Sport. Physiol, 2025, 17(66): 87-103. DOI: 10.22089/spj.2025.17995.2371

Sport Physiology

Journal hompage: https://spj.ssrc.ac.ir

Original Article

Effects of Different Doses of Caffeine, Citrulline-Malate and Post-Activity Potentiation on Lower Limb Power of Female Kick Boxers

Shokofeh Emamgholi [1], Seyed Morteza Hosseini [2], Zohre Eskandari [*3]

1. MSc Student, Department of Physical Education and Sports Sciences, Faculty of Social Sciences, Raja University, Qazvin, Iran
2. PhD of Exercise Physiology, Department of Physical Education and Sports Sciences, Faculty of Social Sciences, Raja University, Qazvin, Iran
3. Assistant Professor, Department of Physical Education and Sports Sciences, Faculty of Social Sciences, Raja University, Qazvin, Iran

Received: 28-May-2025 | Accepted: 20-Aug-2025 | Online Published: 19-Sep-2025

*Corresponding Author: Zohre Eskandari, E-mail: Z.Eskandari@raja.ac.ir

How to Cite: Emamgholi, Sh; Hosseini, SM; Eskandari, Z. (2025). Effects of Different Doses of Caffeine, Citrulline-Malate and Post-Activity Potentiation on Lower Limb Power of Female Kick Boxers. *Sport Physiology*, 17(66):87-103. (In Persian). Doi: 10.22089/spj.2025.17995.2371

Extended Abstract

Background and Purpose

This study aimed to investigate the acute effects of different doses of caffeine, citrulline malate, and post-activation potentiation (PAP) on lower limb power, anaerobic capacity, and aerobic performance in female kickboxers. Caffeine is a well-known ergogenic aid that enhances performance by increasing calcium release in muscle fibers and reducing the perception of effort. Citrulline malate enhances blood flow and nutrient delivery via increased nitric oxide production. PAP, characterized by a prior muscle contraction enhancing subsequent explosive performance, has demonstrated efficacy in improving power output. However, the combined effects of these interventions, especially among female athletes, remain underexplored. This study aimed to address this gap by examining how these supplements—used alone or in combination with PAP—influence key performance metrics including vertical jump height, anaerobic power, and maximal oxygen consumption (VO_2max) in female kickboxers. The findings offer valuable insights for athletes and coaches pursuing optimized, evidence-based supplementation and training regimens.

Materials and Methods

Seventy female kickboxers aged 15–25 years with at least two years of training experience were randomly assigned to one of seven groups: control (Con), caffeine 4 mg/kg (Caf4), caffeine 5

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

mg/kg (Caf5), caffeine 4 mg/kg plus citrulline malate (Caf4+CitMal), caffeine 5 mg/kg plus citrulline malate (Caf5+CitMal), caffeine 4 mg/kg plus citrulline malate and PAP (Caf4+CitMal+PAP), and caffeine 5 mg/kg plus citrulline malate and PAP (Caf5+CitMal+PAP). Participants abstained from caffeine, citrulline, and other supplements 24 hours before testing.After a standardized warm-up, participants received their assigned supplementation. PAP was induced 10 minutes prior to performance testing, using plyometric exercises such as squat jumps. Explosive power was assessed via maximal vertical jump height. Anaerobic power was calculated from six 35-m sprints performed with 10-second rest intervals. Aerobic capacity was assessed by an incremental shuttle run between two 20-m lines, continued until volitional exhaustion. VO_2max was estimated using the formula described by Matusiński et al. (2021).Data were analyzed using one-way ANOVA and Tukey's post hoc tests. Statistical significance was set at $p < 0.05$. Ethical approval was granted by the Ethics Committee of Qazvin University of Medical Sciences (IR.QUMS.REC.1403.033). All participants gave written informed consent.

Results

Significant improvements in performance were noted in several groups. The combination group receiving caffeine 5 mg/kg with citrulline malate and PAP (Caf5+CitMal+PAP) exhibited the most substantial gains: a 12% increase in vertical jump height and a 15% improvement in anaerobic power compared to controls ($p < 0.05$). By contrast, caffeine at 4 mg/kg alone (Caf4) showed no significant performance benefit, indicating a dose-dependent effect. Regarding aerobic performance, caffeine combined with citrulline malate (Caf4+CitMal and Caf5+CitMal) significantly enhanced VO_2max, with the higher dose (Caf5+CitMal) producing a 10% increase compared to controls ($p < 0.05$). The addition of PAP did not further enhance VO_2max, suggesting PAP's effects are likely confined to short-duration explosive movements.The Caf4+CitMal+PAP group showed significant, but less pronounced, improvements in vertical jump height (+8%) and anaerobic power (+10%) than the Caf5+CitMal+PAP group ($p < 0.05$). Control and Caf4 groups did not demonstrate significant changes in any performance metric.These ergogenic effects may be mechanistically explained by caffeine's capacity to augment calcium release and reduce central fatigue, while citrulline malate facilitates nitric oxide-mediated vasodilation and nutrient delivery, attenuating muscle fatigue and damage. PAP's enhancement of neuromuscular efficiency appears to synergize with these effects selectively in explosive activities.

Conclusion

This study demonstrates that combining caffeine at 5 mg/kg with citrulline malate supplementation and PAP markedly improves lower limb power, anaerobic capacity, and aerobic performance in female kickboxers. Caffeine at the lower dose of 4 mg/kg does not confer significant benefits. Further, PAP predominantly enhances explosive and anaerobic performance rather than aerobic capacity.Practically, these findings highlight the importance of appropriate dosing and combination strategies when using supplements and conditioning protocols to boost athletic performance. Coaches and athletes should consider integrating higher caffeine doses alongside citrulline malate and PAP to maximize explosive power gains.Future research should explore longer-term supplementation effects, dose-responses across different populations, and whether similar synergistic effects appear in other sports disciplines.

Key Words: Caffeine, Citrulline Malate, Post-Activation Potentiation, Anaerobic Power, Aerobic Capacity, Vertical Jump, VO_2max

Article Message

This investigation reveals that caffeine, citrulline malate, and PAP interact synergistically to enhance athletic performance. Optimal ergogenic benefits occur with caffeine administered at 5 mg/kg, especially when combined with citrulline malate and PAP. Athletes and coaches can leverage these insights to design evidence-based supplementation and training programs. The findings underscore the necessity of tailoring caffeine dosing for maximal efficacy.

Ethical Considerations

The study adhered to the ethical protocols of Qazvin University of Medical Sciences (IR.QUMS.REC.1403.033). Written informed consent was obtained from all participants, with confidentiality and safety ensured throughout.

Authors' Contributions

All authors contributed equally to study conception, data analysis, interpretation, and manuscript drafting.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors thank all participants for their cooperation and the staff at Raja University for their invaluable support. Special thanks to the Ethics Committee of Qazvin University of Medical Sciences for their oversight and guidance.

فیزیولوژی ورزشی، تابستان ۱۴۰۴، دوره ۱۷، شماره ۶۶، صص ۸۷-۱۰۳. DOI: 10.22089/spj.2025.17995.2371

فیزیولوژی ورزشی
وبگاه نشریه: https://spj.ssrc.ac.ir

مقاله پژوهشی

تأثیر دوزهای مختلف کافئین، سیترولین مالات و تقویت پس‌فعالی بر ارتفاع پرش، توان بی‌هوازی و توان هوازی زنان کیک‌بوکسینگ‌کار

شکوفه امامقلی[۱]، سید مرتضی حسینی[۲]، زهره اسکندری[۳]*

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه رجا، قزوین، ایران
۲. دکتری، فیزیولوژی ورزشی، گروه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه رجا، قزوین، ایران
۳. استادیار، فیزیولوژی ورزشی، گروه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه رجا، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۷ | تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۹ | تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۶/۲۳

*نویسنده مسئول: زهره اسکندری، ایمیل: Z.Eskandari@raja.ac.ir

نحوه ارجاع‌دهی: امامقلی، شکوفه؛ حسینی، سیدمرتضی؛ اسکندری، زهره. (۱۴۰۴). تأثیر دوزهای مختلف کافئین، سیترولین مالات و تقویت پس‌فعالی بر ارتفاع پرش، توان بی‌هوازی و توان هوازی زنان کیک‌بوکسینگ‌کار. فیزیولوژی ورزشی، ۱۷(۶۶): ۱۰۳-۸۷.

