Research in Exercise Nutrition
Year 2025, Volume 4, Issue 1, Pages 1-16

Original Article

https://researchinexercisenutrition.com

https://doi.org/10.22034/ren.2025.143096.1077

The effect of citrulline, caffeine and creatine supplementation on anaerobic power and muscular strength of female throwing athletes

Donia Kohnepoushi [1], Hassan Faraji[2] ✉

Received: 2025/02/05 **Accepted: 2025/03/03**

Abstract

Aim: The present study aimed to investigate the combined effect of citrulline, caffeine, and creatine supplementation on muscular strength and power in female athletes.

Method: In this randomized, crossover, double-blind, placebo-controlled quasi-experimental study, 15 female track and field athletes in throwing events (age: 24.40 ± 3.29 years, weight: 71.46 ± 4.76 kg, height: 172.66 ± 4.70 cm, BMI: 24.02 ± 1.13) were placed under seven conditions: baseline, acute citrulline consumption (8 g), acute creatine consumption (20 g), acute caffeine consumption (6 mg per kg of body weight), combined citrulline and caffeine consumption, combined citrulline and creatine consumption, and placebo consumption (maltodextrin). The interval between each condition was one week, and in each condition, the supplements and placebo were consumed 60 minutes before performing the activities (RAST test, squat, and bench press). Data were analyzed using repeated measures analysis of variance (ANOVA).

Results: The results showed that the use of caffeine, citrulline, creatine alone and the combination of supplements (citrulline + caffeine and citrulline + creatine) significantly increased anaerobic power (peak power, average power, minimum power) and upper limb muscle strength (chest press) and lower limb muscle strength (squat) in female track and field athletes working in throwing disciplines ($p<0.05$). However, there was no significant difference between the combined use of supplements (citrulline + caffeine and citrulline + creatine) and the use of supplements alone in any of the measured variables ($p<0.05$).

Conclusion: In general, the results of the present study showed that the use of L-citrulline, caffeine, and creatine supplements alone can affect the anaerobic power and muscular strength of female track and field athletes in throwing disciplines, and the combined use of these supplements did not have an additive effect on the subjects' anaerobic power and muscular strength compared to their use alone

Keywords: Citrulline, caffeine, creatine, anaerobic power, muscular strength.

[1] Department of Physical Education and Sport Sciences, Mari.C., Islamic Azad University, Marivan, Iran.

✉ **Corresponding author:**

faraji.hassan@iau.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.2025.143096.1077

Copyright ©The authors

Citation:

Kohnepoushi D, Faraji H. The effect of citrulline, caffeine and creatine supplementation on anaerobic power and muscular strength of female throwing athletes**. Research in Exercise Nutrition.** 2025;4(1):1-16**.** Doi: https://doi.org/10.22034/ren.2025.143096.1077

https://doi.org/10.22034/ren.2025.143072.1074 Research in Exercise Nutrition 2025; 4(1):1-16

Extended abstract

Problem Statement and Research Significance

Anaerobic power and muscular strength are key determinants of performance in high-intensity sports. Rapid depletion of energy substrates and early fatigue during explosive activities have led athletes to seek ergogenic supplements to enhance performance. Citrulline, caffeine, and creatine are commonly used supplements with potential benefits for anaerobic performance through different physiological mechanisms, including nitric oxide production, central nervous system stimulation, and enhanced ATP resynthesis. However, limited evidence exists regarding the combined effects of these supplements. Therefore, this study aimed to examine the effects of citrulline, caffeine, and creatine supplementation, both individually and in combination, on muscular power and strength in female athletes. Understanding the synergistic or additive effects of these supplements may provide practical insights for optimizing performance during high-intensity and short-duration activities.

Methodology Overview (Research Methods, Study Population, Instruments)

This study adopted a randomized, double-blind, controlled, quasi-experimental design with a pretest–posttest approach. The statistical population consisted of female athletes aged 18–30 years who participated in throwing events in the city. Participants were recruited through announcements in sports clubs, relevant sports federations, and virtual groups. Inclusion criteria included full health status, no use of medications or dietary supplements during the previous six months, at least one year of regular training experience (minimum three sessions per week), and no smoking or substance use .From 21 eligible volunteers, 15 female athletes were randomly selected to participate in the study. After familiarization sessions and obtaining written informed consent, anthropometric measurements and one-repetition maximum strength in the bench press and squat exercises were assessed. Participants completed seven experimental conditions in a within-subject, counterbalanced design: baseline, placebo, creatine, caffeine, citrulline, creatine plus citrulline, and caffeine plus citrulline, with a one-week washout period between sessions .In each session, participants performed the Running-Based Anaerobic Sprint Test (RAST) followed by bench press and squat tests, separated by standardized rest intervals. Anaerobic power indices and maximal strength were recorded and analyzed using repeated-measures statistical procedures.

Key Findings and Results Analysis

Preliminary statistical analyses confirmed that the data were normally distributed and that variance homogeneity assumptions were satisfied, allowing the use of parametric tests. Analysis of peak anaerobic power revealed a significant main effect of supplementation condition ($F(6,84) = 8.74$, $p < 0.0001$, $\eta^2 = 0.384$). Both individual and combined supplementation protocols led to meaningful improvements compared with baseline and placebo conditions. The observed increases following caffeine, creatine, and citrulline intake indicate that each supplement independently enhanced maximal power output. Moreover, the combined conditions also produced significant improvements; however, the magnitude of these changes did not exceed those observed with single-

supplement ingestion, suggesting a lack of additive or synergistic effects. Similarly, mean anaerobic power differed significantly across conditions ($F(6,84) = 8.24$, $p < 0.0001$, $\eta^2 = 0.371$). All supplementation strategies resulted in higher mean power values relative to placebo, reflecting an improved capacity to sustain power throughout repeated high-intensity efforts. This improvement in mean power suggests that supplementation may have attenuated fatigue development during the RAST protocol, thereby supporting more consistent performance across successive sprints. The analysis of minimum anaerobic power demonstrated a significant effect of supplementation ($F(6,84) = 10.44$, $p < 0.0001$, $\eta^2 = 0.427$). Notably, all supplement conditions significantly increased minimum power output compared with placebo, indicating a protective effect against performance decline during the final stages of the test. This finding is particularly relevant, as minimum power is a key indicator of fatigue resistance during repeated sprint activity. Regarding muscular strength, both lower- and upper-body strength showed significant improvements following supplementation. Squat one-repetition maximum displayed a significant main effect ($F(6,84) = 10.44$, $p < 0.0001$, $\eta^2 = 0.427$), while bench press maximal strength also differed significantly among conditions ($F(6,84) = 12.51$, $p < 0.0001$, $\eta^2 = 0.472$). These results suggest that acute supplementation enhanced neuromuscular performance, likely through mechanisms related to increased energy availability and improved neural activation. Importantly, no significant differences were detected between individual supplement conditions and their combined forms across any performance variable ($p > 0.05$). This indicates that although each supplement effectively improved anaerobic power and muscular strength, combining them did not yield superior performance benefits, implying overlapping or non-synergistic physiological mechanisms.

Innovation and Practical Implications

The present study offers novel insights into the acute effects of citrulline, caffeine, and creatine supplementation—both individually and in combination—on anaerobic power and muscular strength in female athletes engaged in throwing events. A key innovation of this research lies in the inclusion of female athletes, a population that remains underrepresented in supplementation studies, particularly in high-intensity and power-based sports. Additionally, the within-subject, randomized, double-blind design allowed for a precise comparison of individual versus combined supplementation strategies under controlled conditions.

From a practical perspective, the findings demonstrate that acute supplementation with citrulline, caffeine, or creatine can effectively enhance anaerobic power and upper- and lower-body strength. However, combining these supplements did not produce additional performance benefits beyond those achieved with single supplementation. This has important implications for athletes and coaches, suggesting that the use of a single, well-chosen supplement may be sufficient to improve performance, thereby reducing unnecessary supplement intake and potential side effects.

These results provide evidence-based guidance for optimizing supplementation strategies in female athletes involved in explosive, high-intensity sports and highlight the importance of individualized and cost-effective nutritional interventions in athletic performance enhancement.

Citation:
Kohnepoushi D, Faraji H. The effect of citrulline, caffeine and creatine supplementation on anaerobic power and muscular strength of female throwing athletes**. Research in Exercise Nutrition.** 2025;4(1):1-16. Doi: https://doi.org/10.22034/ren.2025.143096.1077

Conclusions and Recommendations

The findings of the present study indicate that acute supplementation with citrulline, caffeine, and creatine, whether consumed individually or in combination, significantly enhances anaerobic power and upper- and lower-body muscular strength in female throwing athletes. Improvements were observed in peak, mean, and minimum anaerobic power, as well as maximal strength performance, highlighting the effectiveness of these supplements in supporting high-intensity and explosive athletic activities. Notably, the absence of significant differences between individual and combined supplementation conditions suggests that combining these supplements does not provide additional ergogenic benefits beyond those achieved with single supplementation.

