

Comparing the effect of creatine malate, betaine and beta-alanine supplements on buffering capacity and fatigue of boxers

Received:
2025/05/25

Accepted:
2025/06/10

Online ISSN
3060-7078

AmirHosein Rahmanpour

Department of Sports Physiology,
Faculty of Educational Sciences
and Psychology, University of
Mohaghegh Ardabili, Ardabil,
Iran.

Roghayyeh Afroundeh

Department of Sports Physiology,
Faculty of Educational Sciences and
Psychology, University of
Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Nima Moloudi

Department of Sports Physiology,
Faculty of Educational Sciences and
Psychology, University of
Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Ali Nasri Asl

Department of Sports Physiology,
Faculty of Educational Sciences and
Psychology, University of Mohaghegh
Ardabili, Ardabil, Iran.

***Correspondence:**

Roghayyeh Afroundeh
Email

afroundeh@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1592-7330>

ABSTRACT

Introduction:

Taking sports supplements helps to improve sports performance in different ways. The purpose of this research was to compare the effect of creatine malate, betaine and beta-alanine supplements on buffering capacity and fatigue of boxing athletes.

Methods:

This was a quasi-experimental and applied study in which 15 boxers (with a mean $\pm$ SD of weight 75.15 ± 7.30 kg, height 174.46 ± 7.21 cm, and age 25.69 ± 2.75 years) were tested with available samples in a crossover manner in 4 phases (control, beta-alanine (4 g), creatine malate (4 g) and betaine (2.5 g)) in ten-day periods with a 2-week washout period. Blood samples were collected at the end of each loading period. Data were analyzed using the repeated measures analysis of variance statistical method.

Results:

ANOVA with repeated measures analysis showed that creatine kinase levels were significantly lower following creatine malate intake compared to control ($p=0.001$), beta-alanine ($p=0.01$) and betaine ($p=0.025$). Plasma carnosine levels were significantly higher following beta-alanine intake compared to control, creatine malate and betaine groups ($p=0.001$). Plasma bicarbonate levels were significantly higher following beta-alanine compared to control ($p=0.008$) and creatine malate ($p=0.033$) but not significantly different from betaine ($p=0.362$). Lactate levels were significantly lower following beta-alanine compared to control, creatine malate, and betaine ($p=0.001$).

Conclusion:

It seems that beta-alanine has a greater effect on increasing carnosine and bicarbonate concentrations (buffering capacity) and reducing lactate concentrations (fatigue) compared to other supplements, and is likely to lead to greater improvements in athletic performance in boxers.

Keywords: carnosine, bicarbonate, beta-alanine, betaine, creatine malate

Extended Abstract

Introduction:

Supplementation is a common strategy employed by athletes to achieve performance goals and enhance athletic capabilities. One of the primary objectives of supplement consumption among athletes is the reduction of muscle damage (1). Exercise-induced muscle damage leads to decreased muscle force, increased soreness, and impaired muscle function (2). Beyond structural muscle damage resulting from overstretching of muscle fibers, muscle acidosis is another significant contributor to fatigue development during intense exercise (3). The body intelligently activates mechanisms to reduce hydrogen ion levels. One such mechanism involves intracellular and extracellular buffering systems. Hydrogen ions produced are neutralized by intracellular buffers (carnosine, phosphate) and extracellular buffers (bicarbonate) (5). Creatine malate is a highly popular supplement among athletes. Creatine itself is an organic compound synthesized from three amino acids: methionine, arginine, and glycine. Beta-alanine is a non-essential amino acid synthesized in the liver through the reduction of nitrogenous organic bases, uracil and thymine. It serves as a crucial precursor to carnosine, a dipeptide formed by combining beta-alanine with the amino acid histidine (7). The bicarbonate system, as the most important extracellular buffer, also plays a significant role in mitigating hydrogen ion accumulation during exercise (8). Betaine, a neutral zwitterionic compound derived from glycine, is gaining increasing popularity as a supplement. Betaine is synthesized in the body through the oxidation of choline-containing compounds (11). One of betaine's key physiological functions is osmoprotection, safeguarding cells against dehydration. It acts as an osmolyte, promoting increased cellular water retention. A review of the existing literature reveals no studies have directly compared the effects of creatine malate, betaine, and beta-alanine supplements to determine which might offer superior benefits for athletic performance. Therefore, the present study aimed to investigate the impact of these supplementation on buffering capacity and fatigue in boxers.

Methodology:

The target population for this research comprised boxers residing in Tonekabon County. A total of 15 athletes participated in the research. Each participant signed an informed consent form. Throughout the study period, participants were instructed to maintain their usual dietary habits without making any changes to their diet. Initially, dependent variables were measured in all participants at baseline (i.e., before any supplement consumption), serving as the control condition. Starting the next day, participants consumed one of the randomly assigned supplements for ten days. After this initial supplementation period, dependent variables were measured again. A two-week washout period was then implemented to eliminate any residual effects of the consumed supplement, during which participants abstained from all supplements. Following the two-week washout, participants consumed a second randomly selected supplement for ten days. Dependent variables were re-measured at the end of this second supplementation period. Another two-week washout period followed to clear the effects of the second supplement. Finally, after the second washout, participants consumed the third supplement for ten days, with dependent variables measured once more at the end of this final supplementation phase. The order of supplement administration was randomized for each participant. The supplements administered were as follows: Beta-alanine: 4 grams daily, divided into two 2-gram doses with breakfast and lunch. Creatine Malate: 4 grams daily, Betaine: 2.5 grams daily. ANOVA with repeated measures was utilized for data analysis, followed by Tukey's post-hoc test for pairwise comparisons. A statistical significance level of $P < 0.05$ was set for all statistical analyses.