چکیده

هدف: در این پژوهش به بررسی تأثیرات حاد دوزهای مختلف کافئین، سیترولین مالات و تقویت پس‌فعالی (PAP) بر توان اندام تحتانی، ظرفیت بی‌هوازی و عملکرد هوازی در زنان کیک‌بوکسینگ‌کار پرداخته شد.

مواد و روش ها: هفتاد شرکت‌کننده به صورت تصادفی در هفت گروه قرار گرفتند: کنترل (Con)، کافئین ۴ میلی‌گرم/کیلوگرم (Caf4)، کافئین ۵ میلی‌گرم/کیلوگرم (Caf5)، کافئین ۴ میلی‌گرم/کیلوگرم+سیترولین مالات (Caf4+CitMal)، کافئین ۵ میلی‌گرم/کیلوگرم+سیترولین مالات (Caf5+CitMal)، کافئین ۴ میلی‌گرم/کیلوگرم+سیترولین مالات+ PAP (Caf4+CitMal+PAP) و کافئین ۵ میلی‌گرم/کیلوگرم+سیترولین مالات+PAP (Caf5+CitMal+PAP). یک ساعت قبل از اجرای آزمون مکمل‌ها استفاده شدند. تمام مکمل‌ها (شامل دارونما و گروه‌های مداخله) از نظر ویژگی‌های حسی (رنگ، طعم و بو) یکسان بودند. پس از ۵۰ دقیقه از مصرف مکمل، آزمودنی‌ها به مدت ۱۰ دقیقه گرم کردن انجام دادند. به‌منظور بررسی عملکرد ورزشی از آزمون‌های عملکردی شامل آزمون پرش سارجنت (برای اندازه‌گیری ارتفاع پرش عمودی)، آزمون دویدن بی‌هوازی (RAST) (به‌منظور سنجش توان بی‌هوازی) و آزمون شاتل ران ۲۰ متری (برای تخمین حداکثر اکسیژن مصرفی (maxVO2) استفاده شد. PAP از طریق تمرینات پلایومتریک پنج دقیقه قبل از آزمون‌ها اعمال شد.

یافته ها: نتایج نشان داد، ترکیب کافئین ۵ میلی‌گرم/کیلوگرم با سیترولین مالات و PAP (Caf5+CitMal+PAP) منجر به بهبود معنادار در ارتفاع پرش عمودی (۱۲ درصد) و توان بی‌هوازی (۱۵ درصد) در مقایسه با گروه کنترل شد (P<۰/۰۵). درمقابل، مصرف کافئین ۴ میلی‌گرم/کیلوگرم به‌تنهایی (Caf4) بهبود معناداری را ایجاد نکرد. درباره عملکرد هوازی، ترکیب کافئین و سیترولین مالات (Caf4+CitMal و Caf5+CitMal) افزایش معناداری را در VO2max ایجاد کرد؛ به طوری که گروه Caf5+CitMal بهبود ۱۰ درصد در مقایسه با گروه کنترل نشان داد (P<۰/۰۵)؛ با این حال، افزودن PAP تأثیر بیشتری بر عملکرد هوازی نداشت.

نتیجه گیری: این یافته‌ها نشان می‌دهد که دوزهای بالاتر کافئین (۵ میلی‌گرم/کیلوگرم) در ترکیب با سیترولین مالات و PAP، به طور خاص بر بهبود توان انفجاری و ظرفیت بی‌هوازی در زنان کیک‌بوکسینگ‌کار مؤثر است.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

واژگان کلیدی: کافئین، سیترولین مالات، توانمندسازی پس‌فعالی، توان بی‌هوازی، ظرفیت هوازی، پرش عمودی، VO_2max

مقدمه

امروزه ورزشکاران و غیر ورزشکاران به طور گسترده از کافئین استفاده می‌کنند. مصرف این مکمل از سال ۲۰۰۴، زمانی که از فهرست مواد ممنوع خارج شد، به‌شدت افزایش یافت؛ به گونه‌ای که تجزیه و تحلیل نمونه‌ها جمع‌آوری‌شده از ورزشکاران المپیکی از سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ نشان داد، حدود ۷۴ درصد از این ورزشکاران کافئین مصرف کردند. با افزایش سن، غلظت کافئین در نمونه‌های ادرار ورزشکاران المپیکی افزایش یافت (۱). به نظر می‌رسد با افزایش مصرف کافئین، اثرات مثبت اگوژنیک این مکمل نیز کم می‌شود. در تأیید این مطلب نشان داده شده است که اثرات مثبت مصرف کافئین در یک دوره بیست‌روزه به صورت پیش‌رونده کاهش می‌یابد (۲). از سوی دیگر، مصرف کافئین زیاد از طریق نوشیدن قهوه به طور درخورتوجهی باعث افزایش فشارخون مرکزی و فشارخون سیستولیک و دیاستولیک می‌شود نتایج مطالعه‌ای متاآنالیز نشان داد، مصرف کافئین با افزایش خطر اضطراب در افراد سالم بدون اختلالات روان‌پزشکی همراه است؛ به‌خصوص زمانی که دوز مصرفی بیش از ۴۰۰ میلی‌گرم باشد (۳).

درباره افزایش عملکرد ناشی از مصرف کافئین این فرضیه مطرح است که کافئین باعث آزاد شدن کلسیم از شبکه رتیکلوم سارکوپلاسمیک و مهار جذب مجدد کلسیم در عضله می‌شود (۴) همچنین پیشنهاد شده است کلسیم داخل سلولی فعال شدن آنزیم نیتریک اکسید سنتاز[1] (eNOS) و تولید مقادیر بیشتری از اکسید نیتریک را به همراه دارد (۵). سیترولین مالات[2] که یکی دیگر از مکمل‌های پرطرفدار در بین ورزشکاران به‌منظور بهبود عملکرد شناخته می‌شود، سبب افزایش تولید نیتریک اکساید[3] (NO) می‌شود (۶) سیترولین در کبد، کلیه و عضلات متابولیزه شده و در بیشتر بافت‌ها از طریق آنزیم آرژینوسوکسینات سنتتاز[4] به آرژنین تبدیل می‌شود که با افزایش آرژنین، تولید NO افزایش می‌یابد (۷). سیترولین مالات احتمالاً از طریق تولید نیتریک اکسید اثرات ارگوژنیک خود را اعمال می‌کند؛ بر همین اساس، به‌عنوان یک مکمل قبل از تمرین در بین ورزشکاران برای بهبود عملکرد ورزشی مدنظر قرارگرفته است. متاآنالیز ورویک۵ و همکاران نشان‌دهنده افزایش تعداد تکرارهای تمرین مقاومتی پس از مصرف حاد شش تا هشت گرم سیترولین مالات در مقایسه با دارونما بود (۸). مطالعه وو[6] و همکاران نشان داد، مصرف مکمل آل‌مالات احتمالاً از طریق افزایش غلظت سیتوزولی و میتوکندریایی MDH و آسپارتات آمینوترانسفراز سبب بهبود عملکرد استقامتی موش‌ها می‌شود (۹)؛ براساس این پژوهش‌ها انتظار می‌رود، مصرف مکمل سیترولین مالات از طریق مکانیسم‌های ذکرشده سبب بهبود عملکرد ورزشی به‌خصوص در ترکیب با مکمل کافئین شود. مطالعات اندک درباره مصرف هم‌زمان مکمل کافئین و سیترولین مالات

1. Endothelial Nitric Oxide Synthase
2. Citrulline Malate
3. Nitric Oxide
4. Argininosuccinate Synthetase
5. Vårvik
6. Wu

وجود دارد، اما مطالعه هاگون[1] و همکاران نشان داد مصرف هم‌زمان کافئین با دوز ۵ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن در ترکیب با ۱۲ گرم سیترولین مالات در مقایسه با مصرف کافئین به‌تنهایی، مزایای اضافه‌ای در افزایش ارتفاع پرش CMJ ندارد (۱۰)؛ البته اینکه آیا مصرف هم‌زمان این مکمل‌ها با یکدیگر می‌تواند سبب بهبود توان بی‌هوازی شود یا خیر، مشخص نیست.