Based on these results, athletes and coaches are encouraged to adopt targeted and individualized supplementation strategies rather than relying on multiple supplement combinations. Selecting a single supplement according to the specific demands of training or competition may be sufficient to enhance performance while minimizing cost and potential side effects. Future research is recommended to examine the chronic effects of these supplements, investigate different dosages and timing strategies, and explore potential sex-specific responses in larger and more diverse athletic populations. Additionally, examining these supplementation effects across various sports disciplines may further clarify their practical applicability and optimize performance-enhancing interventions.

پژوهش در تغذیه ورزشی
سال چهارم، شماره اول، فروردین ۱۴۰۴، صص ۱۶-۱

مقاله پژوهشی

https://doi.org/10.22034/ren.2025.143096.1077

Research in Exercise Nutrition 2025; 4(1):1-16

اثر مکمل سیترولین، کافئین و کراتین بر توان بی هوازی و قدرت عضلانی ورزشکاران پرتابگر زن

دنیا کهنه‌پوشی[۱]، حسن فرجی[۱]✉

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۳

چکیده

هدف: مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر ترکیبی مکمل سیترولین، کافئین و کراتین بر توان و قدرت عضلانی ورزشکاران زن انجام گرفت.

روش شناسی: در این پژوهش نیمه تجربی با طرح تصادفی، متقاطع، دوسوکور و کنترل شده با دارونما ۱۵ زن ورزشکار دوومیدانی کار در رشته های پرتابی (سن: ۳/۲۹±۲۴/۴۰، وزن: ۴/۷۶±۷۱/۴۶، قد: ۴/۷۰±۱۷۲/۶۶، BMI: ۰۲/۱۳±۲۴/۱)، در هفت شرایط پایه، مصرف حاد سیترولین (۸ گرم)، مصرف حاد کراتین (۲۰ گرم)، مصرف حاد کافئین (۶ میلی گرم به ازای هرکیلوگرم وزن بدن)، مصرف ترکیبی سیترولین و کافئین، مصرف ترکیبی سیترولین و کراتین و مصرف دارونما (مالتودکسترین) قرار گرفتند. فاصله بین هر یک از شرایط یک هفته و در هر یک از شرایط مصرف مکمل و دارونما ۶۰ دقیقه قبل از انجام فعالیت ها (آزمون RAST، اسکات و پرس سینه) بود. داده ها با استفاده از آزمون تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر تحلیل شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مصرف به تنهایی کافئین، سیترولین، کراتین و ترکیبی مکمل ها (سیترولین+ کافئین و سیترولین+ کراتین) باعث افزایش معنادار توان بی هوازی (اوج توان، میانگین توان، حداقل توان) و قدرت عضلانی اندام فوقانی (پرس سینه) و قدرت عضلانی اندام تحتانی (اسکات) زنان ورزشکار دوومیدانی کار در رشته های پرتابی گردید ($p<0/05$). اما بین مصرف ترکیبی مکمل ها (سیترولین+ کافئین و سیترولین+ کراتین) و مصرف به تنهایی مکمل ها در هیچکدام از متغیرهای اندازه گیری شده تفاوت معنی داری مشاهده نگردید ($p>0/05$).

نتیجه گیری: به طور کلی نتایج مطالعه حاضر نشان داد که مصرف به تنهایی مکمل های ال سیترولین، کافئین و کراتین می تواند بر توان بی هوازی و قدرت عضلانی ورزشکاران زن دوومیدانی کار رشته های پرتابی اثرگذار باشد و مصرف ترکیبی این مکمل ها در مقایسه با مصرف به تنهایی آنها اثر مضاعفی بر توان بی هوازی و قدرت عضلانی آزمودنی ها ایجاد نکرده است.

واژگان کلیدی: سیترولین، کافئین، کراتین، توان بی هوازی، قدرت عضلانی.

۱- گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد مریوان، دانشگاه آزاد اسلامی، مریوان، ایران.

✉ **نویسنده مسئول:**

faraji.hassan@iau.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.2025.143096.1077

Copyright ©The authors

Citation:
Kohnepoushi D, Faraji H. The effect of citrulline, caffeine and creatine supplementation on anaerobic power and muscular strength of female throwing athletes**. Research in Exercise Nutrition.** 2025;4(1):1-16. Doi: https://doi.org/10.22034/ren.2025.143096.1077

مقدمه

ارزیابی توان هوازی و بی‌هوازی معیار مهمی برای حداکثر عملکرد در ورزش‌های متفاوت می‌باشد. هنگام ارزیابی پارامترهای بی-هوازی در ورزشکاران، چند نوع توان از اهمیت بالایی برخوردار هستند: اوج توان که نشان دهنده حداکثر مقدار توان برای یک انقباض معین است (۱)؛ توان انفجاری (سرعت دستیابی به حداکثر توان در واحد زمان را منعکس می‌کند) و استقامت توان که به توانایی حفظ حداکثر توان تا زمان واماندگی اشاره دارد. این مولفه-های بی‌هوازی ظرفیت انرژی را می‌توان کم و بیش به روش‌های مختلف، دقیقاً با استفاده از آزمایش حداکثر تلاش بدنی، شامل ورزش با شدت بسیار بالا و بین کسری از ثانیه و چند دقیقه، به طور دقیق اندازه‌گیری کرد (۲, ۳). فعالیت‌های ورزشی با شدت-های بالا همانند ورزش‌های پرتابی در دوومیدانی به بیشترین میزان بازسازی آدنوزین تری فسفات وابسته هستند که این بازسازی دوباره از طریق دستگاه‌های فسفاژن و گلیکولیز-گلیکوژنولیز انجام می‌شود (۴). این منابع در طول فعالیت مدام در حال تخلیه و بازسازی مجدد هستند. در چنین فعالیت‌های متناوب با سرعت‌های انفجاری شدید و کوتاه مدت، تخلیه سریع منابع انرژی و افزایش تجمع اسید لاکتیک از جمله عوامل بروز خستگی زودرس و به دنبال آن افت اجرا در طول یک دوره از مسابقات هستند. برای کاهش این افت عملکرد، بسیاری از ورزشکاران از عوامل کمک‌کننده بیشماری مثل تمرینات اختصاصی، تغذیه و مکمل‌های ورزشی استفاده می‌کنند(۵).

سیترولین یک آمینو اسید است که در هندوانه فراوان است و یک پیش ماده درون‌زا قوی آرژنین است. قابل ذکر است، مصرف خوراکی سیترولین غلظت آرژنین خون را در انسان افزایش می-دهد(۶). یابوکی و همکاران[1] (۲۰۱۳) و اوچیایی و همکاران[2] (۲۰۱۲) نشان داده‌اند که مکمل سیترولین چندین اثر مفید بر روی سیستم قلبی عروقی و عملکرد اندوتلیال با افزایش تولید اکسید نیتریک دارد (۷, ۸). مجموعه‌ای از شواهد در حال رشد نیز نشان می‌دهد که مصرف سیترولین در بزرگسالان سالم می تواند عملکرد ورزشی را از طریق تولید اکسید نیتریک افزایش دهد (۹, ۱۰). بنابراین، سیترولین می‌تواند دارای خصوصیات فیزیولوژیکی باشد که به طور موثر سطوح آرژنین و اکسید نیتریک را برای بهبود ظرفیت ورزش تعدیل نماید (۱۱).

کافئین یکی از رایج‌ترین مکمل‌هایی است که در ورزش‌های رقابتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مکانیسم‌های مسئول اثرات ارگوژنیک کافئین با تأثیر بر بافت‌ها، اندام‌ها و سیستم‌های مختلف بدن انسان مرتبط است. در سیستم عصبی مرکزی، کافئین از طریق تعامل با گیرنده‌های آدنوزین عمل می‌کند که بر آزادسازی نورآدرنالین، دوپامین، استیل کولین و سروتونین تأثیر می‌گذارد (۱۲) و در نتیجه، عملکرد عضلانی را افزایش می‌دهد (۱۳). افزایش فعال شدن عضلات می‌تواند منجر به افزایش مصرف انرژی در طول ورزش شود، بنابراین منجر به کاهش سریعتر سوبستراهای انرژی در سلول‌های عضلانی می‌شود (۱۴). اثرات حاد کافئین بر افزایش عملکرد بدن گزارش شده است (۱۵-۱۸). علاوه بر این، کراتین از دیگر مکمل‌هایی است که از مدت‌ها پیش مورد توجه ورزشکاران و مربیان بوده است. کراتین، یک پروتیئن غیرضروری است که هم در داخل بدن سنتز می‌شود (در کبد، کلیه و پانکراس از طریق برخی اسیدهای آمینه از قبیل آرژنین، گلیسین و متیونین، کراتین ساخته می‌شود)، هم از طریق مواد غذایی از قبیل گوشت قرمز و ماهی وارد بدن می‌گردد، افزایش کراتین ذخیره شده منجر به افزایش توانایی بازسازی فسفوکراتین شده و امکان سنتز آدنوزین تری فسفات در طول فعالیت شدید بی‌هوازی را فراهم می‌کند و از این طریق منافع زیادی را در فعالیت‌های کوتاه مدت و شدید فراهم می‌سازد. مطالعاتی در مورد مصرف کوتاه مدت مکمل کراتین بر عملکرد ورزشی انجام شده است که بیشتر مطالعات اثرات مثبتی به دنبال مصرف مکمل کراتین بر عملکرد ورزشی را گزارش کرده‌اند (۱۹). البته برخی مطالعات دیگر پس از مصرف این مکمل افزایشی در توان ورزشی ورزشکاران مشاهده نکرده‌اند (۲۰).