Results:

Repeated measures ANOVA revealed significant differences in plasma levels of creatine kinase (CK) ($F=7.27$, $P=0.004$), carnosine ($F=49.29$, $P=0.001$), lactate ($F=20.83$, $P=0.001$), and bicarbonate ($F=4.62$, $P=0.024$) across the different supplement conditions. Further Tukey's post-hoc test indicated that plasma CK levels were significantly lower after creatine malate consumption compared to beta-alanine ($P=0.01$), betaine ($P=0.025$), and the control condition ($P=0.001$). However, no significant differences in plasma CK levels were observed among the beta-alanine, betaine, and control groups. Plasma carnosine levels were significantly higher following beta-alanine supplementation compared to creatine malate ($P=0.001$), betaine ($P=0.001$), and the control condition ($P=0.001$). Conversely, there were no significant differences in plasma carnosine levels among the creatine malate, betaine, and control groups. Plasma lactate levels were significantly lower with beta-alanine supplementation compared to creatine malate ($P=0.001$), betaine ($P=0.001$), and the control condition ($P=0.001$). However, no significant differences in plasma lactate levels were observed among the creatine malate, betaine, and control groups. Tukey's post-hoc test results showed that plasma bicarbonate levels were significantly higher following beta-alanine supplementation compared to creatine malate ($P=0.001$) and the control condition ($P=0.008$). However, there was no significant difference compared to betaine. Furthermore, no significant differences in plasma bicarbonate levels were found among the creatine malate, betaine, and control groups.

Discussion:

In conclusion, the findings of the present study suggest that beta-alanine supplementation increases plasma carnosine and bicarbonate levels in boxers. Furthermore, this improved buffering capacity appears to have contributed to a reduction in acidosis and lactate production. However, this supplement did not show an effect on blood creatine kinase levels, an indicator of muscle damage. Conversely, creatine malate supplementation led to a decrease in blood creatine kinase concentration. One of the primary mechanisms which creatine is thought to reduce CK release is by regulating calcium homeostasis. Disruption of calcium homeostasis, often due to sarcoplasmic reticulum damage, leads to increased cytosolic calcium concentration, which is a known initiator of muscle damage. Creatine aids the function of the sarcoplasmic reticulum calcium pump by maintaining ATP production (18). Carnosine and bicarbonate are endogenous buffers that can neutralize hydrogen ion accumulation and delay the onset of fatigue. It appears that following beta-alanine ingestion, blood beta-alanine levels rise, which is then taken up by muscles, leading to increased carnosine synthesis (21). Carnosine plays a crucial role in excitation-contraction coupling in skeletal muscle by regulating enzymes involved in ATPase activation. Increased carnosine levels can enhance calcium sensitivity in muscle fibers (23). Moreover, carnosine has been shown to increase calcium sensitivity in contractile elements, which can lead to increased muscle power and reduced fatigue. Muscle fatigue is a primary factor in reduced muscle power and force. Lactate accumulation in the blood reflects muscle lactate production. Furthermore, increased hydrogen ion production is associated with a decrease in pH and acidosis, both contributing to muscle fatigue and potentially inhibiting energy production via glycolysis (24). Increased hydrogen ions can displace calcium from the active site of troponin C, thereby inhibiting contraction and calcium reuptake into the sarcoplasmic reticulum. The present study observed a reduction in blood lactate with beta-alanine supplementation and no effect from other supplements.

مقایسه تأثیر مکمل‌های کراتین مالات، بتائین و بتا آلانین بر ظرفیت بافرینگ و خستگی ورزشکاران بوکس

چکیده	تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۰۳/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۰ شاپا الکترونیکی ۳۰۶۰-۷۰۷۸
مقدمه: مصرف مکمل‌های ورزشی از راه‌های مختلفی به بهبود عملکرد ورزشی کمک می‌کنند. هدف از پژوهش حاضر مقایسه تأثیر مکمل‌های کراتین مالات، بتائین و بتا آلانین بر ظرفیت بافرینگ و خستگی ورزشکاران بوکس بود. روش تحقیق: این مطالعه نیمه تجربی و کاربردی بود که در آن ۱۵ ورزشکار بوکس (با میانگین و انحراف استاندارد وزن $73 \pm 7.5/15$ کیلوگرم، قد 174.46 ± 7.21 سانتیمتر و سن 25.69 ± 2.75 سال) با نمونه گیری در دسترس به صورت کراس اور در ۴ مرحله (کنترل، بتا آلانین (۴ گرم)، کراتین مالات (۴ گرم) و بتائین (۲/۵ گرم)) در دوره‌های دهم و یازدهم با ۲ هفته دوره پاک‌سازی مورد آزمایش قرار گرفتند. نمونه‌های خونی در انتهای هر دوره بارگیری جمع‌آوری شد. داده‌ها با استفاده از روش آماری تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر تحلیل شدند. یافته‌ها: تجزیه و تحلیل آزمون آنوای یک‌راهه با اندازه‌گیری مکرر نشان داد مقادیر کراتین کیناز به دنبال مصرف کراتین مالات در مقایسه با کنترل ($p=0/001$)، بتا آلانین ($p=0/01$) و بتائین ($p=0/025$) به طور معنی‌داری کمتر بود. مقادیر پلاسمایی کارنوزین به دنبال مصرف بتا آلانین در مقایسه با گروه های کنترل، کراتین مالات و بتائین بطور معنی‌داری بیشتر بود ($p=0/001$). مقادیر پلاسمایی بیکربنات به دنبال مصرف بتا آلانین در مقایسه با کنترل ($p=0/008$) و کراتین مالات ($p=0/033$) به طور معنی‌داری بیشتر بود اما با گروه بتائین ($p=0/362$) تفاوت معنی‌داری نداشت. مقادیر لاکتات به دنبال مصرف بتا آلانین در مقایسه با کنترل، کراتین مالات و بتائین به طور معنی‌داری کمتر بود ($P=0/001$). نتیجه گیری: به نظر می‌رسد تأثیر بتا آلانین در مقایسه با مکمل‌های دیگر بر افزایش غلظت کارنوزین و بیکربنات (ظرفیت بافرینگ) و کاهش غلظت لاکتات (خستگی) بیشتر است و احتمالاً بیشتر به بهبود عملکرد ورزشی در ورزشکاران بوکس منجر شود. واژگان کلیدی: کارنوزین، بیکربنات، بتا آلانین، بتائین، کراتین مالات	امیر حسین رحمانپور گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رقیه افرونده گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. نیما مولودی چیان گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. علی نصری اصل گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. * نویسنده مسئول: رقیه افرونده ایمیل: afroundeh@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-1592-7330