به نظر می‌رسد، فعالیت‌های انقباضی قبلی عضلات می‌تواند بر انقباضات بعدی به‌واسطه ایجاد خستگی اثر منفی داشته باشد (۱۱). یکی دیگر از پیامدهای انقباضات قبلی، افزایش پاسخ انقباضی بعدی است که به‌عنوان توانمندسازی پس‌فعالی[2] (PAP) شناخته می‌شود (۱۲). PAP می‌تواند به صورت حاد از طریق افزایش حساسیت به کلسیم سبب افزایش عملکرد شود. PAP به طور خاص به بهبودهای کوتاه‌مدت (نیمه‌وقت حدود ۲۸ ثانیه) در تولید نیروی عضلانی زیربیشینه اشاره دارد (۱۳) که عمدتاً از طریق فسفوریلاسیون زنجیره سبک میوزین در فیبرهای عضلانی نوع II انجام می‌شود (۱۴)؛ با این حال، پدیده عملکردی مرتبط‌تر برای عملکرد ورزشی، بهبود عملکرد پس از فعال‌سازی است که شامل بهبودهای قابل‌اندازه‌گیری در معیارهای عملکرد مانند ارتفاع پرش و سرعت دویدن می‌شود که ۳ تا ۱۵ دقیقه پس از انقباضات شرطی ادامه می‌یابد (۱۴). مطالعه ویتر[3] و همکاران نیز نشان داد، استفاده از تمرینات قدرتی می‌تواند بر بهبود عملکرد زنان و مردان اثرگذار باشد (۱۵)؛ با این حال، اثربخشی PAP به طور حیاتی به تعادل بین تقویت خستگی و بهبود عصبی-عضلانی بستگی دارد (۱۶). با توجه به مطالب ذکرشده این سؤال مطرح است که آیا استفاده از مکمل کافئین، سیترولین مالات و PAP می‌تواند سبب اثرگذاری کافئین در دوزهای پایین‌تر شود یا خیر.

روش پژوهش

برای آزمون کردن فرضیه این پژوهش در یک طرح دوسوکور، ۷۰ زن کیک‌بوکسینگ‌کار با میانگین سنی ۲/۹۹±۱۸/۷۸ سال و شاخص توده بدنی ۳/۴۲±۲۳/۰۱ به صورت تصادفی به هفت گروه ده‌نفری تقسیم شدند ۱- کنترل (Con)؛ ۲- کافئین ۴ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن (Caf4)؛ ۳- کافئین ۵ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن (Caf5)؛ ۴- کافئین ۴ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن و سیترولین مالات (Caf4+CitMal)؛ ۵- کافئین ۴ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن و سیترولین مالات و توانمندسازی پس‌فعالی (Caf4+ CitMal+PAP)؛ ۶- کافئین ۵ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن و سیترولین مالات (Caf4+CitMal)؛ ۷- کافئین ۴ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن و سیترولین مالات و توانمندسازی پس‌فعالی (Caf4+CitMal+PAP) (جدول ۱).

معیارهای ورود آزمودنی‌ها به مطالعه عبارت بود از: سن ۱۵ تا ۲۵ سال؛ تمایل نداشتن به باردار شدن؛ داشتن حداقل دو سال تجربه ورزش حرفه‌ای؛ تکمیل حداقل سه جلسه در هفته تمرین منظم؛ مصرف نکردن دارو یا مکمل غذایی؛ تمایل به همکاری در پژوهش؛ نداشتن محدودیت‌های جسمی و حرکتی مختل‌کننده در فعالیت‌های روزمره؛ رضایت برای شرکت

1. Haugen
2. Post Activation Potentiation
3. Witmer

در مطالعه. بارداری، داشتن بیماری پنهان، شرکت نکردن در جلسات تمرینی، مصرف نکردن دوز تعیین‌شده کافئین و سیترولین به طور منظم و کشیدن سیگار، از معیارهای خروج آزمودنی‌ها از مطالعه بود.

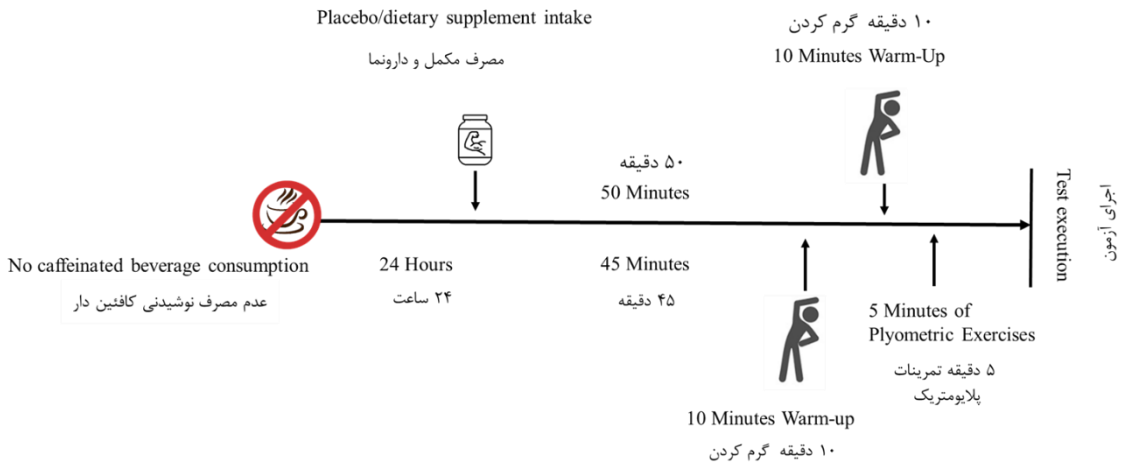
جدول ۱- گروه‌بندی شرکت‌کنندگان

Table 1- Allocation of Participants

Conditions	شرایط	گروه | Group
Placebo	دارونما	Con
4 mg/kg b.w. Caffeine	کافئین ۴ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن	Caf4
5 mg/kg b.w. Caffeine	کافئین ۵ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن	Caf5
4 mg/kg b.w. Caffeine and citrulline malate	کافئین ۴ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن و سیترولین	Caf4+CitMal
5 mg/kg b.w. Caffeine and citrulline malate and post-activity potentiation	کافئین ۵ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن و سیترولین مالات و توانمندسازی پس‌فعالی	Caf4+CitMal+PAP
4 mg/kg b.w. Caffeine and citrulline malat	کافئین ۴ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن و سیترولین مالات	Caf5+CitMal
4 mg/kg b.w. Caffeine and citrulline malate and post-activity potentiation	کافئین ۴ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن و سیترولین مالات و توانمندسازی پس‌فعالی	Caf5+CitMal+PAP

از تمام افراد خواسته شد تا ۲۴ ساعت قبل از آزمون از مصرف کافئین خودداری کنند. ۶۰ دقیقه قبل از شروع آزمون مکمل‌ها در نوشیدنی بدون کالری به شرکت‌کنندگان داده شد (۱۷) و از آن‌ها خواسته شد که تمام نوشیدنی را در مدت یک دقیقه مصرف کنند تا اطمینان حاصل شود که در زمان شروع آزمون سطوح کافئین و سیترولین مالات پلاسما به اوج یا نزدیک به اوج رسیده باشد. همه شرایط مکمل (شامل دارونما و گروه‌های مداخله) از نظر ویژگی‌های حسی (رنگ، طعم و بو) مشابه بودند؛ زیرا در آب بدون کالری با شیرین‌کننده‌های استویا فرموله شدند. این طراحی برای اطمینان از کورسازی شرکت‌کنندگان و کاهش سوگیری انجام گرفت.