با توجه به آثار مشابه این مکمل‌ها، سوالی که پیش می‌آید این است که آیا ترکیبی از این مکمل‌ها نیز می‌تواند باعث بهبود بیشتر کارایی ورزشکاران گردد. بنابراین در مطالعه حاضر مصرف مکمل-ها (سیترولین، کافئین، کراتین) به تنهایی و به صورت ترکیب ال-سیترولین با کراتین و ال- سیترولین با کافئین بر توان و قدرت عضلانی ورزشکاران زن بررسی شد.

روش‌شناسی

1 - Yabuki et al

2 - Ochiai et al

مطالعه ما از نوع نیمه تجربی، کنترل شده با طرح پیش آزمون- پس آزمون، تصادفی و دوسوکور بود. جامعه آماری تحقیق حاضر کلیه ورزشکاران زن رشته های پرتابی شهر (۱۸ تا ۳۰ سال) بودند. شرکت کنندگان در مطالعه حاضر از طریق اطلاع رسانی در باشگاه های ورزشی شهر، هیئت های مربوطه و گروه های مجازی انتخاب شدند و با توجه به معیارهای ورود شامل داشتن سلامتی کامل، دارا بودن حداقل سن ۱۸ و حداکثر ۳۰ سال، استفاده نکردن از هرگونه دارو و مکمل های غذایی در ۶ ماه گذشته، داشتن سابقه حداقل یکسال تمرین منظم (با دست کم سه جلسه تمرین در هفته) و عدم مصرف دخانیات یا دارو و مکمل، تایید شدند. از میان ۲۱ داوطلب واجد شرایط، نمونه آماری شامل ۱۵ ورزشکار زن (سن: ۲۹/۳±۴۰/۲۴، وزن: ۷۶/۴±۴۶/۷۱، قد: ۷۰/۴±۶۶/۱۷۲، BMI: ۱۳/۰۲±۱/۲۴) رشته های پرتابی بصورت تصادفی ساده برای شرکت در مطالعه حاضر انتخاب شدند. پس از برگزاری جلسات آشناسازی و ارائه توضیحات کامل درباره روند اجرای مطالعه و اخذ رضایت نامه کتبی، اندازه گیری های فیزیولوژیکی (قد، وزن، درصد چربی) و عملکردی یک تکرار بیشینه با فرمول برزیسکی[1] در ایستگاه های پرس سینه و اسکات اندازه گیری شد. آزمودنی ها در یک طرح درون گروهی با همترازسازی متقابل آزمون فعالیت مقاومتی در هفت وضعیت پایه، مصرف دارونما، کراتین، کافئین، ال سیترولین، ترکیب کراتین+ ال سیترولین و ترکیب کافئین+سیترولین قرار گرفتند. آزمودنی ها در هر جلسه آزمون توان بی هوازی RAST[2]، پرس سینه و اسکات را با فاصله ۱۰ دقیقه از هم انجام دادند. پروتکل آزمون RAST شامل ۶ مرحله ۳۵ متر دویدن با حداکثر سرعت با ۱۰ ثانیه استراحت بین هر مرحله بود. برای اجرای آزمون RAST، ابتدا آزمودنی ها به مدت ۱۰ دقیقه بدن خود را گرم نمودند. مدت زمان اجرای آزمون RAST در هر مرحله، بر حسب ثانیه و صدم ثانیه، به فاصله ۳۵ متر در سالن ورزشی ثبت شد. آزمودنی از خط استارت شروع به حرکت کرد و با عبور وی از خط پایان، زمان سنج متوقف شد. پس از گذشت ۱۰ ثانیه آزمودنی دور دوم دویدن را شروع می کردند. هر یک از آزمودنی ها، مسافت ۳۵ متری را شش بار، با سرعت تمام طی نمودند و زمان مربوط به هر مرحله ثبت شد. سه داور برای ثبت رکوردها حضور داشتند. توان بیشینه یا اوج توان فرد با استفاده از بیشترین مقدار عددی حاصل از اجرای آزمونRAST ، بر حسب وات، به دست آمد. برای این کار از رابطهٔ نسبت مربع مسافت طی شده بر مکعب زمان سپری شده برای طی کردن مسافت ۳۵ متر استفاده شد. توان حداقل، کمترین مقدار عددی حاصل از اجرای آزمون RAST، بر حسب وات، با استفاده از رابطه وزن ضرب در نسبت مربع مسافت طی شده بر مکعب زمان سپری شده در مسافت ۳۵ متر بود. مجموع هر یک از توان های به دست آمده در هر یک از مراحل تقسیم بر عدد ۶ نشان دهندهٔ میانگین توان فرد مورد بررسی بود. برای اندازه گیری قدرت بیشینه در پرس سینه و اسکات از آزمون حداکثر قدرت بیشینه استفاده گردید. ترتیب جلسات بر اساس نتایج همترازی متقابل به صورتی بود که در جلسه اول فعالیت با وضعیت پایه، جلسه دوم ترکیب کافئین+ ال سیترولین، جلسه سوم دارونما (مالتودکسترین)، جلسه چهارم ال سیترولین (۸ گرم) (۲۱) ، جلسه پنجم کراتین+ ال سیترولین، جلسه ششم کافئین (۶ میلی گرم به ازای هرکیلوگرم وزن بدن) (۲۲) و جلسه هفتم کراتین (۲۰ گرم) (۲۳) اجرا شد. فاصله بین هر یک از شرایط یک هفته بود. در هر یک از شرایط، مصرف مکمل یا دارونما ۶۰ دقیقه قبل از انجام فعالیت‌ها بود. مکمل ال- سیترولین مورد استفاده، محصول شرکت شوجی- میتسوبیشی ساخت کشور ژاپن بود که از مرکز پویان طب تهیه گردید. مکمل کراتین ساخت کشور کانادا (Creavit. VITAP Nutrition. Canada) و مورد تایید وزارت بهداشت از شرکت ویتاپ به صورت پودر تهیه گردید. کافئین نیز محصول شرکت گالوانیزه۳ ساخت مجارستان بود.

روش آماری

توزیع طبیعی داده ها و تجانس واریانس ها با استفاده از آزمون شاپیرووویلک و لون بررسی شد. آزمون تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر و آزمون تعقیبی بنفرونی جهت تحلیل داده ها استفاده شد. داده ها با نرم افزار SPSS22 در سطح آماری $p < ۰/۰۵$ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها

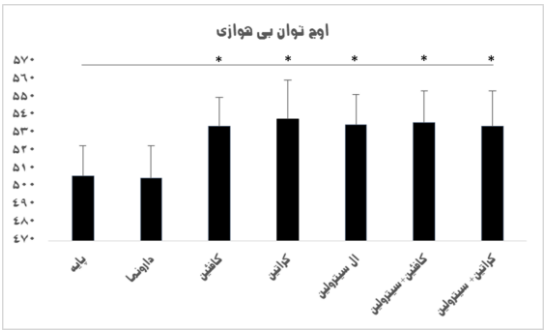
داده ها دارای توزیع طبیعی با واریانس های همسان بودند. نتایج آماری در خصوص متغیرهای مطالعه در نمودارهای شماره ۱ تا ۵ نشان داده شده است. اوج توان بی‌هوازی: نتایج نشان داد که بین مصرف تنهایی و ترکیبی از مصرف مکمل‌های سیترولین، کافئین

[1] . ((۰۲۷۸ /۰ × تعداد تکرار تا خستگی) - ۱/۰۲۷۸) / وزنهٔ جا به جا شده (کیلوگرم)= یک تکرار بیشینه

[2] . Running-Based Anaerobic Sprint Test

[3]. GALVANIZE

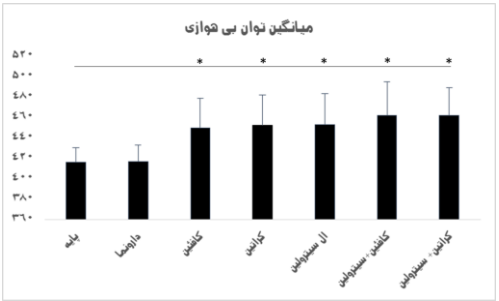
و کراتین با شرایط پایه و دارونما بر اوج توان بی‌هوازی ورزشکاران زن تفاوت معنی‌داری وجود دارد (sig=۰/۰۰۰۱، η2=۰/۳۸۴، $F_{۸۴،۶}$=۸/۷۴). نتایج آزمون بنفرونی نشان داد که در شرایط مصرف مکمل کافئین (p= ۰/۰۲۱)، کراتین (p= ۰/۰۱۲)، ال سیترولین (p= ۰/۰۱)، مصرف همزمان ال سیترولین و کافئین (p= ۰/۰۰۹) و مصرف همزمان ال سیترولین و کراتین (p= ۰/۰۰۲) در مقایسه با شرایط دارونما باعث بهبود معنی‌دار اوج توان بی‌هوازی شرکت‌کنندگان گردیده است (نمودار ۱).