مقدمه

مصرف مکمل یکی از راهکارهای دستیابی به اهداف و بهبود عملکرد در ورزشکاران می‌باشد. یکی از مهم‌ترین اهداف مصرف مکمل در ورزشکاران کاهش آسیب‌های عضلانی است (۱) آسیب ایجادشده ناشی از فعالیت ورزشی به کاهش نیروی عضله، افزایش کوفتگی و آسیب عملکرد عضلانی منجر می‌شود (۲). علاوه بر آسیب ساختار عضلانی ناشی از کشش بیش‌ازحد تارهای عضله، اسیدوز عضله نیز یکی از عواملی است که باعث توسعه خستگی ناشی از فعالیت ورزشی شدید می‌شود (۳). هنگام اجرای فعالیت ورزشی با شدت بیش از ظرفیت متابولیسم هوازی اتکا بر سیستم گلیکولیز افزایش می‌یابد. فعال‌سازی بیشتر سیستم گلیکولیز به تولید اسیدلاکتیک بیشتر منجر می‌شود. در ادامه اسیدلاکتیک به لاکتات و یون هیدروژن تبدیل می‌شود. غلظت یون هیدروژن ممکن است تا حدود ۱۰ برابر افزایش یابد و pH را از ۷/۱ به ۶/۳ برساند (۴). افزایش تجمع هیدروژن درون سلولی باعث آسیب انتقال انرژی، هندلینگ کلسیم و چرخه پل‌های عرضی می‌شود که در نتیجه عملکرد را در هنگام تمرین ورزشی با شدت بالا محدود می‌کند (۱). بدن به‌صورت هوشمند مکانیسم‌هایی برای کاهش میزان یون هیدروژن فعال می‌کند. یکی از این مکانیسم‌ها، بافرینگ‌های درون سلولی و خارج سلولی است. یون هیدروژن تولیدشده از طریق بافرهای درون سلولی (کاربونیز، فسفات) و بافر خارج سلولی (بیکربنات) خنثی می‌شوند (۵).

کراتین مالات یکی از مکمل‌هایی است که محبوبیت زیادی در بین ورزشکاران دارد. کراتین ترکیبی از سه اسیدآمینه متیونین، آرژنین و گلوسین است. اثرات مکمل کراتین بر عملکرد، ریکاوری، پیشگیری از آسیب، تحمل ورزش و توانبخشی، محافظت عصبی، پیری، جمعیت‌های بالینی و بیماری و بارداری گزارش شده است (۶). کوک^۱ و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند دریافت ۰/۳ گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز به مدت ۴ روز (۵ گرم در روز) و دوره ثبات ۰/۱ گرم به ازای هر کیلوگرم وزن در روز به مدت ۱۴ روز در مردان سالم باعث بهبود قدرت ایزومتریک و کاهش کراتین کیناز (CK) شد (۷).

بتا آلانین یکی از اسیدهای آمینه غیرضروری است که در کبد از احیای بازهای آلی نیتروژن دار اوراسیل و تیمین سنتز می‌شود. بتا آلانین یکی از پیش سازهای کاربوزین است که در ترکیب با اسید آمینه هیستیدین ایفای نقش می‌کند (۸). اگرچه بافت عضله توانایی سنتز کاربوزین را دارد ولی توانایی برداشت کاربوزین از جریان خون را ندارد. بنابراین، سنتز اندوژن کاربوزین به میزان برداشت بتا آلانین و ال هیستیدین از خون بستگی دارد. آثار کاربوزین در بهبود عملکرد به‌خوبی مشخص نشده است. بااین‌حال، علاوه بر کنترل بافرینگ و کاهش یون‌های هیدروژن، باعث افزایش حساسیت پذیری یون کلسیم می‌شود که به افزایش تولید نیرو و کاهش خستگی می‌انجامد (۸). نشان داده‌شده است که کاربوزین ۱۰ درصد ظرفیت بافرینگ را بر عهده دارد و باعث بهبود عملکرد فعالیت ورزشی می‌شود. سیستم بیکربنات به‌عنوان مهم‌ترین بافر بیرون سلولی است که در طی فعالیت ورزشی به کاهش تجمع یون‌های هیدروژن کمک می‌کند (۹). هیل^۲ و همکاران گزارش کردند به دنبال ۱۰ هفته مصرف مکمل بتا آلانین، علاوه برافزایش مقادیر کاربوزین در عضله پهن جانبی، زمان رسیدن به واماندگی در آزمودن دوچرخه بیش از ۱۱۰ درصد افزایش یافت (۹). نتایج یک مطالعه نشان داد مصرف روزانه ۳/۲ تا ۶/۴ گرم (معادل تقریباً ۶۵ میلی گرم به ازای کیلوگرم وزن بدن) بتا آلانین به مدت ۲ تا ۴ هفته محتوای کاربوزین را ۶۵ درصد بیشتر از حالت استراحتی افزایش داد و باعث بهبود آزمون ورزشی از ۳۰ ثانیه

¹ . Coke

² . Hil

به ۱۰ دقیقه شد (۱۰). در مطالعات دیگر نشان داده شده است مصرف بتا آلانین در ورزشکاران تمرین کرده در مقایسه با سایر افراد تأثیر کمتری دارد (۱۱).

