوایی، توان بیهوایی و استقامت عضلانی نیز به ترتیب با آزمون‌های ۱۲ دقیقه دویلن کوپر، بیهوایی رست و شناشی سوئی اندازه گیری شدند. قبل جلسات مکمل، ۸ گرم سیتروولین ملات بعلاوه‌ی ۸ گرم دکستروز و قبل جلسات پلاسیو فقط ۸ گرم دکستروز توسط آزمودنی‌ها مصرف می‌شد. آزمودنی‌ها در روزهای انجام آزمون، از انجام هرگونه فعالیت بدنی طولانی یا پرشدت پرهیز کردند و با حداقل خستگی در جلسات آزمون شرکت کردند.





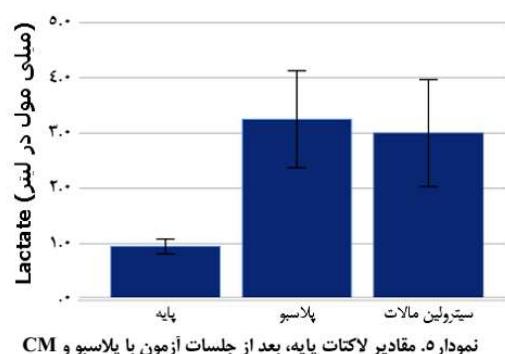
نمودار۴. مقادیر شناسوندی در جلسات آزمون با پلاسیو و CM

\* افزایش معنادار نسبت به مقادیر آزمون با مصرف پلاسیو در سطح  $0.05$

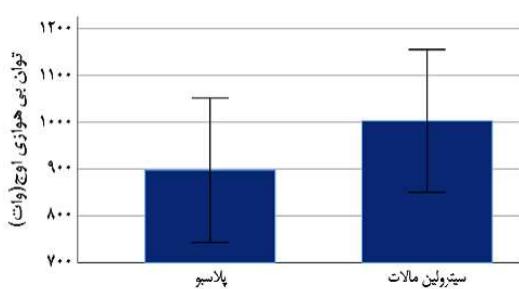


نمودار۱. مقادیر CK پایه، بعد از جلسات آزمون با پلاسیو و CM

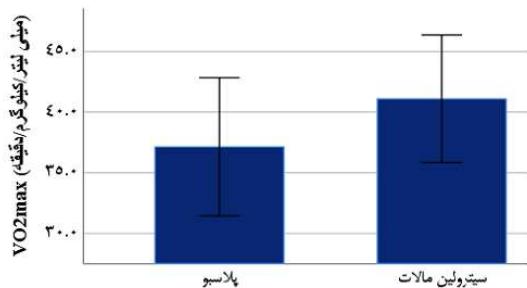
\* کاهش معنادار نسبت به مقادیر بعد از آزمون با مصرف پلاسیو در سطح  $0.05$



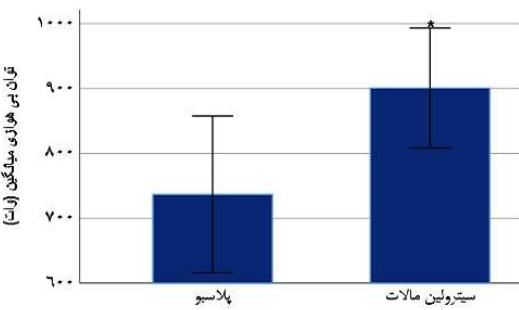
نمودار۵. مقادیر لاکتات پایه، بعد از جلسات آزمون با پلاسیو و CM



نمودار۲. مقادیر توان بین هوایی میانگین در جلسات آزمون با پلاسیو و CM



نمودار۶. مقادیر حداکثر اکسیژن مصرفی در جلسات آزمون با پلاسیو و CM



نمودار۳. مقادیر توان بین هوایی اوج در جلسات آزمون با پلاسیو و CM

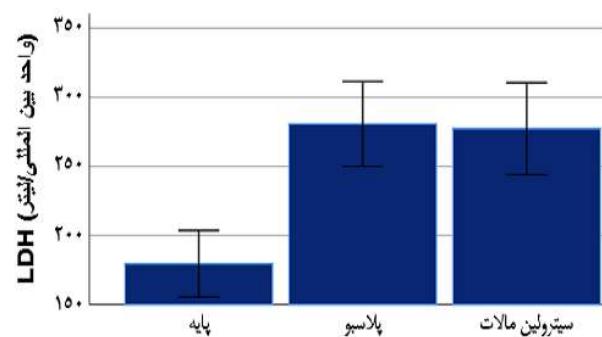
\* افزایش معنادار نسبت به مقادیر آزمون با مصرف پلاسیو در سطح  $0.05$