نمودار ۱. مقادیر اوج توان بی‌هوازی

* تفاوت معنادار با وضعیت دارونما و پایه (p<۰/۰۵)

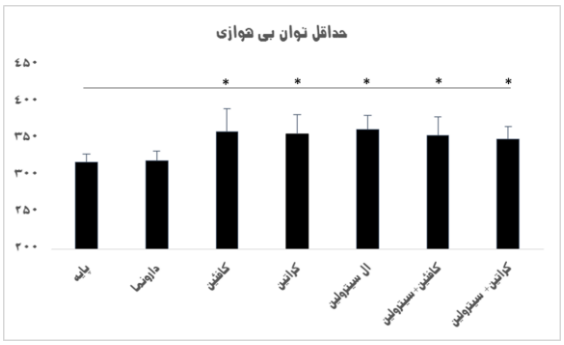
میانگین توان بی‌هوازی: بین مصرف تنهایی و ترکیبی از مصرف مکمل های سیترولین، کافئین و کراتین با شرایط پایه و دارونما بر میانگین توان بی هوازی ورزشکاران زن تفاوت معنی داری وجود داشت (sig=۰/۰۰۰۱، η2=۰/۳۷۱، $F_{۸۴،۶}$=۸/۲۴). شرایط مصرف کافئین (p= ۰/۰۰۵)، مصرف کراتین (p= ۰/۰۰۸)، مصرف ال سیترولین (p= ۰/۰۰۸)، مصرف همزمان ال سیترولین و کافئین (p= ۰/۰۰۶) و مصرف همزمان ال سیترولین و کراتین (p= ۰/۰۰۱) در مقایسه با شرایط دارونما باعث بهبود معنی‌دار میانگین توان بی‌هوازی شرکت‌کنندگان گردیده است.



نمودار ۲. مقادیر میانگین توان بی‌هوازی

* تفاوت معنادار با وضعیت دارونما و پایه (p<۰/۰۵)

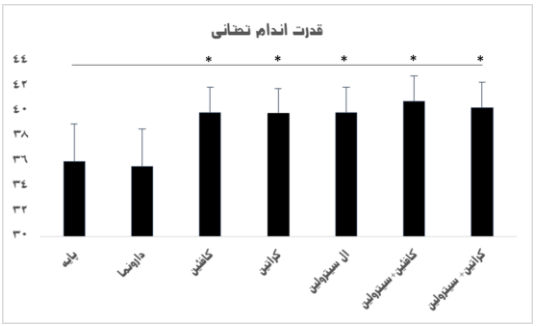
حداقل توان بی هوازی: بین مصرف تنهایی و ترکیبی از مصرف مکمل های سیترولین، کافئین و کراتین با شرایط پایه و دارونما بر قدرت اندام تحتانی ورزشکاران زن تفاوت معنی داری وجود داشت (sig=۰/۰۰۰۱، η2=۰/۴۲۷، $F_{۸۴،۶}$=۱۰/۴۴). شرایط مصرف کافئین (p= ۰/۰۳)، با اختلاف میانگین ۳۹/۴۶)، مصرف کراتین (P= ۰/۰۰۴، با اختلاف میانگین ۳۶/۶۶)، مصرف ال سیترولین (P= ۰/۰۰۱، با اختلاف میانگین ۴۲/۶۰)، مصرف همزمان ال سیترولین و کافئین (p= ۰/۰۰۴، با اختلاف میانگین ۳۴/۳۰) و مصرف همزمان ال سیترولین و کراتین (p= ۰/۰۰۱، با اختلاف میانگین ۲۹/۰۶) در مقایسه با شرایط دارونما باعث بهبود معنی‌دار حداقل توان بی‌هوازی شرکت‌کنندگان گردیده است (نمودار ۳).



نمودار ۳. مقادیر حداقل توان بی‌هوازی

* تفاوت معنادار با وضعیت دارونما و پایه (p<۰/۰۵)

قدرت اندام تحتانی : بین مصرف تنهایی و ترکیبی از مصرف مکمل های سیترولین، کافئین و کراتین با شرایط پایه و دارونما بر قدرت اندام تحتانی ورزشکاران زن تفاوت معنی داری وجود داشت (sig=۰/۰۰۰۱، η2=۰/۴۲۷، $F_{۸۴،۶}$=۱۰/۴۴). شرایط مصرف مکمل کافئین (p= ۰/۰۰۵)، مصرف مکمل کراتین (p= ۰/۰۱۱)، مصرف مکمل ال سیترولین (p= ۰/۰۰۲)، مصرف همزمان مکمل ال سیترولین و کافئین (p= ۰/۰۰۴) و مصرف همزمان مکمل ال سیترولین و کراتین (p= ۰/۰۱۷) در مقایسه با شرایط دارونما باعث بهبود معنی‌دار قدرت اندام تحتانی شرکت‌کنندگان گردیده است. (نمودار ۴).

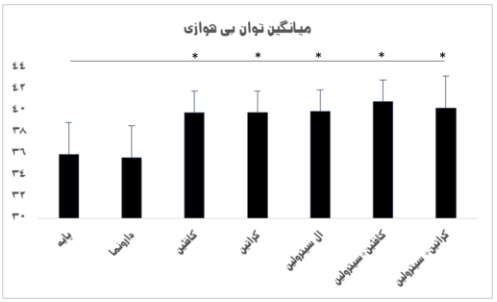


نمودار ۴. مقادیر قدرت اندام تحتانی

* تفاوت معنادار با وضعیت دارونما و پایه (p<۰/۰۵)

قدرت اندام فوقانی : بین مصرف تنهایی و ترکیبی از مصرف مکمل های سیترولین، کافئین و کراتین با شرایط پایه و دارونما بر قدرت اندام فوقانی ورزشکاران زن تفاوت معنی داری وجود داشت ($F_{۸۴۶}$=۱۲/۵۱ ،sig=۰/۰۰۰۱، η2=۰/۴۷۲). نتایج آزمون بنفرونی نشان داد که شرایط مصرف کافئین (p= ۰/۰۳۷)، مصرف کراتین (p= ۰/۰۱۸)، مصرف ال سیترولین (p= ۰/۰۱۴)، مصرف همزمان ال سیترولین و کافئین (p= ۰/۰۰۱) و مصرف همزمان ال سیترولین و کراتین (p= ۰/۰۱۱) در مقایسه با شرایط دارونما باعث بهبود معنی‌دار قدرت اندام فوقانی شرکت‌کنندگان گردیده است (نمودار ۵).

بین شرایط مصرف به تنهایی مکمل‌های کراتین، کافئین و ال سیترولین و مصرف ترکیبی آنها در هیچکدام از متغیرهای توان بی هوازی و قدرت اندام فوقانی و تحتانی ورزشکاران زن تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (p>۰/۰۵).



نمودار ۵. مقادیر قدرت اندام فوقانی

* تفاوت معنادار با وضعیت دارونما و پایه (p<۰/۰۵)

بحث

نتایج کلی مطالعه حاضر نشان داد که مصرف حاد مکمل ال سیترولین، کافئین، کراتین و ترکیبی آنها بر توان بی‌هوازی و قدرت اندام فوقانی و تحتانی ورزشکاران زن همراه بوده است و تفاوت معناداری بین اثرگذاری تنهایی با ترکیبی آنها مشاهده نشد.