پس از ۵۰ دقیقه از مصرف مکمل از آزمودنی‌ها خواسته شد تا به مدت ده دقیقه گرم کنند. گرم کردن شامل پنج دقیقه دویدن با شدت کم ۱۰ اسکوات با وزن بدن، ۱۰ حرکت لانگز به جلو در هر طرف، کشش پویا مربوط به عضلات اندام تحتانی بود. در گروه PAP و مصرف مکمل، ۴۵ دقیقه پس از مصرف مکمل گرم کردن آغاز شد و پس از گرم کردن تمرینات پلایومتریک اجرا شد. برای مداخله پلایومتریک، ۲ ست ۱۰ پرش مچ پا، ۳ ست ۵ پرش از روی مانع و ۱ ست ۵ پرش از روی جعبه ۳۰ سانتی‌متری انجام شد تا درمجموع ۴۰ پرش انجام شود.۳۰ ثانیه استراحت بین هر ست و ۱۵ ثانیه استراحت بین هر پرش از روی جعبه در نظر گرفته شد. در گروه‌های PAP و پس از گرم کردن تمرینات پلایومتریک به‌منظور توانمندسازی پس‌فعالی اجرا شد (۱۸). یک دقیقه پس از پایان تمرینات پلایومتریک آزمون‌ها اجرا شد (۱۹) (شکل ۱).



شکل ۱- طرح پژوهش: توالی اجرای مداخلات تمرینی

Figure 1- Study design: The sequence of exercise interventions

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه و آزمون تعقیبی توکی در سطح معناداری P<۰/۰۵ انجام شد. برای تعیین حداکثر اکسیژن مصرفی (VO2max) از آزمون درمانده‌ساز ۲۰ متر شاتل ران استفاده شد. این آزمون دارای ۲۱ سطح (هر سطح با تعداد رفت و برگشت مختلف) است. سطوح ۱ و ۲ بیشتر شبیه راه رفتن سریع است و حالت گرم کردن دارد. بهترین سرعت دویدن به شکلی است که دونده با صدای بوق در حال دور زدن موانع باشد. توان هوازی ورزشکاران با ثبت تعداد سطوح و شاتل‌های تکمیل‌شده با استفاده از فرمول ماتوسینسکی[1] و همکاران در سال ۲۰۰۴ (فرمول ۱) تعیین شد (۲۰)

فرمول ۱ $VO_2max = ۶۱/۱ - ۲/۲۰ \times$ سن $\times ۰/۴۶۲ - ۱ ۰/۲۶۸ + BMI \times ۰/۱۹۲ \times$ تعداد دور

از آزمون پرش عمودی یا پرش سارجنت برای تعیین قدرت انفجاری یا توان عضلانی استفاده شد. توان عضلانی به کار انجام‌شده در واحد زمان می‌گویند. ابتدا وزن آزمون گیرنده اندازه‌گیری می‌شود. ورزشکار به پهلو در کنار دیوار خط‌کشی شده قرار می‌گیرد و دست خود را به بالا می‌برد. نوک انگشت فرد روی دیوار علامت زده می‌شود. حالا ورزشکار یک پرش عمودی با تمام توان انجام می‌دهد و نقطه‌ای را که با دست لمس می‌کند، علامت زده می‌شود. فاصله بین دو نقطه علامت‌زده‌شده نشان‌دهنده میزان توان عضلانی ورزشکار است؛ یعنی هرچه فاصله بیشتر باشد، توان عضلانی ورزشکار نیز بیشتر است (۲۱).

برای انجام توان بی‌هوازی از آزمون Rast استفاده شد. پس از گرم کردن از ورزشکار خواسته می‌شود تا با فرمان «رو» مسافت ۳۵ متر را با سرعت هر چه تمام‌تر طی کند. در انتهای مسافت ورزشکار باید به مدت ۱۰ ثانیه استراحت کند. بلافاصله بعد از ۱۰ ثانیه استراحت ورزشکار باید مسافت طی‌شده را برگردد؛ یعنی ۳۵ متر دویدن مجدد. مرحله قبل تکرار می‌شود؛ درواقع، ورزشکار باید شش بار مسافت را با حداکثر سرعت خود طی کند؛ یعنی سه بار رفت و برگشت.

1. Matusiński

در هر مرحله باید رکوردها ثبت شود. با توجه به زمان‌های ثبت‌شده، با استفاده از فرمول (۲) برای هرکدام از مسافت‌ها توان بی‌هوازی محاسبه شد (۲۲).

فرمول ۲ توان بی‌هوازی = وزن × ۱۲۲۵ ÷زمان^{۳}

نتایج

آمار توصیفی مرتبط با سن، قد، وزن و شاخص توده بدنی شرکت‌کنندگان در این پژوهش که ۷۰ نفر بودند، به صورت میانگین و انحراف استاندارد در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲- ویژگی‌های آزمودنی ها (میانگین ± انحراف استاندارد)

Table 2- Characteristics of Subjects (Mean±SD)

گروه Group	وزن Weight	قد Height	شاخص توده بدنی Body Mass Index
Con	58.13±9.27	162.4±3.68	23.4±3.47
Caf4	61.06±11.16	163.4±6.34	22.1±3.57
Caf5	59.16±11.64	164.8±4.68	22.9±3.63
Caf4+CitMal	61.44±9.37	161.9±4.09	22.5±3.52
Caf4+CitMal+PAP	60.6±10.43	163.8±6.52	21.7±3.55
Caf5+CitMal	63.07±9.14	166.2±3.35	22.9±3.1
Caf5+CitMal+PAP	66.05±11.16	164±5.57	24.5±3.86

جدول ۳- میانگین تغییرات بین قبل و بعد از مداخلات (انحراف معیار± میانگین)

Table 3- Mean changes from pre to post interventions (Mean±SD)

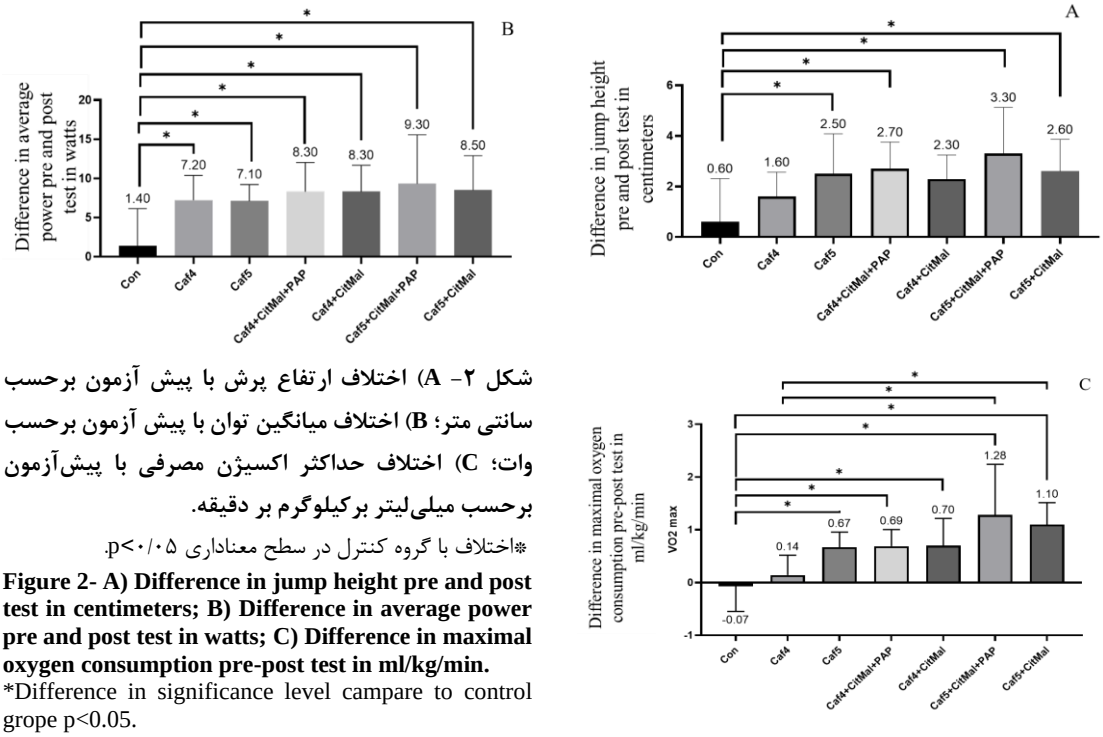
گروه Group	توان انفجاری Explosive Power	حداکثر اکسیژن مصرفی Maximum Oxygen Consumption	میانگین توان بی‌هوازی Mean Anaerobic Power
Con	0.6±1.71	-0.07±0.47	1.4±4.74
Caf4	1.6±0.96	0.14±0.37	7.2±3.19*
Caf5	2.5±1.58*	0.67±0.28*	7.1±2.13*
Caf4+CitMal	2.3±0.94	0.7±0.51*	8.3±3.36*
Caf4+CitMal+PAP	2.7±1.05*	0.69±0.31*	8.3±3.74*
Caf5+CitMal	2.6±1.26*	1.1±0.41*+	8.5±4.4*
Caf5+CitMal+PAP	3.3±1.82*	0.96±0.28*+	9.3±6.27*