بتائین یکی دیگر از مکمل‌هایی است که مصرف آن در حال افزایش است. بتائین یک ترکیب زئوترونیک خنثی مشتق از گلوسین است که به صورت طبیعی از شیر به چغندر قند به دست می‌آید. برخی مواد غذایی از جمله گندم، اسفناج، لوبیا و حلزون صدف دار به مقدار زیادی بتائین دارند. بتائین از طریق اکسیداسیون مواد حاوی کولین در بدن سنتز می‌شود (۱۲). محافظت اسموتیکی یکی از عملکردهای فیزیولوژیک بتائین است که سلول را در برابر کمبود آب محافظت می‌کند. بتائین به عنوان یک اسمولیت عمل می‌کند و باعث افزایش احتباس آب سلول‌ها می‌شود. برخی مطالعات نشان دادند که مکمل بتائین ممکن است غلظت‌های پلاسمایی هموسیستئین و التهاب را کاهش دهد و باعث کاهش احتمال خطر بیماری‌های قلبی عروقی شود (۱۳، ۱۴). علاوه بر این آثار فیزیولوژیک، این فرضیه وجود دارد که مکمل یاری بتائین خواص ارگوژنیک (افزایش عملکرد ورزشی) خود را از طریق حمایت عملکرد قلبی عروقی یا هموستاز دمایی هنگام فعالیت ورزشی در گرما (۱۵)، یا به وسیله افزایش قدرت و توان عملکرد در نتیجه افزایش کراتین عضله اسکلتی اعمال کند (۱۲).

بامطالعه پیشینه پژوهش به نظر می‌رسد که نتایج تحقیقات در مورد اثرگذاری مکمل‌های کراتین ملات، بتائین و بتا آلانین بر عملکرد ورزشی متناقض است و مقایسه تأثیر مصرف این مکمل‌ها و اینکه کدام یک بیشتر موجب بهبود عملکرد ورزشی می‌شود در هیچ مطالعه‌ای انجام نشده است. از این رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر مکمل‌های کراتین ملات، بتائین و بتا آلانین بر ظرفیت بافرینگ و خستگی ورزشکاران بوکس انجام شد.

روش تحقیق

نمونه‌های پژوهش

این پژوهش از نوع کاربردی و نیمه تجربی با طرح اندازه‌گیری مکرر بود. جامعه آماری این پژوهش را ورزشکاران بوکس ساکن شهرستان تنکابن تشکیل دادند. ابتدا به باشگاه‌های ورزشی شهرستان تنکابن مراجعه شد و از ورزشکاران بوکس که به صورت مداوم در دو سال اخیر در برنامه‌های تمرینی شرکت کرده بودند درخواست شد تا در صورت تمایل به صورت داوطلبانه در این پژوهش شرکت کنند. معیارهای ورود به مطالعه شامل مصرف نکردن مکمل‌های بتا-آلانین، کراتین ملات و بتائین در ۶ ماه گذشته، عدم دریافت دارو و استروئیدهای آنابولیک، عدم ابتلا به بیماری‌های کبدی، کلیوی و بیماری‌های ارتوپدیک بود. افرادی که در طول دوره مداخله از پروسه روند مکمل پیروی نکردند از مطالعه خارج شدند. تعداد ۱۵ ورزشکار در مطالعه شرکت کردند.

روش اجرای پژوهش

پس از تعیین افراد واجد شرایط برای شرکت در مطالعه، یک جلسه برای آشنایی با نحوه اجرا و اهداف پژوهش برگزار شد و آگاهی‌های لازم به آن‌ها ارائه شد. سپس آزمودنی‌ها پرسشنامه‌های مربوط به تندرستی، سلامت و آمادگی جسمانی را جهت شرکت در پژوهش تکمیل کردند. در ادامه هر کدام از آزمودنی‌ها فرم رضایت‌نامه شرکت در مطالعه را امضا کردند. در طول دوره مطالعه از آزمودنی‌ها خواسته شد تا از برنامه غذایی معمول خود استفاده کنند و رژیم غذایی‌شان را تغییر ندهند. سپس اطلاعات عمومی شامل سن، قد و وزن اندازه‌گیری شد.

ابتدا متغیرهای وابسته در تمام آزمودنی‌ها در وضعیت پایه (وضعیتی که هیچ مکملی مصرف نکرده بودند) اندازه‌گیری شد (گروه کنترل). از روز بعد آزمودنی‌ها به مدت ده روز یکی از مکمل‌هایی که به صورت تصادفی انتخاب شده بود را مصرف کردند. سپس متغیرهای وابسته بعد از اتمام دوره مصرف مکمل انتخاب شده اول اندازه‌گیری شد. پس از آن یک دوره پاک‌سازی (واش آوت^۳) به مدت دو هفته - برای از بین رفتن اثرات مکمل مصرف شده - در نظر گرفته شد. در این مدت آزمودنی‌ها هیچ مکملی مصرف نکردند. بعد از پایان دوره دوهفته‌ای پاک‌سازی، آزمودنی‌ها به مدت ده روز مکمل دوم انتخاب شده به روش تصادفی را مصرف کردند. سپس در پایان دوره مصرف مکمل دوم، مجدداً متغیرهای وابسته اندازه‌گیری شدند. بعد از این دوره، یک دوره پاک‌سازی دوهفته‌ای برای از بین بردن اثرات مکمل دوم در نظر گرفته شد. پس از پایان مرحله پاک‌سازی دوم، آزمودنی‌ها به مدت ده روز مکمل سوم را مصرف کردند. پس از پایان دوره مکمل‌گیری سوم، مجدداً متغیرهای وابسته اندازه‌گیری شدند. ترتیب مصرف مکمل‌ها به صورت تصادفی انتخاب شد.

بتألانی تهیه شده از برند الیمپ ساخت لهستان (پودر) در داخل کپسول ریخته شد و میزان مصرف آن به صورت روزانه ۴ گرم در دو دوز ۲ گرمی (۸) همراه صبحانه و ناهار بود. همچنین آزمودنی‌ها ۴ گرم مکمل کراتین مالات (۷) برند آیرون مکس - آلمان مصرف کردند. آزمودنی‌ها روزانه ۲/۵ گرم بتائین (۱۶) دریافت کردند.