در مطالعه حاضر ال سیترولین باعث افزایش توان بی هوازی و قدرت اندام فوقانی و تحتانی ورزشکاران زن گردید. با این حال، همه مطالعات در مورد مزایای این مکمل توافق ندارند. برخی مطالعات نشان داده‌اند که یک بار مصرف خوراکی ال سیترولین عملکرد ورزشی را بهبود نمی‌بخشد (۲۴, ۲۵). اما مقایسه اثرات ۳ و ۹ گرم ال–سیترولین با دارونما در آزمون پیشرونده روی تردمیل در مردان و زنان فعال بدنی نشان داد زمان تا واماندگی تردمیل پس از مصرف سیترولین به طور قابل توجهی کمتر بود (۲۴). کاترفلو و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر مکمل–های ال–سیترولین و آب هندوانه بر عملکرد ورزش‌های بی هوازی و هوازی پرداختند. نتایج نشان داد که مصرف ال سیترولین و آب هندوانه هیچ تاثیر معنی‌داری بر تعداد کل تکرارها، زمان خستگی، VO_2max، آستانه بی‌هوازی یا گشاد شدن عروق با واسطه جریان وجود نداشتند(۲۵). اما دیگر مطالعات نشان داده‌اند که ۶–۷ روز مکمل ال سیترولین باعث بهبود عملکرد ورزشی می‌شود(۹, ۱۰). در این مورد، بیلی و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه–ای به بررسی این موضوع پرداختند که مصرف مکمل ال–سیترولین اکسیژن مصرفی و عملکرد تمرین تناوبی شدید را بهبود می‌بخشد(۹). نتایج مطالعه نشان داد که مصرف کوتاه مدت مکمل ال– سیترولین اما نه ال– آرژنین، می‌تواند فشار خون، سینتیک $\dot{V}O_2$ و عملکرد ورزشی را در بزرگسالان سالم بهبود بخشد. همچنین، سوزوکی و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که مکمل ال–سیترولین به طور قابل توجهی سطح ال– آرژنین پلاسما را افزایش داد و زمان اتمام را در مقایسه با دارونما ۱/۵ درصد کاهش داد(۱۰). بر خلاف مطالعه حاضر، کانیف و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تأثیر مکمل سازی کوتاه مدت سیترولین بر عملکرد فعالیت دوچرخه سواری با شدت بالا پرداخته و گزارش کرده‌اند که ۱۲ گرم مکمل سازی سیترولین به صورت تک وهله‌ای، تأثیری بر برون ده توانی مردان تمرین کرده ندارد(۲۶). یکی از دلایل ناهمسویی این نتایج با مطالعه حاضر، احتمالا ناشی از میزان آمادگی آزمودنی‌ها است؛ به طوری که سرعت پیشرفت ورزشکارانی که آمادگی پایین‌تری دارند، بیشتر از افراد تمرین کرده است. همچنین، امیرساسان و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند که

یک هفته مکمل‌سازی ال- سیترولین بر توان بی‌هوازی کشتی‌گیران تاثیر معنی‌داری ندارد (۲۷). احتمالاً از دلایل ناهمخوانی می‌تواند نوع آزمون استفاده شده برای سنجش توان بی‌هوازی باشد چون در مطالعه امیرساسان و همکاران (۱۳۹۹) از آزمون شبیه‌سازی شده کشتی استفاده کردند. در کل، با توجه به محدود بودن تحقیقات در مورد اثر مکمل سازی سیترولین بر توان هوازی، بی هوازی و قدرت عضلانی؛ دستیابی به یک نتیجه‌گیری قطعی دشوار بوده و نیاز به تحقیقات بیشتری دارد. به طور کلی، برخلاف ال- آرژنین، ال-سیترولین در متابولیسم کبدی درگیر نشده و توسط آنزیم‌های آرژیناز تخریب نمی‌شود. این جنبهٔ منحصر به فرد سیترولین ممکن است آن را به روش مؤثرتری در افزایش اکسید نیتریک نسبت به ال – آرژنین تبدیل کند(۲۴). توجه به این نکته حائز اهمیت است که سیترولین نه تنها با جلوگیری از کاتابولیسم آرژنین در محور روده‌ای- کلیوی، مقدار سیستمیک آرژنین را افزایش می‌دهد، بلکه با توجه به اینکه سیترولین می‌تواند به عنوان مهار کنندهٔ آلوستریک آرژیناز عمل کند، ممکن است دسترسی زیستی آرژنین را نیز افزایش دهد(۲۸). با توجه به شواهدی که نشان دهندهٔ تعدیل تأثیرات ال سیترولین در بافت چربی موش‌ها به وسیلهٔ اکسید نیتریک است، این امکان وجود دارد که ال سیترولین بتواند میزان آرژنین را در سطح کافی بازگرداند و تأثیرات مثبت آن را از طریق اکسید نیتریک در افراد مسن تعدیل کند. همچنین، سیترولین می‌تواند از طریق پاکسازی نیتروژن (آمونیوم) در کبد، به کاهش لاکتات تولیدی و افزایش اوره تولیدی بینجامد. افزایش غلظت آمونیوم با افزایش گلیکولیز بی‌هوازی و در نتیجه، افزایش اسید لاکتیک و خستگی عضلانی همراه است. از این رو، مکمل‌یاری با سیترولین می‌تواند با افزایش پاکسازی آمونیاک تولید شده در چرخه اوره، به کاهش تجمع آمونیوم و به دنبال آن، کاهش اتکاء به سوخت و ساز بی‌هوازی (به ویژه گلیکولیز) و بالطبع، کاهش تولید و تجمع لاکتات و اوره منجر شود(۱۸). علاوه بر این، مالات (یا اسید مالیک) به عنوان یک میانجی چرخه کربس و شاتل لاکتات می‌تواند با افزایش سوخت و ساز هوازی و افزایش برداشت لاکتات، باعث کاهش تولید و تجمع لاکتات و به دنبال آن، افزایش توان بی‌هوازی و کاهش خستگی عضلانی شود(۲۵).

نتایج دیگر مطالعه حاضر این بود که مصرف حاد کافئین بر توان بی‌هوازی و قدرت اندام فوقانی و تحتانی ورزشکاران زن رشته‌های پرتابی دوومیدانی تاثیر معنی‌داری دارد و باعث افزایش توان هوازی، توان بی‌هوازی و قدرت اندام فوقانی و تحتانی ورزشکاران زن گردید. در تحقیقی همخوان، فیلیپ- استنانک و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای نشان دادند که یک دوز حاد کافئین قبل از تمرین مقاومتی، میانگین برونداد توان و متوسط سرعت بار را در طول پروتکل تمرین نیمکت پرس چند مرحله‌ای در بین مصرف‌کنندگان خفیف کافئین افزایش می‌دهد(۲۹). همچنین، ستین و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که ۵ میلی‌گرم کافئین ۶۰ دقیقه قبل از فعالیت، باعث بهبود عملکرد کراس فیت (بارفیکس، شنا و اسکات) می‌گردد(۳۰). علاوه بر این، میلگو- آیسو و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای مروری نشان دادند مکمل کافئین یک مزیت ارگوژنیک مشابه برای عملکرد هوازی و شاخص خستگی در مردان و زنان ورزشکار ایجاد می‌کند(۳۱). با این وجود، اثرات کافئین با وجود مصرف کافئین یکسان برای تولید قدرت و توان بیشتر، افزایش وزن کلی و بهبود عملکرد دویدن با توجه به دارونما در مردان بیشتر از زنان ورزشکار بود. بنابراین، اثر ارگوژنیک مصرف حاد کافئین بر عملکرد بی‌هوازی ممکن است در مردان بیشتر از زنان باشد. اما نتایج تحقیق حاضر با نتایج مطالعات واران و همکاران (۲۰۱۰) و فریرا و همکاران (۲۰۲۱) ناهمخوان می‌باشد(۳۲, ۳۳). در این مورد واران و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای به بررسی تاثیر حاد مکمل کافئین بر قدرت عضلانی و استقامت عضلانی پرداختند. نتایج نشان داد که مصرف حاد مکمل کافئین به طور قابل توجهی قدرت عضلانی یا استقامت عضلانی را بهبود نمی‌بخشد(۳۲). در این مورد یافته‌های ناهمخوان ممکن است به دلیل محدودیت‌های طراحی مطالعات باشد که تأثیر کافئین بر عملکرد ورزش قطعی نباشد. برای به حداکثر رساندن تفسیر نتایج، مطالعات باید جمع‌آوری و یکپارچه‌سازی داده‌ها در مورد فارماکولوژی کافئین (به عنوان مثال، دوز و مدت زمان مصرف) و پاسخ‌های فیزیولوژیکی بررسی گردد. با توجه به اینکه آزمودنی‌های مطالعه حاضر دومیدانی‌کار بودند و نتایج تحقیقات واران و همکاران (۲۰۱۰) و فریرا و همکاران (۲۰۲۱) بر آزمودنی‌های تمرین کرده تمرین مقاومتی بود(۳۲, ۳۳)، احتمالا می‌توان با توجه به نوع رشته ورزشی این یافته ناهمخوان را توجیه نمود. با توجه به اینکه کافئین آثار نیروزایی خود را از طریق کاهش زمان واکنش، تاخیر خستگی، افزایش تمرکز و هوشیاری، افزایش فراخوانی اسیدهای چرب، افزایش رهایی کلسیم از شبکهٔ سارکوپلاسمیک و بهبود انقباض‌پذیری عضلهٔ اسکلتی، افزایش ترشح کاتکولامین‌ها، افزایش تولید نیرو از طریق افزایش انتقال عصبی عضلانی و بهبود