* اختلاف با گروه کنترل در سطح معناداری P<۰/۰۵؛ + اختلاف با گروه کافئین دوز ۴ در سطح معناداری P<۰/۰۵

* Significant difference was observed compared to the control group; + Significant difference compared to the caffeine dose 4 group P<0.05.

نتایج تحلیل داده‌های جمع‌آوری‌شده با آزمون سارجنت نشان داد، به‌جز گروه‌های Caf4 و Caf4+CitMal اختلاف سایر گروه‌ها با گروه Con معنادا بود (CI=۰/۰۵۲-۰/۳۸۶، η^{2}=۰/۳۸۶، F=۴/۰۵، P<۰/۰۵)، اما تفاوت معناداری بین دیگر گروه‌ها دیده نشد (شکل ۲ A). در محاسبه VO_2max از طریق آزمون شاتل ران نشان داده شد، اختلاف معناداری بین گروه‌های Con و Caf4 وجود نداشت (CI=۰/۲۰۸-۰/۵۴۲، η^{2}=۰/۴۴۵، F=۸/۴۲، P>۰/۰۵)؛ این در حالی است که بین گروه Con با سایر گروه‌ها تفاوت معنادار مشاهده شد (P<۰/۰۵). اختلاف بین گروه Caf4 و گروه‌های Caf5+CitMal

و Caf5+CitMal+PAP معنادار بود (P<۰/۰۵)، اما تفاوت معنادار بین دیگر گروه‌ها مشاهده نشد (شکل ۲ B). نتایج تحلیل میانگین توان در آزمون رست نشان داد، اختلاف معناداری بین گروه Con و تمامی گروه‌ها وجود داشت (۰/۳۸۶- CI=۰/۰۵۲، η^2=۰/۲۷۹، F=۴/۰۵، P<۰/۰۵)، اما تفاوت معنادار بین دیگر گروه‌ها مشاهده نشد (P>۰/۰۵) (شکل C۲).



شکل ۲- A) اختلاف ارتفاع پرش با پیش آزمون برحسب سانتی متر؛ B) اختلاف میانگین توان با پیش آزمون برحسب وات؛ C) اختلاف حداکثر اکسیژن مصرفی با پیش‌آزمون برحسب میلی‌لیتر برکیلوگرم بر دقیقه.

*اختلاف با گروه کنترل در سطح معناداری p<۰/۰۵.

Figure 2- A) Difference in jump height pre and post test in centimeters; B) Difference in average power pre and post test in watts; C) Difference in maximal oxygen consumption pre-post test in ml/kg/min.

*Difference in significance level campare to control grope p<0.05.

بحث و نتیجه‌گیری

بخش اول این پژوهش بررسی تأثیر مصرف دوزهای مختلف کافئین، سیترولین مالات و توانمندسازی پس‌فعالی بر توان انفجاری در زنان کیک‌بوکسینگ‌کار بود. نتایج نشان داد، مصرف کافئین با دوز ۴ میلی‌گرم/کیلوگرم به‌تنهایی یا همراه با سیترولین مالات، تأثیر معناداری بر بهبود پرش سارجنت نداشت (P>۰/۰۵). درمقابل، دوز ۵ میلی‌گرم/کیلوگرم کافئین به همراه سیترولین و PAP تفاوت معناداری را در مقایسه با گروه کنترل ایجاد کرد (P<۰/۰۵). این یافته با مطالعاتی همسوست که نشان می‌دهند دوزهای زیاد کافئین سبب بهبود انقباضات عضلات اسکلتی می‌شود (۲۳). نتایج مطالعه‌ای نشان داد، دوز ۶ میلی‌گرم/کیلوگرم کافئین باعث تقویت نیروی انقباضی می‌شود (۲۴)؛ در حالی که مطالعه حاضر نشان داد با دوزهای کمتر از ۴ میلی‌گرم/کیلوگرم اثرات درخورتوجهی بر عملکرد عضلانی دیده نمی‌شود. از سوی دیگر، دوزهای بالاتر (۵-۶ میلی‌گرم/کیلوگرم) احتمالاً با مهار قوی‌تر آدنوزین، افزایش ترشح کاتکولامین‌ها و تسهیل رهاسازی کلسیم از شبکه سارکوپلاسمی، عملکرد انفجاری را بهبود می‌بخشند. این نتایج حاکی از وجود حداقل دوزی خاص برای ایجاد اثرات فیزیولوژیک قابل‌اندازه‌گیری برگیرنده‌های آدنوزین عضلانی است. پژوهش دیگری نیز تأیید کرد که دوزهای ۶ و ۹ میلی‌گرم/کیلوگرم اثرات واضحی بر بهبود عملکرد ایجاد می‌کنند (۲۵)؛ در حالی که دوزهای پایین‌تر ممکن است اثرگذاری کمتری داشته باشند (۲۵).

کافئین با مهار گیرنده‌های آدنوزین و افزایش سطح cAMP، کانال‌های کلسیمی وابسته به ولتاژ را فعال می‌کند و نفوذپذیری غشای سلولی به یون‌های کلسیم را افزایش می‌دهد. این فرایند باعث تقویت تعامل بین اکتین و میوزین و درنتیجه افزایش قدرت انقباضی

عضلات می‌شود (۲۶). صرف کافئین باعث بهبود قدرت انقباضی عضلات اسکلتی، به‌ویژه در فیبرهای تندانقباض می‌شود. این اثرات ناشی از افزایش آزادسازی کاتکولامین‌ها و تأثیر آن‌ها برگیرنده‌های β-آدرنرژیک است که سطح cAMP و نفوذپذیری کلسیم را افزایش می‌دهد (۱۷).

نقش سیترولین مالات در این فرضیه به تأمل نیاز دارد. این مکمل به طور نظری با افزایش تولید نیتریک اکسید باید جریان خون عضلانی و انتقال مواد مغذی را بهبود بخشد، اما احتمالاً دوز آن برای بروز اثرات کامل کافی بوده است. این پژوهش در راستای مطالعه وکس[1] و همکاران بود که نشان دادند، مصرف ۸ گرم سیترولین مالات در وزنه‌برداران حرفه‌ای تأثیر معناداری بر قدرت انفجاری یا توان خروجی در حرکات اسکوات پرشی نداشت (۲۷). درمقابل، گیسادو[2] و همکاران نشان دادند، مصرف ۸ گرم سیترولین مالات، ۴۰ دقیقه پیش از تمرین باعث افزایش ۳۴ درصدی در عملکرد بی‌هوازی و بهبود توان انفجاری در حرکات مقاومتی شد (۲۸).