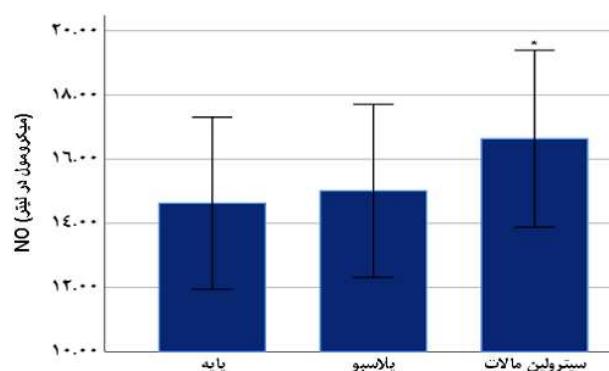
صرف ۷ روز مکمل سیتروولین (۶ گرم در روز) به افزایش ۳۳ درصدی مقادیر NO در مردان میانسال منجر می‌شود. مطالعه مروری آرتو و همکاران (۱۳) نیز، با جمع بندی مطالعات نهایتاً به این نتیجه رسید که مکمل سازی سیتروولین و آب هندوانه به افزایش معنادار مقادیر آرژین و NO پلاسمما، افزایش رگ گشایی و کاهش فشار خون منجر می‌گردد. هم چنین توصیه شد برای کسب حداکثر فواید مرتبط با مقادیر NO، رگ گشایی و بهبود عملکرد اندوتیلیالی، مکمل CM باید در دوزهای بیشتر یا در مدت زمان طولانی‌تر صرف شود. با این حال مطالعات محدود ناهمسوبی با پژوهش حاضر نیز یافت می‌شود. ون و همکاران (۳۶) نشان دادند مصرف کوتاه مدت ۱۰ گرم سیتروولین و پروتئین وی، اگرچه آرژین در دسترس را افزایش می‌دهد، با این حال اثر معنا داری بر سنتر NO، جریان خون یا سنتر پروتئین مردان میانسال سالم ندارد. سوزوکی و همکاران (۳۷) نیز به بررسی اثر مکمل سازی سیتروولین بر عملکرد دوچرخه سواری تایم تریل پرداختند و گزارش کردند که مصرف ۷ روز مکمل سیتروولین (۴/۲ گرم در روز)، در مقایسه با گروه پلاسیو به افزایش بیشتر مقادیر NO منجر نمی‌شود. در نهایت به نظر می‌رسد مصرف کوتاه مدت مکمل CM موجب افزایش معنادار مقادیر آرژین و متعاقباً NO گردد. با این حال توصیه شده برای تقویت هرچه بیشتر این اثر، CM باید در دوزهای بالاتر و مدت زمان طولانی‌تر صرف شود.

در زمینه اثرات CM بر پاسخ لاکتان، می‌دانیم که سیتروولین از اجزای مهم چرخه اوره به شمار می‌آید. تصویر بر این است که علت بهبود ریکاوری با مصرف CM افزایش پاکسازی آمونیاک سرم است. زیرا افزایش بیش از حد آمونیاک سرم سمی بوده و همچنین متabolیسم هوایی را مختلف می‌کند (۲۸)، در نتیجه تسریع پاکسازی آن از انکای زیاد به سیستم بیهوایی و افزایش تجمع لاکتان جلوگیری می‌کند. همچنین افزایش جریان خون و رگ گشایی ناشی از NO می‌تواند به پاکسازی و انتقال سریع تر لاکتان کم کند. با این حال نتایج پژوهش حاضر نشان داد مصرف کوتاه مدت CM در مقایسه با پلاسیو (کترل) منجر به کاهش معنادار پاسخ لاکتان به فعالیت ورزشی (P = ۱) نمی‌شود. همسو با پژوهش حاضر، مطالعه سیستماتیک و متأنالایز چانگ و همکاران (۱۹) که با بررسی ۱۳ پژوهش همراه بود، نشان داد، مصرف کوتاه مدت مکمل CM (دوز غالب مطالعات ۸ گرم) می‌تواند به کاهش معنادار شاخص درک فشار و کوفتگی عضلانی بعد از فعالیت ورزشی کمک کند. با این حال کاهش معناداری در پاسخ لاکتان به فعالیت ورزشی مشاهده نشد. داسیلو و همکاران (۹)، گزارش کردند مصرف کوتاه مدت ۶ گرم مکمل CM تاثیر معناداری در بهبود فاکتورهای مرتبط با ریکاوری و کوفتگی عضلانی مانند CK و لاکتان پس از فعالیت ورزشی مقاومتی پر شدت در مردان سالم غیرفعال ندارد. با این حال مطالعات ناهمسوبی با پژوهش حاضر نیز یافت می‌شود. موناکو و همکاران (۱۴)، با مطالعه روی ۲۱ فرد سالم نشان دادند مصرف کوتاه مدت CM، منجر به کاهش معنادار پاسخ اسیدلاکتیک به فعالیت ورزشی بیهوایی و افزایش توان بیهوایی میانگین می‌گردد. مارتینز و همکاران (۳۸)، نیز گزارش داده اند مصرف کوتاه مدت ۴/۳ گرم سیتروولین موجب کاهش پاسخ لاکتان پس از یک فعالیت ورزشی وامانده ساز می‌شود. نهایتاً هر چند نتایج متناقضی یافت می‌شود اما با استناد به تحقیق مروری، متأنالایز و جامع چانگ و همکاران (۱۹)، به نظر نمی‌رسد مصرف کوتاه مدت CM بتواند تاثیر معناداری بر پاسخ لاکتان به فعالیت ورزشی و یا تسریع پاکسازی لاکتان ایجاد کند.