تولید حداکثر فعالیت عضله و کاهش درک اجرا اعمال می‌کند. با این حال، پیشنهاد شده است که سازوکار اصلی احتمالی اثرگذاری کافئین در فعالیت‌های کوتاه مدت و شدید، عمل کافئین به عنوان آنتاگونیسم رقابتی گیرنده‌های آدنوزین باشد. کافئین با اتصال به گیرنده‌های آدنوزین در CNS موجب به خدمت گرفتن واحدهای حرکتی بیشتری می‌شود و تخلیهٔ عصبی نیز افزایش می‌یابد که هر دو مورد انقباض ارادی و نیروی تولیدی را افزایش می‌دهند. شایان ذکر است که برای اثرگذاری کافئین از طریق این سازوکار به مقادیر بیشتر از مقادیر فیزیولوژیک نیاز نیست، برای مثال نوشیدن دو فنجان قهوه می‌تواند این تأثیرات را به همراه داشته باشد. همچنین کافئین می‌تواند از طریق تغییر در درک فشار تمرین، زمان واکنش یا وضعیت روانی فرد (افزایش هوشیاری و سرحالی)، موجب افزایش عملکرد شود(۳۴). درمجموع به نظر می‌رسد ترکیبی از عوامل ذکر شده می‌توانند آثار نیروافزایی کافئین را بر عملکرد ورزشی در فعالیت‌های کوتاه مدت و شدید، مانند فعالیت-های مورد استفاده در تحقیق حاضر توضیح دهند، هرچند احتمالا نقش کافئین به عنوان آنتاگونیسم رقابتی گیرنده‌های آدنوزین در CNSپررنگتر از دیگر عوامل است. علاوه بر این، اعتقاد بر این است که مکانیسم اصلی عملکرد کافئین به همان شکل آنتاگونیست گیرنده آدنوزین، به طور خاص در گیرنده های A1 و A2A که در مناطق مختلف مغز بیان می‌شود، عمل می‌کند. به طور خاص، به نظر می‌رسد گیرنده‌های آدنوزینA1 قبل از سیناپسی در هیپوکامپ، قشر مخ و مخچه توزیع می‌شوند. در مقابل، به نظر می‌رسد گیرنده‌های آدنوزینA2A به طور محدود پس از سیناپسی در جسم مخطط بیان می‌شوند(۳۵). تصور می شود توانایی کافئین در جلوگیری از گیرنده‌های آدنوزین از خستگی جلوگیری کرده و متعاقباً باعث افزایش عملکرد حرکتی در نتیجه افزایش انتقال عصبی دوپامینرژیک می‌شود. انتقال عصبی دوپامینرژیک برای جلوگیری از مسیر غیر مستقیم استریاتو Gpe عمل می‌کند، بنابراین فعالیت حرکتی را تقویت می‌کند(۳۶). با مکانیسم پیشنهادی کافئین برای به تأخیر انداختن خستگی و افزایش عملکرد حرکتی است که ممکن است به عنوان یک کمک ارگوژنیک برای افزایش عملکرد تمرین مقاومتی عمل کند. نکته قابل توجه در این تحقیق این است که حداقل توان در شرایط مصرف کافئین افزایش یافته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مصرف کافئین در حین انجام آزمون RAST، در حفظ برون‌ده توان تا لحظات پایانی کار موثر بوده است. در حالیکه در این زمینه مصرف دارونما موثر نبوده است. مکانیسم پیشنهادی برای توضیح آثار کافئین در افزایش حداقل توان و میانگین توان از طریق تحریک سیستم اعصاب مرکزی مسدود کردن رسپتور رقابتی آدنوزین است. آدنوزین نوکلئوتیدی است که رهایش نوروترانسمیترها را مهار می‌کند. به نظر می‌رسد کافئین با آدنوزین برای اتصال به گیرنده‌های آدنوزینی حساس به گزانتین رقابت می‌کند. بنابراین، هنگامیکه کافئین گیرنده‌های آدنوزینی A1 و A2 را بلوکه می‌کند بازسازی نوروترانسمیترها افزایش می‌یابد. در نتیجه کافئین ممکن است سبب افزایش رهاسازی استیل‌کولینی شود که انتقال عصبی عضلانی را از طریق شکاف سیناپسی تسهیل می‌سازد(۳۷). ظاهرا کافئین کمیت رهایش نروترانسمیترها را در پاسخ به محرک افزایش می‌دهد و این کار با بلوکه کردن گیرنده‌های آدنوزینی A1 و A2 صورت می‌گیرد در حالیکه سرعت انتقال توسط کافیین تحت‌تاثیر قرار نمی‌گیرد. توجیه احتمالی دیگر برای بهبود حداقل توان و میانگین توان می‌تواند افزایش فعالیت Na-K ATPase در بافت عضلانی باشد. نشان داده شده پاراگزانتین، یکی از متابولیت‌های کافئین است، فعالیت Na-K ATPase را افزایش می‌دهد(۳۸). از سوی دیگر، نشان داده شده که کافئین رهایش کلسیم را از جایگاه ذخیره خود در شبکه سارکوپلاسمیک تحریک می‌کند. بعضی از محققین عقیده دارند که کافئین بجای تحریک رهایش کلسیم سبب سرکوبی بازجذب کلسیم به شبکه سارکوپلاسمیک می‌گردد و از این طریق انقباض عضلانی را تسهیل می‌کند(۳۹). محققین دیگر اعتقاد دارند که اثر کافئین بر روی بافت عضلانی احتمالاً به آزادسازی سریع یون‌های کلسیم از شبکه سارکوپلاسمیک داخل عضله، کاهش میزان برداشت یون کلسیم و افزایش در نفوذپذیری سارکولم به یون کلسیم، از دست دادن یکپارچگی غشاء در اثر اتساع سریع توبول-های شبکه سارکوپلاسمیک و افزایش سطوح AMP حلقوی داخل سلولی مربوط می‌شود. این احتمال نیز وجود دارد که کافئین بر پردازش تحریکاتی که از محیط به سیستم عصبی مرکزی وارد می‌شوند، تاثیر بگذارد؛ مانند کاهش آگاهی احساسات مربوط به خستگی عضله. حداقل قسمتی از این آثار موضعی را می‌توان با افزایش غلظت کلسیم در سلول‌های عضلانی، یا کاهش از دست دادن پتاسیم از سلول‌ها، هنگام فرآیند انقباضات مکرر توجیه کرد. تمام این آثار احتمالا می‌تواند خستگی عضلانی را به تاخیر انداخته و سبب بهبود حداقل توان و میانگین توان در آزمودنی‌ها گردد.