روش‌های آزمایشگاهی

در روز بعد از اتمام بارگیری مکمل‌ها از ورید براکیال نمونه‌های خونی جمع‌آوری شد (تمام نمونه‌گیری‌ها بین ساعت ۸ تا ۱۰ صبح انجام شد). قبل از خون‌گیری، آزمودنی‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در آزمایشگاه استراحت کردند و سپس ۶ سی‌سی خون از ورید براکیال گرفته شد. برای جلوگیری از انعقاد، نمونه‌های خونی در لوله‌های حاوی EDTA ریخته و به آرامی مخلوط شدند. سپس جهت جدا نمودن سرم خون، نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس سرم درون نیتروژن مایع قرار داده شد و در نهایت به فریزر -۸۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شد تا برای سنجش شاخص‌های بیوشیمیایی نگهداری شوند. همه اندازه‌گیری‌ها در دما، رطوبت، تهویه و نور محیطی یکسان انجام شد. مقادیر کراتین کیناز با استفاده از کیت نوین بیوکیت (NOVIN BIO KIT) با روش آنزیمی کالریمتریفتومتریک، کارنوزین با استفاده از کیت LifeSpan BioSciences, Inc., LS-F25706, Seattle, USA و روش الایزا، بیکربنات با استفاده از کیت DiaSys Diagnostic System, GmbH, Germany و روش اسپکتروفتومتری و لاکتات به روش آنزیماتیک با استفاده از اسپکتوفتومتر و کیت (MyBioSource, MBS756195, Germany) اندازه‌گیری شدند.

امکان ارزیابی برنامه غذایی تمام افراد شرکت‌کننده در مطالعه وجود نداشت. با وجود این، از آزمودنی‌ها درخواست شد تا برنامه غذایی‌شان را مطابق روزهای قبل ادامه دهند.

تحلیل آماری

جهت تعیین طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیروویلک و همچنین برای همگنی واریانس‌ها از آزمون لون استفاده شد. پس از اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها، برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر و آزمون

^۳ . Wash out

تعقیبی توکی استفاده شد. سطح آماری $P < 0.05$ تحلیل‌های آماری در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

مشخصات آزمودنی‌های تحقیق در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول ۱. مشخصات فردی آزمودنی‌ها برحسب میانگین و انحراف استاندارد

متغیرها	انحراف استاندارد $\pm$ میانگین
سن (سال)	$25/69 \pm 2/75$
وزن (کیلوگرم)	$75/15 \pm 7/30$
قد (سانتی‌متر)	$174/46 \pm 7/21$
شاخص توده بدنی (کیلوگرم / مترمربع)	$24/65 \pm 1/28$

نتایج آزمون شاپیرووویلک نشان داد که توزیع داده‌های مربوط به متغیرهای وابسته تحقیق طبیعی است ($p \geq 0.05$). نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر، اختلاف معنی‌داری در مقادیر پلاسمایی کراتین کیناز ($F = 7/27$ و $P = 0.004$)، کارنوزین ($F = 49/29$ و $P = 0.001$)، لاکتات ($F = 20/83$ و $P = 0.001$) و بیکربنات ($F = 4/62$ و $P = 0.024$) بین مکمل‌های مصرف‌شده نشان داد. آزمون توکی نشان داد مقادیر پلاسمایی کراتین کیناز در زمان مصرف کراتین ملات در مقایسه با بتا-آلانین ($P = 0.01$)، بتائین ($P = 0.025$) و کنترل ($P = 0.001$) به‌طور معنی‌داری کمتر بود درحالی‌که اختلاف معنی‌داری در مقادیر پلاسمایی کراتین کیناز بین بتا-آلانین، بتائین و کنترل وجود نداشت. این نتایج در جدول ۲ گزارش شده است.

جدول ۲. مقایسه سطح کراتین کیناز (IU/L) خون ورزشکاران بوکس بعد از مصرف سه مکمل کراتین ملات، بتا-آلانین و بتائین

P	خطای استاندارد	اختلاف میانگین		
0.01	48/93	-178/69	بتا-آلانین	کراتین ملات
0.025	45/33	-142/76	بتائین	
0.001	44/63	-203/18	کنترل	
0.910	53/04	35/92	بتائین	بتا-آلانین
0.672	42/84	-25/14	کنترل	
0.587	50/15	63/39	کنترل	

مقادیر پلاسمایی کارنوزین به دنبال مصرف بتا-آلانین در مقایسه با کراتین ملات ($P = 0.001$)، بتائین ($P = 0.001$) و کنترل ($P = 0.001$) به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. درحالی‌که اختلاف معنی‌داری در مقادیر پلاسمایی کارنوزین بین کراتین ملات، بتائین و کنترل وجود نداشت (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه سطح کارنوزین (mmol/l) خون ورزشکاران بوکس بعد از مصرف سه مکمل کراتین مالات، بتا-آلانین و بتائین

P	خطای استاندارد	اختلاف میانگین		
۰/۰۰۱	۷/۰۵	۵۵/۰۷	کراتین مالات	بتا-آلانین
۰/۰۰۱	۷/۲۵	۵۱/۰۷	بتائین	
۰/۰۰۱	۸/۴۸	۶۲/۱۹	کنترل	
۰/۸۳۶	۳/۵۲	-۴/۰۰	بتائین	کراتین مالات
۰/۷۸۹	۲/۷۶	۵/۴۳	کنترل	
۰/۵۴۳	۳/۳۴	۱۱/۷۸	کنترل	
				بتائین

همان‌طور که در جدول ۴ مشهود است مقادیر پلاسمایی لاکتات در بتا-آلانین در مقایسه با کراتین مالات ($P = ۰/۰۰۱$)، بتائین ($P = ۰/۰۰۱$) و کنترل ($P = ۰/۰۰۱$) به‌طور معنی‌داری کمتر بود. درحالی‌که اختلاف معنی‌داری در مقادیر پلاسمایی لاکتات بین کراتین مالات، بتائین و کنترل وجود نداشت.