در زمینه اثرات CM بر استقامت عضلانی، می‌دانیم که فلسفه ساخت مکمل CM کمک به بیماران دارای ضعف عضلانی بوده است. مصرف CM



نمودار ۷. مقادیر LDH پایه، بعد از جلسات آزمون با پلاسیو و CM



نمودار ۸. مقادیر NO پایه، بعد از جلسات آزمون با پلاسیو و CM \* افزایش معنادار نسبت به مقادیر پایه و مقادیر بعد از آزمون با پلاسیو در سطح ۰/۰۵

## بحث و بررسی

هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثرات مصرف کوتاه مدت مکمل سیتروولین مالات بر مقادیر نیتریک اکساید، لاکتان خون، عملکرد ورزشی (استقامت عضلانی، استقامت هوایی، توان بیهوایی) و برخی شاخص‌های آسیب عضلانی در مردان سالم تمرين کرده بود.

در زمینه اثرات CM بر پاسخ نیتریک اکساید، می‌توان گفت، سیتروولین با تبدیل شدن به آرژین و همچنین مهار آنزیم آرژیناز (۸) باعث افزایش آرژین و متعاقباً سنتر بیشتر NO می‌شود و مصرف آن به صورت مکمل می‌تواند نهایتاً به افزایش NO منجر شود (۸، ۲۹-۲۷). نتایج پژوهش حاضر نشان داد مصرف کوتاه مدت CM نسبت به پلاسیو (کترل) به افزایش معنادار پاسخ NO (نیتریت و نیترات) به فعالیت ورزشی (P = ۰/۰۶) منجر می‌شود. لازم به ذکر است که تحقیقاتی که ارتباط مستقیم مصرف کوتاه مدت مکمل CM و مقادیر NO را سنجیده باشند، بسیار محدود هستند. زیرا اکثر مکمل سازی بلند مدت این مکمل و یا مصرف تنها سیتروولین بدون توجه به مالات مورد بررسی قرار گرفته است. همسو با پژوهش حاضر، کیم و همکاران (۳۲) نشان دادند مصرف حد ۳ گرم سیتروولین در افراد سالم و بیماران قلبی، سنتر NO را تا ۱۰ برابر افزایش می‌دهد. همچنین تأکید شده تنها مصرف طولانی مدت سیتروولین می‌تواند به بهبود عملکرد عروقی افراد دارای اختلالات عروقی منجر شود. مهم‌ترین دلیل این افزایش، افزایش در مقادیر آرژین پلاسمما و متعاقباً NO ذکر شده است. بیلی و همکاران (۱۵)، نشان دادند مصرف ۷ روز مکمل سیتروولین به افزایش ۲۰ درصدی مقادیر نیتریت (متabolیت NO) در مردان سالم می‌انجامد. ماسایوکی و همکاران (۳۵) نیز، نشان دادند

و همکاران (۱۶) نیز، نشان دادند مصرف کوتاه مدت ۸ گرم CM منجر به افزایش توان بی‌هوایی میانگین، ظرفیت بی‌هوایی و کاهش خستگی در زنان فعال تمرين کرده می‌گردد. موناکو و همکاراش (۱۴)، با مطالعه روی ۲۱ فرد سالم نشان دادند مصرف کوتاه مدت CM منجر به کاهش معنادار پاسخ اسیدلاکتیک به فعالیت ورزشی بی‌هوایی و افزایش توان بی‌هوایی میانگین می‌گردد. همچنین همسو با پژوهش حاضر، اثر معناداری بر توان بی‌هوایی اوج مشاهده شد. با این حال مطالعات ناهمسویی با پژوهش حاضر نیز یافت می‌شود. چپلی و همکارانش (۲۷)، نشان دادند مصرف کوتاه مدت ۸ گرم CM، تاثیر معناداری بر عملکرد بی‌هوایی و یا کاهش کوفنگی عضلانی در مردان و زنان تمرين کرده ندارد. مطالعه کونیف و همکاران

(۶) نیز نشان داد، مصرف کوتاه مدت ۱۲ گرم CM یک ساعت قبل از دوچرخه سواری ایترووال سرعتی، تاثیر معناداری بر عملکرد بی‌هوایی، شاخص خستگی یا تعادل اسیدی-بازی بدن مردان تمرين کرده ندارد. در نهایت به نظر می‌رسد مصرف کوتاه مدت CM بتواند به بهبود کم تا متوسط توان و عملکرد بی‌هوایی کمک کند. با این حال به علت وجود برخی نتایج متناقض و نیاز به تحقیقات بیشتر و قوی تر، نتیجه‌گیری با اطمینان در این زمینه میسر نیست.