داده های مطالعه ما نشان داد که مصرف حاد کراتین نیز باعث افزایش توان بی‌هوازی و قدرت اندام فوقانی و تحتانی ورزشکاران زن گردید. در این مورد، با افزایش ذخایر PCR عضلانی از طریق مصرف مکمل کراتین، حتی گاهی پس از دوره های نسبتاً کوتاه مکمل کراتین (۰-۱۴ روز)، بهبودهای بعدی ۵ تا ۱۵ درصد در پارامترهای مختلف عملکرد معمولاً گزارش می‌شود(۲۰, ۴۰). مصرف حاد کراتین غلظت PCr را در سلول های عضلانی به میزان قابل توجهی افزایش می دهد. این افزایش امکان بازسازی سریع ATP را در طول دوره‌های کوتاه فعالیت‌های با شدت بالا، مانند دوی سرعت یا بلند کردن اجسام سنگین فراهم می‌کند (۴۱). در دسترس بودن ATP مستقیماً با افزایش توان خروجی و قدرت در طول عملکرد بی هوازی ارتباط دارد[۱][۲]. نشان داده شده است که دوزهای حاد کراتین (به عنوان مثال ۰.۳ گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن) عملکرد را حتی بدون تجربه قبلی تمرین مقاومتی بهبود می بخشد. این نشان می‌دهد که فواید کراتین را می‌توان هم در افراد تمرین کرده و هم در افراد تمرین نکرده در مدت کوتاهی پس از مصرف مشاهده کرد (۴۲). مطالعه ای توسط لاو و همکاران (۲۰۰۹) پیشرفت‌های قابل توجهی در میانگین قدرت بی‌هوازی در طول آزمایش وینگیت و قدرت اسکوات پشت بدن پس از پروتکل مکمل کراتین ۵ روزه همراه با یک برنامه تمرین مقاومتی گزارش شده است(۴۳). همچنین، واکس و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای مروری نشان دادند که مکمل کراتین فوایدی را در دو سرعت‌های تکراری ایجاد می‌کند و ممکن است چابکی و عملکرد پرش را افزایش دهد(۴۱). البته برخی مطالعات دیگر پس از مصرف این مکمل افزایشی در توان ورزشی ورزشکاران مشاهده نکرده‌اند(۲۰). از دلایل ناهمخوانی می‌توان به جنسیت نمونه‌ها و نوع ورزش آزمودنی‌ها اشاره نمود. اما به طور کلی ویلیامز و همکاران (۱۹۹۹) عنوان کردند که مکمل کراتین ممکن است یک کمک نیروزا در اجرای عملکرد برای چندین دلیل باشد(۴۴): ۱) مکمل کراتین فراهمی فسفوکراتین را افزایش می‌دهد. یک غلظت ابتدایی بالاتر فسفوکراتین عضله ممکن است به حفظ انقباضات عضله کمک کند، ۲) مکمل کراتین سنتز مجدد فسفوکراتین را افزایش می‌دهد. سطوح اولیه بالاتر کراتین ممکن است به سنتز بیشتر فسفوکراتین هنگام بازیافت کمک کند، ۳) مکمل کراتین اسیدیته عضله را کاهش می‌دهد. فسفوکراتین به عنوان یک تامپون سوخت و سازی در فرآیند سنتز مجدد ATP از ADP، H^+ را مصرف می‌کند. این ممکن است به عضله اجازه انباشتن اسید لاکتیک بیشتر را بدهد. همان طور که می‌دانیم یکی از عوامل مخل اجرا و ایجاد خستگی در ورزش‌های شدید بوجود آمدن اسیدوز داخل عضلانی به عنوان نتیجه افزایش جریان گلیکولیتیک و انتقالات الکترولیت‌ها می‌باشد. افزایش غلظت یون هیدروژن می‌تواند به توسعه تنش زیان برساند و یا گلیکوژنولیز عضله را به وسیله جلوگیری از فعالیت فسفوفروکتوکیناز یا فسفوریلاز کاهش دهد. بنابر این اثر کراتین بر روی اسیدیته عضله و کاهش H^+ می تواند اثر مثبتی در اجرا داشته باشد و خستگی بوجود آمده به وسیله عمل H^+ را کاهش دهد. بنابر دلایل ذکر شده افزایش در اجرا و کاهش خستگی از نظر علمی قابل توجه می‌باشد. به طور کلی، مصرف کوتاه‌مدت مکمل کراتین (برای مثال ۷-۵ روز تقریباً روزانه ۲۰ گرم) می‌تواند منجر به بهبود عملکرد گردد. اکثر مطالعات، نشان داده‌اند که مصرف مکمل کراتین قابلیت تولید نیرو یا توان عضلانی بالاتر را در طی دوره‌های کوتاه تمرینات شدید در بزرگسالان جوان به طور معنی-داری افزایش می‌دهد. آزمودنی‌های این مطالعات را ورزشکاران با قابلیت‌ها و شرایط تمرینی مختلطی، از ورزشکاران تقریباً مبتدی تا سطح ورزشکاران رقابتی دانشگاهی تشکیل می‌دادند. به طور جالبی بیشترین پیشرفت در عملکرد به نظر می‌رسد طی یک دوره از تمرین‌های تکراری با توان تولیدی بالا مشاهده شده است. عملکرد تمرین در طی دوره‌های بعدی از یک دوره (برای مثال سومین ، چهارمین و پنجمین) می‌تواند ۲۰٪ - ۵ بیشتر از اندازه-های گروه دارونما افزایش یابد. این پروتکل‌های آزمایشی معمولاً از تلاش‌های توان تولیدی بالا (برای مثال: دوچرخه سواری با حداکثر شدت و یا توان پریدن که می‌تواند فقط برای زمان کوتاهی معمولاً چند ثانیه، حفظ شود) با فاصله‌های استراحتی متناسب کوتاه‌مدت (برای مثال ۶۰ -۲۰ ثانیه) در بین آن‌ها استفاده می‌کنند. همان‌طور که در بالا بحث شد این‌ها شرایط تمرینی است که از انرژی انتقالی Pcr کمک می‌گیرد و خیلی مهم می‌باشد. همچنین زمان کوتاه دوره استراحت بین تمرین‌ها ظاهراً کافی است تا اجازه برگشت به حالت اولیه بیشتری را به دلیل افزایش غلظت pcr عضله به جهت مکمل بدهد.

دیگر نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بین مصرف ترکیبی مکمل‌ها (ال سیترولین+ کافئین و ال سیترولین+ کراتین) و مصرف به تنهایی مکمل‌ها در توان بی‌هوازی و قدرت عضلانی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. اگرچه با جستجوی محقق در

پایگاه‌های اطلاعاتی مطالعه‌ای با اثر ترکیبی ال سیترولین با کراتین و کافئین بر توان هوازی و بی‌هوازی و قدرت عضلانی یافت نگردید اما عدم وجود اثرات هم افزایی در هنگام ترکیب این مکمل ها نشان می دهد که مکانیسم های عمل آنها ممکن است آنطور که پیش بینی می شد مکمل یکدیگر نباشند. به عنوان مثال، در حالی که کافئین با تحریک سیستم عصبی مرکزی عملکرد را افزایش می دهد، سیترولین در درجه اول از طریق اتساع عروق و بهبود تحویل مواد مغذی عمل می کند. اگر مسیرهایی که آنها تأثیر می‌گذارند تا حد زیادی مستقل باشند، ترکیب آنها ممکن است مزایای بیشتری نسبت به استفاده جداگانه از آنها نداشته باشد (۴۵).

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج مطالعه حاضر بر اهمیت به تنهایی مصرف مکمل‌های ال سیترولین، کافئین و کراتین بر توان هوازی بیشینه، توان بی‌هوازی و قدرت عضلانی ورزشکاران زن دوومیدانی‌کار رشته‌های پرتابی تاکید دارد و مصرف ترکیبی این مکمل‌ها در مقایسه با مصرف به تنهایی این مکمل‌ها اثر ترکیبی و مضاعفی بر توان هوازی بیشینه، توان بی‌هوازی و قدرت عضلانی ورزشکاران زن دوومیدانی‌کار رشته‌های پرتابی ایجاد نکرده است.

پیام مقاله

مکمل های ال سیترولین، کافئین و کراتین بر افزایش توان هوازی بیشینه، توان بی هوازی و قدرت عضلانی ورزشکاران زن دوومیدانی کار رشته های پرتابی موثر است و ترکیب آنان الزاما با اثر افزایش مضاعف همراه نیست.

تشکر و قدردانی

از آزمودنی های مطالعه حاضر قدردانی می گردد.

تعارض منافع

نویسندگان تعارض منافعی ندارند.

منابع

[1] Inbar O, Bar-Or O, Skinner J. Characteristics of the Wingate anaerobic test. The Wingate Anaerobic Test Champaign, IL: Human Kinetics. 1996:25-40. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b1b21b.

[2] Medbo JI, Mohn A-C, Tabata I, Bahr R, Vaage O, Sejersted OM. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O2 deficit. Journal of applied physiology. 1988;64(1):50-60. doi: 10.1152/jappl.1988.64.1.50.

[3] Kaczkowski W, DL M, AW T. The relationship between muscle fiber composition and maximal anaerobic power and capacity. 1982. PMID: 7169782

[4] Botchlett R, Lawler JM, Wu G. L-Arginine and l-citrulline in sports nutrition and health. Nutrition and enhanced sports performance: Elsevier; 2019. p. 645-52. DOI: 10.1016/B978-0-12-396454-0.00045-X

[5] Garthe I, Maughan RJ. Athletes and supplements: prevalence and perspectives. International journal of sport nutrition and exercise metabolism. 2018;28(2):126-38. doi: 10.1123/ijsnem.2017-0429

[6] Schwedhelm E, Maas R, Freese R, Jung D, Lukacs Z, Jambrecina A, et al. Pharmacokinetic and pharmacodynamic properties of oral L-citrulline and L-arginine: impact on nitric oxide metabolism. British journal of clinical pharmacology. 2008;65(1):51-9. doi: 10.1111/j.1365-2125.2007.02990.x.

[7] Yabuki Y, Shioda N, Yamamoto Y, Shigano M, Kumagai K, Morita M, et al. Oral L-citrulline administration improves memory deficits following transient brain ischemia through cerebrovascular protection. Brain research. 2013;1520:157-67. doi: 10.1016/j.brainres.2013.05.011.

[8] Ochiai M, Hayashi T, Morita M, Ina K, Maeda M, Watanabe F, et al. Short-term effects of L-citrulline supplementation on arterial stiffness in middle-aged men. International journal of cardiology. 2012;155(2):257-61. doi: 10.1016/j.ijcard.2010.10.004.