PAP به‌عنوان یک استراتژی تمرینی نوین، توجه زیادی را در حوزه بهبود عملکرد توان انفجاری جلب کرده است. پژوهش حاضر با بررسی نقش PAP ناشی از تمرینات پلایومتریک در ترکیب با مکمل‌های کافئین و سیترولین مالات نشان می‌دهد که این رویکرد ترکیبی می‌تواند به طور فزاینده‌ای بر مکانیسم‌های عصبی‌عضلانی تأثیر بگذارد و عملکرد انفجاری را افزایش دهد. نتایج مطالعه امپی[3] و همکاران نشان داد، اثر مصرف کافئین یا PAP مشابه بود. این بهبود عملکرد احتمالاً به تغییرات در زمان واکنش پویا مربوط می‌شود؛ یعنی پردازش اطلاعات سریع‌تر توسط CNS منبع احتمالی برای بهبود است (۲۹). این احتمال وجود دارد که در مطالعه حاضر به دلیل تطابق بیشتر ورزشکاران با تمرینات، اثر مکمل بر جبران خستگی کمتر مشهود بود. مطابق آنچه گفته شد، ازآنجاکه کافئین سبب افزایش رهایش کلسیم می‌شود و PAP نیز حساسیت به کلسیم را افزایش می‌دهد، این انتظار می‌رفت که ترکیب این دو مداخله احتمالاً اثرات بزرگ‌تری بر توان انفجاری داشته باشد؛ اما برخی پژوهش‌ها این فرضیه را مطرح می‌کنند، مبنی بر اینکه در شرایطی که غلظت $Ca2+$ درون‌سلولی زیاد باشد، هرگونه افزایش حساسیت $Ca2+$ اهمیت چندانی نخواهد داشت (۳۰).

در بخش دیگر این پژوهش به بررسی تأثیر مصرف دوزهای مختلف کافئین به همراه سیترولین مالات و توانمندسازی پس‌فعالی بر VO_2max در زنان کیک‌بوکسینگ‌کار بود. نتایج این مطالعه نشان‌دهنده الگوی پیچیده‌ای از تأثیرات ترکیبات مختلف کافئین، سیترولین مالات و PAP بر شاخص‌های فیزیولوژیک و عملکرد ورزشی در زنان تمرین‌کرده است. یافته‌ها کلیدی این مطالعه نشان داد، تمام گروه‌های دریافت‌کننده کافئین در مقایسه با گروه کنترل، بهبود در VO_2max داشتند، اما این بهبود تنها در گروه‌های ترکیبی با سیترولین و PAP معنادار بود. این نتایج از دو منظر تفسیرشدنی است: نخست، کافئین از طریق افزایش تجزیه چربی‌ها و صرفه‌جویی در گلیکوژن عضلانی (۳۱)، کاهش خستگی عصبی‌عضلانی (۳۲) و کاهش خستگی مرکزی (۳۳) استقامت هوازی را بهبود می‌بخشد؛ دوم، سیترولین مالات با افزایش دسترسی به آرژینین، پیش‌ساز نیتریک اکسید، سبب اتساع عروق و بهبود اکسیژن‌رسانی به عضلات فعال می‌شود (۳۴). نتایج آزمون شاتل ران نیز بهبود دوز-وابسته در گروه‌های دریافت کننده ترکیبات را نشان داد. این اثرات احتمالاً از طریق مکانیسم‌های افزایش جریان خون، بهبود متابولیسم اکسیداتیو و بهینه‌سازی تولید انرژی سلولی به دست می‌آید.

1. Wax
2. Guisado
3. Impey

پژوهش حاضر بهبود در عملکرد استقامتی ناشی از مصرف کافئین را نشان داد؛ این در حالی است که ترکیب دوز ۵ میلی‌گرم کافئین با سیترولین موجب افزایش بیشتری در VO_2max شد. این بهبود احتمالاً ناشی از تقویت هم‌زمان مکانیسم‌های مرکزی (افزایش برون‌ده قلبی) و محیطی (افزایش ترشح برخی مایوکاین‌ها در عضلات اسکلتی) است. نقش سیترولین در این سیستم از طریق مسیر آرژینین-نیتریک اکسید-سیکلاز توجیه‌شدنی است. به نظر می‌رسد، PAP هیچ تأثیری بر بهبود VO_2max ندارد.

نتایج مطالعه گیسادو و همکاران درباره ترکیب کافئین (۵ میلی‌گرم/کیلوگرم) و سیترولین مالات (۸ گرم) بهبود معناداری را در عملکرد استقامتی و افزایش VO_2max در ورزشکاران تمرین‌کرده نشان داد. این مطالعه مکانیسم احتمالی نظیر افزایش جریان خون (از طریق سیترولین) و تحریک متابولیسم چربی (از طریق کافئین) را گزارش کرد (۲۸). درمقابل، نتایج پژوهش کوترفلر[1] و همکاران نشان داد، سیترولین مالات (۸ گرم) تأثیر معناداری بر VO_2 max در دوندگان استقامتی نداشت (۳۵). احتمالاً اثرات رگ‌گشایی سیترولین مالات محرک لازم برای بهبود این فاکتور را به همراه نداشته است. در یک متاآنالیز نیز نشان داده شد که مصرف مکمل سیترولین مالات به‌تنهایی بر عملکرد هوازی تأثیر مثبت ندارد (۳۶). نتایج پژوهش گلن[2] و همکاران نیز نشان داد، سیترولین مالات سبب بهبود عملکرد در تمرینات استقامتی با وزنه می‌شود، اما بهبود در توان انفجاری در پرش عمودی مشاهده نشد (۳۷). این داده‌ها نشان می‌دهد، ورزشکارانی که در ورزش‌هایی با نیازهای مبتنی بر استقامت عضلانی رقابت می‌کنند، ممکن است به طور بالقوه عملکرد را با مکمل‌سازی حاد سیترولین مالات بهبود بخشند.

در دوزهای بالاتر (۵ میلی‌گرم/کیلوگرم)، کافئین احتمالاً به‌عنوان آنتاگونیست گیرنده‌های آدنوزین عمل می‌کند و تلاش درک‌شده را کاهش می‌دهد و پاسخ‌های عصبی عضلانی را تقویت می‌کند (۳۸). اثر نگذاشتن بر دوز ۴ میلی‌گرم/کیلوگرم ممکن است منعکس‌کننده آستانه‌های وابسته به دوز یا عادت در افراد تمرین‌کرده باشد.

برتری مصرف ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کافئین در مقایسه با ۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در مقایسه با دارونما، با مطالعاتی همسوست که مصرف دوز ۶ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن نسبت به دوز ۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بر کاهش تلاش درک‌شده را مؤثرتر گزارش کردند؛ اگرچه این اختلاف معنادار گزارش نشد (۲۵). با توجه به نتایج این پژوهش، زنان تمرین‌کرده ممکن است به دلیل سازگاری‌هایی مانند افزایش متابولیسم یا حساسیت‌زدایی گیرنده‌ها، به دوزهای بالاتر نیاز داشته باشند؛ با اینکه به‌منظور بهره‌مندی از مزایای کافئین در دوزهای پایین‌تر می‌توانند آن را در ترکیب با سیترولینن مالات استفاده کنند.

درنهایت در بخش سوم پژوهش حاضر، تأثیر مصرف دوزهای مختلف کافئین به همراه و سیترولین مالات و توانمندسازی پس‌فعالی بر توان بی‌هوازی زنان کیک‌بوکسینگ‌کار بررسی شد. بهبود توان بی‌هوازی در گروه دارونما در مقایسه با سایر گروه‌ها به طور چشمگیری کمتر بود. این یافته ممکن است نشان‌دهنده اثر انتظار[3] یا تأثیر واقعی نداشتن دارونما باشد. برخی مطالعات نشان داده‌اند که در افراد تمرین‌کرده انتظارات ذهنی از تأثیر مکمل‌ها می‌تواند بر عملکرد تأثیر بگذارد (۳۹)، اما در این مطالعه، فقدان بهبود چشمگیر در دارونما احتمالاً به دلیل نبود محرک فیزیولوژیک بوده است.