در زمینه اثرات CM بر استقامت هوایی، اعتقاد بر این است که مصرف مکمل CM با افزایش تسریع در فعالیت ورزشی پر شدت (۱۱، ۲۱)، افزایش جریان خون و فسفوکراتین در فعالیت ورزشی پر شدت (۱۶)، افزایش اکسیژن رسانی بهتر (۱۱، ۱۳)، افزایش PGC-1 $\alpha$ ، افزایش زمان رسیدن به واماندگی (۱۷) و کاهش کوفنگی و آسیب‌های عضلانی (۱۹)، به بهبود معنادار عملکرد هوایی کمک می‌کند. نتایج پژوهش حاضر نشان داد مصرف کوتاه مدت CM در مقایسه با پلاسیو (کنترل) به افزایش معنادار استقامت هوایی یا VO<sub>2max</sub> در مردان سالم تمرين کرده همسو با پژوهش حاضر نمی‌شود. لازم به ذکر است، تحقیقاتی که ارتباط مستقیم مصرف کوتاه مدت مکمل CM و استقامت هوایی را سنجیده باشند، بسیار محدود هستند. همسو با پژوهش حاضر، کاترفلو و همکاران (۳۳)، گزارش دادند که مصرف کوتاه مدت ۶ گرم سیتروولین ۱ الی ۲ ساعت قبل از فعالیت ورزشی، تاثیری بر آستانه بیهوایی، استقامت هوایی یا VO<sub>2max</sub> و زمان رسیدن به واماندگی مردان و زنان ورزشکار نداشته است. همچنین تغییری در تعداد تکرارهای پرس سینه با ۸۰ درصد ۱RM ۱ رخ نداد. مطالعه مروری آرتور و همکاران (۱۳) نیز، نشان داد تنها مکمل سازی مزن می‌باشد. همچنین تغییری در زمینه اثرات CM بر توان بی‌هوایی، با توجه به اثر مکمل سازی CM بر بهبود سیتروولین می‌تواند عملکرد ورزشکاران استقامتی را بهبود دهد و مکمل سازی کوتاه مدت آن برای بهبود عملکرد استقامتی موثر عنوان نشد. همچنین توصیه شده برای کسب حداکثر فواید مرتبط با مقادیر NO، رگ گشایی و بهبود عملکرد اندولتیالی، مکمل CM باید در دوزهای بالاتر یا در مدت زمان طولانی تر مصرف شود. تحقیق بنداهان و همکارانش (۱۱) روی مردان تمرين کرده، نیز نشان داد مصرف ۱۵ روز مکمل CM به مقدار ۶ گرم در هر روز، تولید انرژی هوایی را تا ۳۴ درصد حین فعالیت ورزشی افزایش می‌دهد. این نیز یک تأکید برای مصرف طولانی مدت تر CM به شمار می‌رود. در نهایت به نظر می‌رسد مصرف کوتاه مدت مکمل CM تاثیر ناچیزی بر افزایش عملکرد هوایی یا VO<sub>2max</sub> داشته باشد.

در زمینه اثرات CM بر آسیب‌های عضلانی و شاخص‌های آن، در درجه اول ثابت شده که آسیب‌های عضلانی ناشی از فعالیت ورزشی می‌تواند موجب تضعیف عملکرد ورزشی، افزایش درد، کوفنگی و کاهش کیفیت تمرين شود (۱۸). افزایش LDH و CK خون که نتیجه افزایش استرس و آسیب عضلات و غشاء‌های اطراف آنهاست، از مهترین نشانه‌های پیش‌بینی کننده افزایش آسیب