[9] Bailey SJ, Blackwell JR, Lord T, Vanhatalo A, Winyard PG, Jones AM. l-

[16] Grgic J, Mikulic P. Caffeine ingestion acutely enhances muscular strength and power but not muscular endurance in resistance-trained men. European journal of sport science. 2017;17(8):1029-36.
[17] Grgic J, Trexler ET, Lazinica B, Pedisic Z. Effects of caffeine intake on muscle strength and power: a systematic review and meta-analysis. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2018;15(1):11. doi: 10.1080/17461391.2017.1330362.
[18] Da Silva VL, Messias FR, Zanchi NE, Gerlinger-Romero F, Duncan MJ, Guimarães-Ferreira L. Effects of acute caffeine ingestion on resistance training performance and perceptual responses during repeated sets to failure. J Sports Med Phys Fitness. 2015;55(5):383-9. PMID: 26068323
[19] Hoffman JR, Stout JR, Falvo MJ, Kang J, Ratamess NA. Effect of low-dose, short-duration creatine supplementation on anaerobic exercise performance. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2005;19(2):260-4. DOI: 10.1519/15484.1
[20] Rawson ES, Volek JS. Effects of creatine supplementation and resistance training on muscle strength and weightlifting performance. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2003;17(4):822-31. doi: 10.1519/1533-4287(2003)017<0822:eocsar>2.0.co;2.
[21] 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. doi: 10.1007/s00421-021-04774-6
[22] Rahimi MR, Faraji H, Khodamoradi M. CYP1A2 genotype and acute effects of caffeine intake on growth hormone and testosterone response to resistance exercise. Sport Sciences and Health Research. 2024;16(2).DOI: 10.22059/SSHR.2024.382033.1163
Citrulline supplementation improves O2 uptake kinetics and high-intensity exercise performance in humans. Journal of Applied Physiology. 2015. doi: 10.1152/japplphysiol.00192.2014.
[10] Suzuki T, Morita M, Kobayashi Y, Kamimura A. Oral L-citrulline supplementation enhances cycling time trial performance in healthy trained men: Double-blind randomized placebo-controlled 2-way crossover study. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2016;13(1):6. doi: 10.1186/s12970-016-0117-z.
[11] Barbosa AdS, Chaves EHB, Ribeiro RG, Quadros DVd, Suzuki LM, Magalhães AMMd. Caracterização dos incidentes de quedas de pacientes adultos internados em um hospital universitário. Revista gaucha de enfermagem. 2019;40. doi: 10.1590/1983-1447.2019.20180303.
[12] Ferré S. Mechanisms of the psychostimulant effects of caffeine: implications for substance use disorders. Psychopharmacology. 2016;233(10):1963-79. doi: 10.1007/s00213-016-4212-2.
[13] Behrens M, Mau-Moeller A, Weippert M, Fuhrmann J, Wegner K, Skripitz R, et al. Caffeine-induced increase in voluntary activation and strength of the quadriceps muscle during isometric, concentric and eccentric contractions. Scientific reports. DOI: 10.1038/srep10209 2015;5(1):1-10.
[14] Bogdanis GC. Effects of physical activity and inactivity on muscle fatigue. Frontiers in physiology. 2012:142. DOI: 10.3389/fphys.2012.00142
[15] Wilk M, Filip A, Krzysztofik M, Maszczyk A, Zajac A. The acute effect of various doses of caffeine on power output and velocity during the bench press exercise among athletes habitually using caffeine. Nutrients. 2019;11(7):1465. doi: 10.3390/nu11071465

et al. Effects of acute caffeine intake on power output and movement velocity during a multiple-set bench press exercise among mild caffeine users. Journal of Human Kinetics. 2021;78(1):219-28. doi: 10.2478/hukin-2021-0044.

[30] Stein JA, Ramirez M, Heinrich KM. The Effects of Acute Caffeine Supplementation on Performance in Trained CrossFit Athletes. Sports. 2019;7(4):95. doi: 10.3390/sports7040095.

[31] Mielgo-Ayuso J, Marques-Jiménez D, Refoyo I, Del Coso J, León-Guereño P, Calleja-González J. Effect of caffeine supplementation on sports performance based on differences between sexes: a systematic review. Nutrients. 2019;11(10):2313. doi: 10.3390/nu11102313.

[32] Warren GL, Park ND, Maresca RD, McKibans KI, Millard-Stafford ML. Effect of caffeine ingestion on muscular strength and endurance: a meta-analysis. Med Sci Sports Exerc. 2010;42(7):1375-87. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181cabbd8.

[33] Ferreira TT, da Silva JVF, Bueno NB. Effects of caffeine supplementation on muscle endurance, maximum strength, and perceived exertion in adults submitted to strength training: A systematic review and meta-analyses. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2021;61(15):2587-600. doi: 10.1080/10408398.2020.1781051.

[34] Wang M, Deng W-W, Zhang Z-Z, Yu O. Engineering an ABC transporter for enhancing resistance to caffeine in Saccharomyces cerevisiae. Journal of agricultural and food chemistry. 2016;64(42):7973-8. doi: 10.1021/acs.jafc.6b03980.

[35] Ganio MS, Klau JF, Casa DJ, Armstrong LE, Maresh CM. Effect of caffeine on sport-specific endurance performance: a systematic review. The Journal of Strength & Conditioning Research.

[23] Kreider RB, Kalman DS, Antonio J, Ziegenfuss TN, Wildman R, Collins R, et al. International Society of Sports Nutrition position stand: safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sport, and medicine. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2017;14(1):18. doi: 10.1186/s12970-017-0173-z.

[24] Hickner RC, Tanner CJ, Evans CA, Clark PD, Haddock A, Fortune C, et al. L-citrulline reduces time to exhaustion and insulin response to a graded exercise test. Medicine and science in sports and exercise. 2006;38(4):660-6. DOI: 10.1249/01.mss.0000210197.02576.da

[25] 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. doi: 10.1080/02640414.2014.990495.

[26] Cunniffe B, Papageorgiou M, O'Brien B, Davies NA, Grimble GK, Cardinale M. Acute citrulline-malate supplementation and high-intensity cycling performance. Journal of strength and conditioning research. 2016;30(9):2638-47. doi: 10.1519/JSC.0000000000001338.

[27] Shakib A, Vakili J. Effect of one-week supplementation of Citrulline-malate, L-arginine and their combination on CK, LDH and CRP levels in male wrestlers following simulated wrestling test. Medical Journal of Tabriz University of Medical Sciences. 2021;43(2):201-8. doi: 10.34172/mj.2021.46

[28] van de Poll M, Siroen M, van Leeuwen P, Soeters P, Melis G, Boelens P, et al. Interorgan exchange of glutamine, citrulline and arginine. Nitrogen metabolism and hepatocellular injury during liver resection. 2008;85:57. doi: 10.1093/ajcn/85.1.167.

[29] Filip-Stachnik A, Krzysztofik M, Kaszuba M, Leznicka K, Kostrzewa M, Del Coso J,

2009;23(1):315-24. doi: 10.1519/JSC.0b013e31818b979a.

[36] Salinero JJ, Lara B, Del Coso J. Effects of acute ingestion of caffeine on team sports performance: a systematic review and meta-analysis. Research in sports Medicine. 2019;27(2):238-56.

[37] Pickering C, Kiely J. Are the current guidelines on caffeine use in sport optimal for everyone? Inter-individual variation in caffeine ergogenicity, and a move towards personalised sports nutrition. Sports Medicine. 2018;48(1):7-16. doi: 10.1080/15438627.2018.1552146.

[38] López-González LM, Sánchez-Oliver AJ, Mata F, Jodra P, Antonio J, Domínguez R. Acute caffeine supplementation in combat sports: a systematic review. Journal of the international society of sports nutrition. 2018;15(1):60. doi: 10.1186/s12970-018-0267-2.

[39] Davis J, Green JM. Caffeine and anaerobic performance. Sports medicine. 2009;39(10):813-32. doi: 10.2165/11317770-000000000-00000.

[40] Kreider RB. Effects of creatine supplementation on performance and training adaptations. Molecular and cellular biochemistry. 2003;244(1):89-94 PMID: 12701815.

[41] Wax B, Kerksick CM, Jagim AR, Mayo JJ, Lyons BC, Kreider RB. Creatine for exercise and sports performance, with recovery considerations for healthy populations. Nutrients. 2021;13(6):1915. DOI: 10.3390/nu13061915

[42] Bird SP. Creatine supplementation and exercise performance: a brief review. Journal of sports science & medicine. 2003;2(4):123.

[43] Law YLL, Ong WS, GillianYap TL, Lim SCJ, Von Chia E. Effects of two and five days of creatine loading on muscular strength and anaerobic power in trained athletes. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2009;23(3):906-14. Doi: https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3181a06c59

[44] Williams M, Kreider R, Branch J. Creatine: The power supplement Human Kinetics Publishers. Champaign, IL. 1999. No DOI available.

[45] 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. European Journal of Nutrition. 2023;62(7):2963-75. Doi: https://doi.org/10.1007/s00394-023-03212-x