جدول ۴. مقایسه سطح لاکتات (mmol/l) خون ورزشکاران بوکس بعد از مصرف سه مکمل کراتین مالات، بتا-آلانین و بتائین

P	خطای استاندارد	اختلاف میانگین		
۰/۰۰۱	۰/۶۰۴	-۳/۱۶	کراتین مالات	بتا-آلانین
۰/۰۰۱	۰/۵۸۰	-۳/۱۳	بتائین	
۰/۰۰۱	۰/۶۷۰	-۴/۴۶	کنترل	
۰/۹۸۰	۰/۵۰۱	۰/۰۲۳	بتائین	کراتین مالات
۰/۳۶۵	۰/۳۴۰	-۱/۰۵	کنترل	
۰/۵۷۶	۰/۲۸۹	-۰/۸۵	کنترل	
				بتائین

نتایج آزمون تعقیبی توکی نشان داد مقادیر پلاسمایی بیکربنات در بتا-آلانین در مقایسه با کراتین مالات ($P = ۰/۰۰۱$) و کنترل ($P = ۰/۰۰۸$) به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. درحالی‌که اختلاف معنی‌داری با بتائین وجود نداشت. به‌علاوه، تفاوت معنی‌داری در مقادیر پلاسمایی بیکربنات بین کراتین مالات، بتائین و کنترل وجود نداشت (جدول ۵).

جدول ۵. مقایسه سطح بیکربنات (mmol/l) خون ورزشکاران بوکس بعد از مصرف سه مکمل کراتین مالات، بتا-آلانین و بتائین

P	خطای استاندارد	اختلاف میانگین		
۰/۰۳۳	۱/۱۸	۳/۵۳	کراتین مالات	بتا-آلانین
۰/۳۶۲	۱/۳۳	۲/۲۳	بتائین	
۰/۰۰۸	۱/۸۴	۵/۰۹	کنترل	
۰/۶۳۰	۰/۹۹	-۱/۳۰	بتائین	کراتین مالات
۰/۳۸۹	۱/۰۸	۱/۶۵	کنترل	
۰/۲۹۸	۱/۱۷	۲/۱۲	کنترل	
				بتائین

بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان داد مقادیر کراتین کیناز پلاسمایی به دنبال یک دوره ۱۰ روزه مصرف مکمل کراتین ملات در مقایسه با شرایط کنترل، مکمل بتا-آلانین و بتائین کاهش معنی‌داری داشت.

هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر کوک^۴ و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند مصرف ۵ روز کراتین (۰/۳ گرم به ازای کیلوگرم وزن بدن) به همراه ۱/۵ گرم کربوهیدرات به ازای کیلوگرم وزن بدن باعث کاهش معنادار CK پلاسمایی بعد از یک جلسه فعالیت ورزشی شد (۷). در مطالعه‌ای دیگر وگی^۵ و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند دریافت ۲۰ گرم کراتین به مدت ۵ روز باعث کاهش مقادیر CK پلاسمایی بعد از ۴ ست فعالیت اکستریک در مردان سالم شد (۱۷). باین‌حال برخی مطالعات نتایجی ناهم‌سو با نتایج پژوهش حاضر به دست آوردند. برای مثال روسن^۶ و همکاران (۲۰۰۹) اعلام کردند که مصرف ۲۰ گرم کراتین به مدت ۷ روز به دنبال یک جلسه فعالیت ورزشی تغییری در مقادیر پلاسمایی CK مردان سالم به وجود نیاورد (۱۸). به نظر می‌رسد نوع فعالیت ورزشی به دنبال مصرف کراتین و وضعیت آمادگی آزمودنی‌ها در پاسخ CK بسیار مهم است. در آزمودنی‌های ورزشکار به‌ویژه آزمودنی‌هایی که تمرین‌های مقاومتی (کار با وزنه) داشته‌اند به دنبال یک جلسه تمرینی آسیب کمتری در تارهای عضلانی به وجود می‌آید. به‌علاوه، نشان داده‌شده است که میزان پاسخ رهایش CK در افراد ورزش کرده (حرفه‌ای) در مقایسه با افراد تمرین نکرده بسیار کمتر است (۷) و مصرف کراتین در ورزشکاران دوندۀ ماراتن تأثیری بر مقادیر پلاسمایی CK نداشته است (۱۹). یکی از اصلی‌ترین مکانیسم‌های تأثیر کراتین بر کاهش رهایش CK ریشه در تنظیم هموستاز کلسیم است. برهم خوردن هموستاز کلسیم (آسیب شبکه سارکوپلاسمی) باعث افزایش غلظت کلسیم سیتوزولی می‌شود که به‌عنوان آغازکننده آسیب عضلانی نیز شناخته می‌شود. کراتین از طریق حفظ تولید ATP به عملکرد پمپ کلسیم شبکه سارکوپلاسمی کمک می‌کند (۲۰). پمپ کلسیم شبکه سارکوپلاسمی در ورزشکاران حرفه‌ای در مقایسه با افراد تمرین نکرده فعالیت بسیار بالایی دارند و بنابراین تجمع کلسیم سیتوزولی بعد از یک فعالیت ورزشی در ورزشکاران بسیار کمتر می‌باشد (۱۹). بوکس یکی از رشته‌های ورزشی است که بر قدرت و سرعت تمرکز دارد و عمدتاً تارهای عضلانی II بیشترین درگیری در عملکرد را بر عهده دارند. میزان بازجذب کراتین در تارهای نوع II در مقایسه با تارهای نوع I بیشتر است (۲۰).

همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد مصرف ۴ گرم بتا‌آلانین به مدت ۱۰ روز باعث افزایش مقادیر پلاسمایی کارنوزین و بیکربنات (به‌عنوان ظرفیت بافرینگ) شد. درحالی‌که مصرف کراتین ملات و بتائین تأثیر معنی‌داری بر ظرفیت بافرینگ (کارنوزین و بیکربنات) نداشت. افزایش ظرفیت بافرینگ (کارنوزین و بیکربنات) ازجمله استراتژی‌ها برای بهبود عملکرد ورزشی در فعالیت‌های ورزشی با شدت بالا و با تکیه بر دستگاه انرژی گلیکولیتیک است. کارنوزین و بیکربنات ازجمله بافرینگ‌های درون‌زاد هستند که می‌توانند تجمع هیدروژن را بافر کنند و شروع خستگی را به تأخیر بیندازند. کندریک^۷ و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر هم‌زمان ۱۰ هفته مصرف روزانه ۸ کپسول ۸۰۰ گرمی بتا‌آلانین به همراه تمرین مقاومتی بر مقادیر کارنوزین عضلانی و قدرت عضلانی را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد مصرف بتا‌آلانین به همراه تمرین مقاومتی باعث افزایش مقادیر کارنوزین عضلانی شد

۴. Cooke

۵. Veggi

۶. Rosene

۷. Kendrick

درحالی که در قدرت و عملکرد ورزشکاران تأثیری نداشت (۲۱). در مطالعه‌ای دیگر باوگت^۸ و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر مصرف روزانه ۵ گرم مکمل بتاآلانین به مدت ۷ هفته در قایقران‌ها را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد مقادیر کارنوزین عضله دوقلو به دنبال ۷ هفته مصرف مکمل بتاآلانین بیش از ۴۵ درصد افزایش یافت. به علاوه، آن‌ها نشان دادند بین عملکرد قایقرانان با میزان کارنوزین عضله دوقلو ارتباط مستقیمی وجود دارد (۲۲). به نظر می‌رسد پس از مصرف بتاآلانین، مقادیر بتاآلانین خون افزایش می‌یابد که سپس توسط عضلات برداشت می‌شود و باعث افزایش سنتز کارنوزین می‌شود (۲۳). دانت و هریس^۹ نشان دادند که بتاآلانین می‌تواند باعث افزایش کارنوزین عضلانی شود. آن‌ها گزارش کردند دریافت مکمل بتاآلانین باعث افزایش انتقال بتاآلانین از میان غشای معده‌ای - روده‌ای می‌شود (۲۴). کارنوزین با تنظیم آنزیمی مرتبط به فعال شدن ATPase ارتباط دارد. کارنوزین نقش مهمی در دوگانه تحریک-انقباض در عضله اسکلتی دارد. افزایش مقادیر کارنوزین می‌تواند باعث افزایش حساسیت کلسیم در تارهای عضلانی شود (۲۵). از طرفی نشان داده شده است که کارنوزین باعث افزایش حساسیت به کلسیم در اجزای انقباضی می‌شود. افزایش حساسیت به کلسیم می‌تواند باعث افزایش قدرت عضلانی و کاهش خستگی شود.

خستگی عضلانی یکی از عوامل کاهش قدرت و توان عضلانی است. تجمع لاکتات در خون نشانه میزان تولید لاکتات در عضله است. از طرفی افزایش تولید یون هیدروژن با کاهش pH و شرایط اسیدوز همراه است. این شرایط در خستگی عضلانی نقش دارند و می‌تواند تولید انرژی از مسیر گلیکولیز را مهار کند (۲۶). افزایش یون هیدروژن می‌تواند در جایگاه فعال تروپونین C به جای کلسیم قرار گیرد و بنابراین باعث مهار انقباض و بازگشت کلسیم به شبکه سارکوپلاسمی شود. در پژوهش حاضر تأثیر کاهشی مکمل بتاآلانین و عدم تأثیر مکمل‌های دیگر بر میزان لاکتات خون مشاهده شد. ناهم‌سو با نتایج پژوهش حاضر وانگ^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند مصرف ۵ گرم کراتین به صورت روزانه باعث افزایش قدرت عضلانی و کاهش خستگی عصبی-عضلانی در آزمودنی‌های جوان سالم شد (۲۷). همچنین هافمن^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند مصرف ۱۵ روز بتائین باعث افزایش قدرت عضلانی و کاهش خستگی در مردان جوان سالم تمرین نکرده شده است (۲۸). باین‌حال در مطالعه‌ای استوت^{۱۲} و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند به دنبال مصرف ۲۸ روز بتاآلانین، هرچقدر ظرفیت بافرینگ بیشتر باشد نقش مهم‌تری در کاهش میزان تجمع یون هیدروژن و لاکتات دارد (۲۹). بنابراین به نظر می‌رسد افزایش ظرفیت بافرینگ نقش مهمی در کاهش تولید لاکتات و به همراه آن یون هیدروژن دارد. ازجمله دلایل تناقض را می‌توان به نوع آزمودنی‌ها، نوع آزمون سنجش برای تعیین عملکرد، میزان دوز مصرفی و طول دوره مصرف اشاره کرد. این مطالعه با محدودیت‌هایی همچون عدم کنترل دقیق تغذیه، تعداد کم آزمودنی‌ها و عدم تکرار اندازه‌گیری شاخص‌های خونی بدلیل مشکلات مالی همراه بود. انجام پژوهش‌های بیشتر با تغییر دوز‌های مصرفی مکمل‌ها و کنترل دقیق تغذیه آزمودنی‌ها توصیه می‌شود.