می‌تواند به افزایش جریان خون عضلانی ناشی از رگ گشایی و در نتیجه اکسیژن رسانی بهتر (۱۳)، افزایش بازسازی ATP و فسفوکراتین در فعالیت‌های پرشدت (۱۱، ۲۱)، افزایش پاکسازی آمونیاک (۱۴)، بهبود ریکاوری (۱۹) و ... کمک کند. هم افزایی این عوامل به افزایش معنادار استقامت عضلانی کمک می‌کند. نتایج پژوهش حاضر نشان داد مصرف کوتاه مدت CM در مقایسه با پلاسیو (کنترل) موجب افزایش معنادار تعداد تکرارهای شناسوئدی یا استقامت عضلانی در مردان سالم تمرين کرده (۱۲) می‌شود. همسو با پژوهش حاضر، وکس و همکاران (۱۲)، نشان دادند مصرف کوتاه مدت ۸ گرم CM یک ساعت قبل فعالیت ورزشی، منجر به افزایش معنادار تکرارهای تمرينی پایین تر، بهبود استقامت عضلانی و عملکرد ورزشی در مردان تمرين کرده مقاومتی می‌گردد. علت آن نیز افزایش آرژنین و افزایش توانایی بافر کردن آمونیاک سرم عنوان شده است. جردن و همکاران (۴) نیز نشان دادند، مصرف کوتاه مدت ۸ گرم CM یک ساعت قبل از فعالیت ورزشی، باعث بهبود عملکرد ورزشی مقاومتی، افزایش تکرارهای انجام شده هنگام تمرينات بالاتنه و پایین تر (استقامت عضلانی) و کاهش میزان درک فشار در زنان تمرين کرده مقاومتی می‌گردد. ترکسلر و همکاران (۳۱)، در مطالعه‌ای مروری و متأنالیز نشان دادند مصرف کوتاه مدت مکمل سیتروولین می‌تواند به بهبود معنادار (هرچند کوچک) عملکرد تمرينی مقاومتی باشد بالا و وظایف انفجاری کمک کند. با این حال مطالعات ناهمسویی با پژوهش حاضر نیز یافت می‌شود. تیلور و همکاران (۳)، در تحقیقی روی ۱۲ مرد و زن سالم تمرين کرد، نشان دادند مصرف کوتاه مدت ۸ گرم CM ۶۰ دقیقه قبل از یک فعالیت ورزشی پرشدت، تاثیر معناداری بر کاهش خستگی و افزایش تکرارهای انجام شده یا استقامت عضلانی ندارد. آنها در انتهای مصرف بلند مدت CM را موثرتر پیشنهاد کردند. در تحقیق گونزالس و همکاران (۲۱) نیز مصرف ۸ گرم CM ۴۰ دقیقه قبل از فعالیت ورزشی، منجر به بهبود استقامت عضلانی بالاتنه دوازده مرد سالم تمرين کرده نشد. کاترفلو و همکاران (۳۳)، گزارش دادند که مصرف کوتاه مدت ۶ گرم سیتروولین، ۱ الی ۲ ساعت قبل از فعالیت ورزشی، تاثیری بر تعداد تکرارهای پرس سینه با ۸۰ درصد ۱RM یا رود مصرف کوتاه مدت CM بتواند به بهبود کم تا متوسط استقامت عضلانی کمک کند. با این حال به علت وجود برخی نتایج متناقض و نیاز به تحقیقات بیشتر و قوی تر، نتیجه‌گیری با اطمینان در این زمینه میسر نیست.

در زمینه اثرات CM بر توان بی‌هوایی، با توجه به اثر مکمل سازی CM بر بهبود بازسازی ATP و PC در فعالیت ورزشی پر شدت (۱۱، ۲۱)، افزایش جریان خون (۳، ۱۳، ۳۴)، می‌توان انتظار داشت عملکرد بی‌هوایی حین فعالیت ورزشی افزایش یابد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد مصرف کوتاه مدت CM در مقایسه با پلاسیو (کنترل) منجر به افزایش معنادار نشان بی‌هوایی میانگین در مردان سالم تمرين کرده (۱۷) می‌شود. همچنین مصرف کوتاه مدت CM در مقایسه با پلاسیو (کنترل)، منجر به افزایش معنادار نشان بی‌هوایی اوج (۱۳) می‌شود. همسو با

پژوهش حاضر، پرز و جکمن (۷)، نشان دادند مصرف کوتاه مدت ۸ گرم CM به بهبود عملکرد بی‌هوایی حین فعالیت ورزشی شدید و کاهش کوفنگی عضلانی بعد از فعالیت ورزشی شدید منجر شد. علت این بهبود، افزایش بازسازی ATP و بهبود وضعیت بافرینگ عنوان شده است. در تحقیق جوردن و همکاران (۸)، نیز مصرف کوتاه مدت ۸ گرم CM یک ساعت قبل فعالیت ورزشی باعث افزایش افزایش نشان بی‌هوایی و افزایش عملکرد ورزشکاران تیس زن گردید. با این حال برخلاف پژوهش حاضر، نشان بی‌هوایی اوج نیز افزایش معناداری داشت. جنسن Publisher: Azarbaijan Shahid Madani University



## نتیجه‌گیری

صرف کوتاه مدت مکمل سیتروولین مالات احتمالاً می‌تواند به بهبود استقامت عضلانی، توان بی‌هوایی، کاهش کوفتگی و آسیب‌های عضلانی ناشی از فعالیت ورزشی، افزایش مقادیر NO و فواید ناشی از آن مانند بهبود عملکرد آندوتیلیایی و افزایش خون‌رسانی در پاسخ به فعالیت ورزشی کمک کند. همچنین به نظر نمی‌رسد مصرف کوتاه مدت سیتروولین مالات به بهبود معنادار استقامت هوایی (VO<sub>2max</sub>) و کاهش پاسخ لاكتات به فعالیت ورزشی منجر شود. توصیه می‌شود برای تقویت حداکثری اثرات مکمل‌سازی سیتروولین مالات بر مقادیر NO، عملکرد آندوتیلیایی، سلامت عروق، جریان خون، عملکرد هوایی و برخی دیگر از فاکتورها، این مکمل به صورت مزمون و طولانی مدت مصرف شود.