در بخش دیگر، نتایج مطالعه حاضر نشان‌دهنده آستانه اثر کافئین است؛ به طوری که افزایش دوز به بیش از ۴ میلی‌گرم، مزیت اضافه‌ای ایجاد نمی‌کند. ترکیب کافئین (۴ میلی‌گرم) با سیترولین مالات بهبود ۸/۳ وات و افزودن PAP به این ترکیب بهبود ۹/۳ وات را نشان داد. سیترولین مالات با افزایش تولید نیتریک اکسید و بهبود جریان خون، انتظار می‌رود اکسیژن‌رسانی به عضلات را در فعالیت‌های بی‌هوازی تسهیل کند؛ با این حال، تفاوت غیرمعنادار بین گروه‌های ترکیبی و گروه کافئین به‌تنهایی ممکن است

1. Cutrufello
2. Glenn
3. Expectation Effect

نشان‌دهنده فقدان همپوشانی مکانیسم‌های اثر این مکمل‌ها در فعالیت‌های بی‌هوازی کوتاه‌مدت باشد. فعالیت‌های بی‌هوازی عمدتاً از مسیر فسفاژن و گلیکولیز استفاده می‌کنند؛ در حالی که سیترولین مالات بیشتر بر فعالیت‌های هوازی مؤثر است (۴۰). افزودن PAP نیز نتوانست تفاوت معناداری ایجاد کند. این امر ممکن است به دلیل تطابق نداشتن پروتکل PAP با نیازهای آزمون رست باشد. مطالعه‌ای دیگر نشان داد، کافئین توان بی‌هوازی را بهبود می‌بخشد، اما بر ظرفیت بی‌هوازی تأثیر نمی‌گذارد (۴۱). این موضوع نشان می‌دهد، کافئین می‌تواند توان خروجی کوتاه‌مدت را افزایش دهد، اما ممکن است تأثیر درخورتوجهی بر توانایی بدن برای حفظ تلاش‌های بی‌هوازی در طول زمان نداشته باشد. مطالعه‌ای دیگر روی دوچرخه‌سواران نشان داد، مصرف کافئین (۶ میلی‌گرم/کیلوگرم) زمان خستگی را بهبود می‌بخشد، اما ظرفیت بی‌هوازی را که توسط متابولیسم گلیکولیتیک و فسفاژن تخمین زده می‌شود، به طور چشمگیری تغییر نداد (۴۲). به توجه به این نتایج، به نظر می‌رسد کافئین بر بهبود توان بی‌هوازی به صورت مؤثر عمل می‌کند. درخصوص اثرگذاری سیترولین مالات بر توان بی‌هوازی، مطالعات نتایج متناقضی را گزارش کردند؛ به طوری که براساس پژوهش وکس و همکاران، مصرف سیترولین مالات (۸ گرم) موجب افزایش ۹ درصدی عملکرد بی‌هوازی در آزمون وینگیت (۳۰ ثانیه) و کاهش خستگی عضلانی شد. محققان این اثر را به افزایش تولید اکسید نیتریک (از طریق سیترولین) نسبت دادند (۴۳). به‌جز مطالعه حاضر، تاکنون هیچ مطالعه دیگری به طور مستقیم به بررسی تأثیر مصرف دوزهای مختلف کافئین به همراه سیترولین مالات بر توان بی‌هوازی نپرداخته است؛ با این حال، ترکیب این دو مکمل ممکن است به دلیل اثراتی که دارند، به بهبود عملکرد بی‌هوازی کمک کند. کافئین با کاهش خستگی و سیترولین مالات با افزایش رگ‌گشایی و کاهش آسیب عضلانی می‌توانند به طور هم‌زمان به بهبود توان بی‌هوازی کمک کنند.

در تفسیر نتایج مطالعه حاضر باید در نظر گرفت که شرکت‌کنندگان ۲۴ ساعت قبل از آزمون از مصرف کافئین خودداری کردند، اما سابقه مصرف کافئین و سطح تحمل فردی آن‌ها ممکن است بر نتایج تأثیر گذاشته باشد. تأکید می‌شود که یافته‌های این پژوهش به دلیل تفاوت‌های فیزیولوژیک ناشی از سن و جنسیت شرکت‌کنندگان، ممکن است تعمیم‌یافتنی به تمامی افراد نباشد.

با توجه محدودیت‌ها و نتایج پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود، مطالعات بلندمدت با دوره‌های مکمل‌دهی و تمرین به همراه کنترل چرخه قاعدگی و اندازه‌گیری شاخص‌های بیوشیمیایی و عصبی-عضلانی، مکانیسم‌های درگیر در این فرایند را بررسی کنند.

پیام مقاله

براساس نتایج مطالعه حاضر توصیه می¬شود، استفاده از مکمل کافئین به همراه سیترولین مالات و PAP می¬تواند روشی مناسب برای افزایش عملکرد و کاهش دوز مصرفی کافئین باشد؛ هرچند به‌منظور بررسی سهم هریک از این مداخلات در افزایش عملکرد لازم است پژوهش¬های بیشتری انجام شود.

ملاحظات اخلاقی

این پژوهش با رعایت دقیق اصول اخلاقی و پس از دریافت تأییدیه از کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی قزوین (کد: IR.QUMS.REC.1403.033) انجام شد. از تمامی شرکت‌کنندگان رضایت‌نامه آگاهانه کتبی دریافت شد و پیش از ورود به مطالعه، از نظر معیارهای سلامت غربالگری شدند. همچنین تمهیدات لازم برای حفظ محرمانگی داده‌ها و امنیت شرکت‌کنندگان در تمام مراحل پژوهش به کار گرفته شد.

مشارکت نویسندگان

ایده‌پردازی: سیدمرتضی حسینی، زهره اسکندی

جمع‌آوری داده‌ها: شکوفه امامقلی

مرور ادبیات: شکوفه امامقلی

تحلیل داده‌ها: سیدمرتضی حسینی

نگارش مقاله: سیدمرتضی حسینی، شکوفه امامقلی

بازبینی و ویرایش: زهره اسکندری

مدیر پروژه: زهره اسکندی، سیدمرتضی حسینی

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب قدردانی خود را از همه شرکت‌کنندگان در این پژوهش به دلیل همکاری صمیمانه‌شان ابراز می‌دارند. از تمام کارکنان دانشگاه رجا نیز به علت حمایت‌های بی‌دریغشان در طول اجرای این مطالعه تشکر می‌شود. همچنین سپاس ویژه به کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی قزوین به خاطر راهنمایی‌های ارزشمند و تأیید پروتکل این پژوهش تقدیم می‌شود.

منابع

1. Del Coso J, Muñoz G, Muñoz-Guerra J. Prevalence of caffeine use in elite athletes following its removal from the World Anti-Doping Agency list of banned substances. Appl Physiol Nutr Metab. 2011;36(4):555-61. https://doi.org/10.1139/h11-052
2. Lara B, Ruiz-Moreno C, Salinero JJ, Del Coso J. Time course of tolerance to the performance benefits of caffeine. PLoS One. 2019;14(1):e0210275. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210275
3. Liu C, Wang L, Zhang C, Hu Z, Tang J, Xue J, Lu W. Caffeine intake and anxiety: a meta-analysis. Front Psychol. 2024;15:1270246. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1270246
4. Reggiani C. Caffeine as a tool to investigate sarcoplasmic reticulum and intracellular calcium dynamics in human skeletal muscles. Journal of Muscle Research and Cell Motility. 2021;42(2):281-9. https://doi.org/10.1007/s10974-020-09574-7
5. Cappelletti S, Piacentino D, Sani G, Aromatario M. Caffeine: cognitive and physical performance enhancer or psychoactive drug? Curr Neuropharmacol. 2015;13(1):71-88. https://doi.org/10.2174/1570159X13666141210215655
6. Caruso A, Rossi M, Gahn C, Caruso F. A structural and computational study of citrulline in biochemical reactions. Structural Chemistry. 2017;28(5):1581-9. https://doi.org/10.1007/s11224-017-0996-x
7. 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
8. Vårvik FT, Bjørnsen T, Gonzalez AM. Acute effect of citrulline malate on repetition performance during strength training: a systematic review and meta-analysis. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. 2021;31(4):350-8. https://doi.org/10.1123/ijsnem.2020-0295
9. Wu J, Wu Q, Huang J, Chen R, Cai M, Tan J. Effects of L-malate on physical stamina and activities of enzymes related to the malate-aspartate shuttle in liver of mice. Physiological research. 2007;56(2). https://doi.org/10.33549/physiolres.930937