## تشکر و قدردانی

بدینوسیله از تمامی آزمودنی‌ها، اساتید محترم، دانشکده تربیت بدنی دانشگاه تهران و همه‌ی افرادی که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در به سرانجام رسیدن هرچه بهتر این پژوهش کمک کردند، تشکر می‌کنم.

## تعارض منافع و منابع مالی

این پژوهش فاقد حامی مالی بوده و هیچگونه تعارض منافعی توسط محققان وجود ندارد.

## منابع

- MacLaren, D., & Morton, J. Biochemistry for sport and exercise metabolism. Chichester, West Sussex: Wiley.2012.
- Ament, W., & Verkerke, G. J. Exercise and fatigue. Sports medicine (Auckland, N.Z.).2009; 39(5), 389–422. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939050-00005>
- Brancaccio, P., Lippi, G., & Maffulli, N. Biochemical markers of muscular damage. Clinical chemistry and laboratory medicine. 2010; 48(6), 757–767. <https://doi.org/10.1515/CCLM.2010.179>
- Owens, D. J., Twist, C., Cobley, J. N., Howatson, G., & Close, G. L. Exercise-induced muscle damage: What is it, what causes it and what are the nutritional solutions?. European journal of sport science.2019; 19(1), 71–85. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1505957>
- Cunniff, B., Papageorgiou, M., O'Brien, B., Davies, N. A., Grimble, G. K., & Cardinale, M. Acute Citrulline-Malate Supplementation and High-Intensity Cycling Performance. Journal of strength and conditioning research. 2016; 30(9), 2638–2647. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001338>
- Pérez-Guisado, J., & Jakeman, P. M. Citrulline malate enhances athletic anaerobic performance and relieves muscle soreness. Journal of strength and conditioning research.2010; 24(5), 1215–1222. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cb28e0>
- Allerton, T. D., Proctor, D. N., Stephens, J. M., Dugas, T. R., Spielmann, G., & Irving, B. A. (2018). L-Citrulline Supplementation: Impact on Cardiometabolic Health. Nutrients, 10(7), 921. <https://doi.org/10.3390/nu10070921>
- Figueroa, A., Wong, A., Jaime, S. J., & Gonzales, J. U. Influence of L-citrulline and watermelon supplementation on vascular function and exercise performance. Current opinion in clinical nutrition and metabolic care.2017; 20(1), 92–98. <https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000340>

عضلات اسکلتی و قلبی است (۲). به‌طور کلی، مصرف مکمل CM می‌تواند با افزایش جریان خون ناشی از NO، رگ گشایی و در نتیجه بهبود اکسیژن رسانی و پاکسازی مواد زائد (۱۱, ۱۳, ۱۵)، افزایش تسريع در پاکسازی اوره و لاكتات و در نتیجه کاهش مهار متابولیسم هوایی و کاهش فشار سوخت و سازی عضله (۱۴)، بهبود بازسازی ATP و فسفوکراتین در فعالیت ورزشی پرشدت (۱۱, ۲۱)، در کاهش آسیب‌های عضلات اسکلتی و قلبی جین فعالیت ورزشی، کاهش کوفتگی عضلانی بعد تمرین و بهبود ریکاوری و عملکرد ورزشی موثر باشد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد مصرف کوتاه مدت CM در مقایسه با پلاسیو منجر به کاهش معنادار پاسخ CK به فعالیت ورزشی (P=0.41) می‌شود. همچنین مصرف کوتاه مدت CM در مقایسه با پلاسیو اثر معناداری بر مقادیر LDH (P=1) نداشت. لازم به ذکر است، تحقیقاتی که ارتباط مستقیم مصرف کوتاه مدت CM و مقادیر LDH و CK را سنجیده باشند، بسیار محدود هستند. هم‌سو با پژوهش حاضر، مطالعه مروری هارتی و همکاران (۱۸)، نشان داد، مصرف کوتاه یا بلند مدت سیتروولین و آب هندوانه، یک راه موثر برای کاهش و جلوگیری از آسیب‌های عضلانی ناشی از فعالیت ورزشی است. در تحقیق مروری و فرا تحلیل چانگ و همکارانش (۱۹) که با پرسی ۱۳ همراه بود، مصرف کوتاه مدت ۸ گرم CM یک ساعت قبل از فعالیت ورزشی جهت کاهش معنادار کوفتگی عضلانی و بهبود ریکاوری پس از فعالیت ورزشی مفید شناخته شد. پرز و جکمن (۷) نیز، تاثیر مصرف کوتاه مدت ۸ گرم CM را بر دوره‌های تکراری تمرینات مقاومتی بالاتنه بررسی کردند. آنها نشان دادند کوفتگی عضلانی در گروه ۴۸ و ۲۴ CM، ۲۴ و ۴۸ ساعت بعد از ورزش، به طور معناداری کمتر است. آنها با روش غیرمستقیم و با استفاده از پرسش نامه به این نتیجه رسیدند. با این حال مطالعات ناهمسویی با پژوهش حاضر نیز یافت می‌شود. داسیلوا و همکاران (۹)، گزارش کردند مصرف کوتاه مدت ۶ گرم CM تاثیر معناداری بر بهبود فاکتورهای مرتبط با کوفتگی عضلانی مانند CK و لاكتات پس از فعالیت ورزشی مقاومتی پر شدت در مردان سالم غیرفعال ندارد. دوز یا مدت زمان مصرف مکمل CM و روشهای سنجش متفاوت کوفتگی و آسیب‌های عضلانی می‌تواند از دلایل متناقض بودن برخی نتایج باشد. در نهایت به نظر می‌رسد مصرف کوتاه مدت CM بتواند به کاهش کوفتگی ناشی از فعالیت ورزشی، کاهش برخی از شاخص‌های آسیب عضلانی و تسريع ریکاوری کمک شایانی کند. با این حال به علت اینکه تحقیقات بیشتر و قویتری در زمینه تاثیرات مستقیم مکمل سیتروولین مالات بر روی شاخص‌های آسیب عضلانی مانند CK و LDH نیاز است، نتیجه‌گیری قطعی درباره اثر مکمل CM بر آسیب عضلانی و شاخص‌های آسیب عضلانی ناشی از فعالیت ورزشی، امکان پذیر نیست.

نهایتاً، سیتروولین مالات همچنان یک مکمل کمتر شناخته شده است و تحقیقات درباره آن در ابتدای راه قرار دارند. برای رسیدن به یک جمع‌بندی دقیق و علمی درباره اثرات مفید مکمل سازی سیتروولین مالات، در بسیاری از موارد به تحقیقات جامع و قوی‌تری در آینده نیازمندیم. در اکثر موارد ناتوانی در نتیجه‌گیری با اطمینان، می‌تواند ناشی از متناقض بودن نتایج تحقیقات، دوز و زمانبندی متفاوت مصرف مکمل، مصرف حد در برایر مزن، روشهای سنجش متفاوت فاکتورهای عملکردی و فیزیولوژیک آزمودنی‌ها، سوگیری تحقیقات و یا آمادگی جسمانی متفاوت آزمودنی‌ها باشد. از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به عدم استفاده از کیت‌های آزمایشگاهی معترض بین المللی، محدودیت‌های اقتصادی-اجتماعی ناشی از شیوع ویروس کرونا، تعداد کم آزمودنی‌ها، عدم کنترل وضعیت تعذیبه و چرخه خواب و بیداری آزمودنی‌ها، عدم سنجش پاسخ آمونیاک و عدم دسترسی به آزمایشگاه (تعطیلی در دوران قرنطینه) جهت بهره‌گیری از ابزارهای آزمایشگاهی سنجش عملکرد اشاره کرد.