10. Haugen ME, Vårvik FT, Grgic J, Studsrud H, Austheim E, Zimmermann EM, et al. Effect of isolated and combined ingestion of caffeine and citrulline malate on resistance exercise and jumping performance: a randomized double-blind placebo-controlled crossover study. Eur J Nutr. 2023;62(7):2963-75. https://doi.org/10.1007/s00394-023-03212-x

11. Sargeant AJ. Structural and functional determinants of human muscle power. Experimental physiology. 2007;92(2):323-31. https://doi.org/10.1113/expphysiol.2006.034322

12. Zimmermann HB, MacIntosh BR, Dal Pupo J. Does postactivation potentiation (PAP) increase voluntary performance? Applied physiology, nutrition, and metabolism. 2020;45(4):349-56. https://doi.org/10.1139/apnm-2019-0406

13. Vandervoort AA, Quinlan J, McComas AJ. Twitch potentiation after voluntary contraction. Exp Neurol. 1983;81(1):141-52. https://doi.org/10.1016/0014-4886(83)90163-2

14. Blazevich AJ, Babault N. Post-activation potentiation versus post-activation performance enhancement in humans: historical perspective, underlying mechanisms, and current issues. Front Physiol. 2019;10:1359. https://doi.org/10.3389/fphys.2019.0135

15. Witmer CA, Davis SE, Moir GL. The acute effects of back squats on vertical jump performance in men and women. J Sports Sci Med. 2010;9(2):206-13. Available at: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3761744/

16. Tillin NA, Bishop D. Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. Sports Med. 2009;39(2):147-66. https://doi.org/10.2165/00007256-200939020-00004

17. Wang Z, Qiu B, Gao J, Del Coso J. Effects of caffeine intake on endurance running performance and time to exhaustion: a systematic review and meta-analysis. Nutrients. 2022;15(1). https://doi.org/10.3390/nu15010148

18. Ouergui I, Mahdi N, Delleli S, Messaoudi H, Chtourou H, Sahnoun Z, et al. Acute effects of low dose of caffeine ingestion combined with conditioning activity on psychological and physical performances of male and female taekwondo athletes. Nutrients. 2022;14(3). https://doi.org/10.3390/nu14030571

19. Tobin DP, Delahunt E. The acute effect of a plyometric stimulus on jump performance in professional rugby players. J Strength Cond Res. 2014;28(2):367-72. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318299a214

20. Matusiński A, Pietraszewski P, Krzysztofik M, Gołaś A. The effects of resisted post-activation sprint performance enhancement in elite female sprinters. Frontiers in Physiology. 2021;12:651659. https://doi.org/10.3389/fphys.2021.651659

21. Moss SL, McWhannell N, Michalsik LB, Twist C. Anthropometric and physical performance characteristics of top-elite, elite and non-elite youth female team handball players. Journal of Sports Sciences. 2015;33(17):1780-9. https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1012099

22. Burgess K, Holt T, Munro S, Swinton P. Reliability and validity of the Running Anaerobic Sprint Test (RAST) in soccer players. Journal of Trainology. 2016;5(2):24-9. https://doi.org/10.17338/trainology.5.2_24

23. Domaszewski P, Pakosz P, Konieczny M, Bączkowicz D, Sadowska-Krępa E. Caffeine-induced effects on human skeletal muscle contraction time and maximal displacement measured by tensiomyography. Nutrients. 2021;13(3). https://doi.org/10.3390/nu13030815

24. Tarnopolsky M, Cupido C. Caffeine potentiates low frequency skeletal muscle force in habitual and nonhabitual caffeine consumers. J Appl Physiol. 2000;89(5):1719-24. https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.5.1719

25. Bougrine H, Ammar A, Salem A, Trabelsi K, Jahrami H, Chtourou H, Souissi N. Optimizing short-term maximal exercise performance: the superior efficacy of a 6 mg/kg caffeine dose over 3 or 9

mg/kg in young female team-sports athletes. Nutrients. 2024;16(5). https://doi.org/10.3390/nu16050640

26. Fredholm BB, Bättig K, Holmén J, Nehlig A, Zvartau EE. Actions of caffeine in the brain with special reference to factors that contribute to its widespread use. Pharmacol Rev. 1999;51(1):83-133. https://doi.org/10.1016/S0031-6997(24)01396-6

27. Wax B, Kavazis AN, Weldon K, Sperlak J. Effects of supplemental citrulline malate ingestion during repeated bouts of lower-body exercise in advanced weightlifters. J Strength Cond Res. 2015;29(3):786-92. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000670

28. Pérez-Guisado J, Jakeman PM. Citrulline malate enhances athletic anaerobic performance and relieves muscle soreness. J Strength Cond Res. 2010;24(5):1215-22. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cb28e0

29. Impey J, Bahdur K, Kramer M. The mediating effects of caffeine ingestion and post-activation performance enhancement on reactive dive times in goalkeepers. Annals of Applied Sport Science. 2022;10(1). http://dx.doi.org/10.52547/aassjournal.979

30. MacIntosh BR, Bryan SN. Potentiation of shortening and velocity of shortening during repeated isotonic tetanic contractions in mammalian skeletal muscle. Pflügers Archiv. 2002;443:804-12. https://doi.org/10.1007/s00424-001-0746-0

31. Farias-Pereira R, Park CS, Park Y. Mechanisms of action of coffee bioactive components on lipid metabolism. Food Sci Biotechnol. 2019;28(5):1287-96. https://doi.org/10.1007/s10068-019-00662-0

32. Sun R, Sun J, Li J, Li S. Effects of caffeine ingestion on physiological indexes of human neuromuscular fatigue: a systematic review and meta-analysis. Brain Behav. 2022;12(4):e2529. https://doi.org/10.1002/brb3.2529

33. Davis JM, Zhao Z, Stock HS, Mehl KA, Buggy J, Hand GA. Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology. 2003. https://doi.org/10.1152/ajpregu.00386.2002

34. Aguiar AF, Casonatto J. Effects of citrulline malate supplementation on muscle strength in resistance-trained adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. J Diet Suppl. 2022;19(6):772-90. https://doi.org/10.1080/19390211.2021.1939473

35. 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

36. 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). https://doi.org/10.3390/nu14173479

37. Glenn JM, Gray M, Wethington LN, Stone MS, Stewart RW, Jr., Moyen NE. Acute citrulline malate supplementation improves upper- and lower-body submaximal weightlifting exercise performance in resistance-trained females. Eur J Nutr. 2017;56(2):775-84. https://doi.org/10.1007/s00394-015-1124-6

38. Astorino TA, Roberson DW. Efficacy of acute caffeine ingestion for short-term high-intensity exercise performance: a systematic review. J Strength Cond Res. 2010;24(1):257-65. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c1f88a

39. Beedie CJ, Stuart EM, Coleman DA, Foad AJ. Placebo effects of caffeine on cycling performance. Medicine and Science in Sports and Exercise. 2006;38(12):2159. https://doi.org/10.1249/01.mss.0000233805.56315.a9

40. Pérez-Guisado J, Jakeman PM. Citrulline malate enhances athletic anaerobic performance and relieves muscle soreness. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2010;24(5):1215-22. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cb28e0

41. Marinho AH, Silva-Cavalcante MD, Cristina-Souza G, Sousa FAB, Ataide-Silva T, Bertuzzi R, et al. Caffeine, but not creatine, improves anaerobic power without altering anaerobic capacity in healthy men during a wingate anaerobic test. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2024;34(3):137-44. https://doi.org/10.1123/ijsnem.2023-0191

42. Miyagi WE, Bertuzzi RC, Nakamura FY, de Poli RAB, Zagatto AM. Effects of caffeine ingestion on anaerobic capacity in a single supramaximal cycling test. Front Nutr. 2018;5:86. https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00086

43. Wax B, Kavazis AN, Luckett W. 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):269-82. https://doi.org/10.3109/19390211.2015.1008615