22. Monaco MR, Kang S, Otto R, Wygand J, Petrizzo J. The Effect of Citrulline Malate on Wingate Anaerobic Power Test Performance: 897 Board# 213 June 1, 330 PM-500 PM. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2016; 1;48(5S):252-3.
23. Bailey SJ, Blackwell JR, Lord T, Vanhatalo A, Winyard PG, Jones AM. L-citrulline supplementation improves O<sub>2</sub> uptake kinetics and high-intensity exercise performance in humans. *Journal of Applied Physiology*. 2015; 15;119(4):385-95. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00192.2014>
24. Jensen, A; Glenn, JM; Stone, MS; and Gray, M. Effect Of Acute Citrulline – Malate Supplementation's On Muscular Power. International Journal of Exercise Science: Conference Proceedings.2015; Vol. 11 : Iss. 3 , Article 16.
25. Villareal MO, Matsukawa T, Isoda H. l-Citrulline Supplementation-Increased Skeletal Muscle PGC-1 $\alpha$  Expression Is Associated with Exercise Performance and Increased Skeletal Muscle Weight. *Molecular nutrition & food research*. 2018;62(14):1701043. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201701043>
26. Cutrufello, P. T., Gadomski, S. J., & Zavorsky, G. S. The effect of l-citrulline and watermelon juice supplementation on anaerobic and aerobic exercise performance. *Journal of sports sciences*. 2015; 33(14), 1459–1466. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.990495>
27. Farney, T. M., Bliss, M. V., Hearon, C. M., & Salazar, D. A. The Effect of Citrulline Malate Supplementation on Muscle Fatigue Among Healthy Participants. *Journal of strength and conditioning research*.2019; 33(9), 2464–2470. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002356>
28. da Silva, D. K., Jacinto, J. L., de Andrade, W. B., Roveratti, M. C., Estoche, J. M., Balvedi, M., de Oliveira, D. B., da Silva, R. A., & Aguiar, A. F. Citrulline Malate Does Not Improve Muscle Recovery after Resistance Exercise in Untrained Young Adult Men. *Nutrients*. 2017; 9(10), 1132. <https://doi.org/10.3390/nu9101132>
29. Curis, E., Nicolis, I., Moinard, C., Osowska, S., Zerrouk, N., Bénazeth, S., & Cynober, L. Almost all about citrulline in mammals. *Amino acids*. 2005; 29(3), 177–205. <https://doi.org/10.1007/s00726-005-0235-4>.
9. Wax, B., Kavazis, A. N., Weldon, K., & Sperlak, J. Effects of supplemental citrulline malate ingestion during repeated bouts of lower-body exercise in advanced weightlifters. *Journal of strength and conditioning research*.2015; 29(3), 786–792. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000670>
10. Trexler, E. T., Keith, D. S., Schwartz, T. A., Ryan, E. D., Stoner, L., Persky, A. M., & Smith-Ryan, A. E. Effects of Citrulline Malate and Beetroot Juice Supplementation on Blood Flow, Energy Metabolism, and Performance During Maximum Effort Leg Extension Exercise. *Journal of strength and conditioning research*. 2019; 33(9), 2321–2329. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003286>
11. Luiking, Y. C., Engelen, M. P., & Deutz, N. E. Regulation of nitric oxide production in health and disease. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care*.2010; 13(1), 97–104. <https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e328332f99d>
12. Rhim, H. C., Kim, S. J., Park, J., & Jang, K. M. (Accepted/In press). 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):553-561. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.02.003>
13. Sverdlov, A. L., Ngo, D. T., Chan, W. P., Chirkov, Y. Y., & Horowitz, J. D. Aging of the nitric oxide system: are we as old as our NO?. *Journal of the American Heart Association*.2014; 3(4), e000973. <https://doi.org/10.1161/JAHA.114.000973>
14. Smith, D. L., & Fernhall, B. (2011). Advanced cardiovascular exercise physiology. Champaign, IL: Human Kinetics.2011.
15. Harty, P. S., Cottet, M. L., Malloy, J. K., & Kerksick, C. M. Nutritional and Supplementation Strategies to Prevent and Attenuate Exercise-Induced Muscle Damage: a Brief Review. *Sports medicine* - open.2019; 5(1):p 1. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0176-6>
16. Baird, M. F., Graham, S. M., Baker, J. S., & Bickerstaff, G. F. Creatine-kinase- and exercise-related muscle damage implications for muscle performance and recovery. *Journal of nutrition and metabolism*, 2012, 960363. <https://doi.org/10.1155/2012/960363>
17. Bendahan, D., Mattei, J. P., Ghattas, B., Confort-Gouny, S., Le Guern, M. E., & Cozzone, P. J. Citrulline/malate promotes aerobic energy production in human exercising muscle. *British journal of sports medicine*. 2002; 36(4), 282–289. <https://doi.org/10.1136/bjsm.36.4.282>
18. Glenn, J. M., Gray, M., Jensen, A., Stone, M. S., & Vincenzo, J. L. Acute citrulline-malate supplementation improves maximal strength and anaerobic power in female, masters athletes tennis players. *European journal of sport science*. 2016; 16(8), 1095–1103. <https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1158321>
19. Trexler, E. T., Persky, A. M., Ryan, E. D., Schwartz, T. A., Stoner, L., & Smith-Ryan, A. E. Acute Effects of Citrulline Supplementation on High-Intensity Strength and Power Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine* (Auckland, N.Z.).2019; 49(5), 707–718. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01091-z>
- 20Glenn, J. M., Gray, M., Wethington, L. N., Stone, M. S., Stewart, R. W., Jr, & Moyen, N. E. Acute citrulline malate supplementation improves upper- and lower-body submaximal weightlifting exercise performance in resistance-trained females. *European journal of nutrition*. 2017; 56(2), 775–784. <https://doi.org/10.1007/s00394-015-1124-6>
21. Kim, I. Y., Schutzler, S. E., Schrader, A., Spencer, H. J., Azhar, G., Deutz, N. E., & Wolfe, R. R. Acute ingestion of citrulline stimulates nitric oxide synthesis but does not increase blood flow in healthy young and older adults with heart failure. *American journal of physiology. Endocrinology and metabolism*. 2015; 309(11), E915–E924. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00339.2015>