^۸ . Baguet

^۹ . Dunnett & Harris

^{۱۰} . wang

^{۱۱} . Hoffman

^{۱۲} . Stout

نتیجه گیری

از نتایج پژوهش حاضر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مصرف بتا آلانین توسط ورزشکاران بوکس باعث افزایش مقادیر پلاسمایی کارنوزین و بیکربنات می‌شود. به علاوه، به نظر می‌رسد بهبود ظرفیت بافرینگ باعث کاهش اسیدوز و تولید لاکتات شده است. با این حال مصرف این مکمل تأثیری بر میزان کراتین کیناز خون که شاخص آسیب عضلانی هست نشان نداد و در عوض مصرف مکمل کراتین ملات موجب کاهش غلظت کراتین کیناز خون شد.

تضاد منافع

بنابر اظهار نویسندگان در این مقاله تضادی وجود ندارد.

حامی مالی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد که با حمایت مالی دانشگاه محقق اردبیلی انجام گرفته است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از همه آزمودنی‌ها و کسانی که در اجرای این پژوهش ما را یاری کردند تشکر و قدردانی می‌نمائیم.

منابع

1. Rojano-Ortega D, Peña-Amaro J, Berral-Aguilar AJ, Berral-de la Rosa FJ. Quercetin supplementation promotes recovery after exercise-induced muscle damage: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Biol Sport*. 2023;40(3):813-825.
2. Leite CDFC, Zovico PVC, Rica RL, Barros BM, Machado AF, Evangelista AL, et al. Exercise-Induced Muscle Damage after a High-Intensity Interval Exercise Session: Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2023; 20(22):7082.
3. Zhou K, Liu M, Wang Y, Liu H, Manor B, Bao D, et al. Effects of molecular hydrogen supplementation on fatigue and aerobic capacity in healthy adults: A systematic review and meta-analysis. *Front Nutr*. 2023;10:1094767.
4. Brooks GA. Lactate as a fulcrum of metabolism. *Redox Biol*. 2020; 35:101454.
5. Shaw I, Gregory K. Acid-base balance: a review of normal physiology. *BJA Educ*. 2022 Oct;22(10):396-401.
6. Antonio, J., Candow, D.G., Forbes, S.C. *et al*. Common questions and misconceptions about creatine supplementation: what does the scientific evidence really show?. *J Int Soc Sports Nutr* **18**, 13 (2021).
7. Cooke MB, Rybalka E, Williams AD, Cribb PJ, Hayes A. Creatine supplementation enhances muscle force recovery after eccentrically-induced muscle damage in healthy individuals. *J Int Soc Sports Nutr*. 2009; 6:13.
8. Cesak O, Vostalova J, Vidlar A, Bastlova P, Student V Jr. Carnosine and Beta-Alanine Supplementation in Human Medicine: Narrative Review and Critical Assessment. *Nutrients*.

- 2023;15(7):1770.
9. Hill CA, Harris RC, Kim HJ, Harris BD, Sale C, Boobis LH, et al. Influence of beta-alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amino Acids*. 2007;32(2):225-33.
 10. Saunders B, Elliott-Sale K, Artioli GG, Swinton PA, Dolan E, Roschel H, et al. β -alanine supplementation to improve exercise capacity and performance: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2017;51(8):658-669.
 11. Bellinger PM. β -Alanine supplementation for athletic performance: an update. *J Strength Cond Res*. 2014;28(6):1751-70.
 12. Dobrijević D, Pastor K, Nastić N, Özogul F, Krulj J, Kokić B, et al. Betaine as a Functional Ingredient: Metabolism, Health-Promoting Attributes, Food Sources, Applications and Analysis Methods. *Molecules*. 2023; 28(12):4824.
 13. Detopoulou P, Panagiotakos DB, Antonopoulou S, Pitsavos C, Stefanadis C. Dietary choline and betaine intakes in relation to concentrations of inflammatory markers in healthy adults: the ATTICA study. *Am J Clin Nutr*. 2008; 87(2):424-30.
 14. Lu XT, Wang YN, Mo QW, Huang BX, Wang YF, Huang ZH, et al. Effects of low-dose B vitamins plus betaine supplementation on lowering homocysteine concentrations among Chinese adults with hyperhomocysteinemia: a randomized, double-blind, controlled preliminary clinical trial. *Eur J Nutr*. 2023; 62(4):1599-1610.
 15. Willingham BD, Ragland TJ, Ormsbee MJ. Betaine Supplementation May Improve Heat Tolerance: Potential Mechanisms in Humans. *Nutrients*. 2020;12(10):2939.
 16. Cholewa JM, Hudson A, Cicholski T, Cervenka A, Barreno K, Broom K, Barch M, Craig SAS. The effects of chronic betaine supplementation on body composition and performance in collegiate females: a double-blind, randomized, placebo controlled trial. *J Int Soc Sports Nutr*. 2018 Jul 31;15(1):37.
 17. Veggi KFT, Machado M, Koch AJ, Santana SC, Oliveira SS, Stec MJ. Oral Creatine Supplementation Augments the Repeated Bout Effect. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2013; 23(4):378-387.
 18. Rosene J, Matthews T, Ryan C, Belmore K, Bergsten A, Blaisdell J, et al. Short and longer-term effects of creatine supplementation on exercise induced muscle damage. *J Sports Sci Med*. 2009; 8(1):89-96.
 19. Kim J, Lee J, Kim S, Yoon D, Kim J, Sung DJ. Role of Creatine supplementation in exercise-induced muscle damage: A mini review. *J Exerc Rehabil*. 2015; 11(5):244-50.
 20. Jiaming Y, Rahimi MH. Creatine supplementation effect on recovery following exercise-induced muscle damage: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Food Biochem*. 2021; 45(10):e13916.
 21. Kendrick IP, Harris RC, Kim HJ, Kim CK, Dang VH, Lam TQ, et al. The effects of 10 weeks of resistance training combined with beta-alanine supplementation on whole body strength, force production, muscular endurance and body composition. *Amino Acids*. 2008; 34(4):547-54.
 22. Baguet A, Bourgois J, Vanhee L, Achten E, Derave W. Important role of muscle carnosine in rowing performance. *J Appl Physiol* (1985). 2010; 109(4):1096-101.
 23. Blancquaert L, Everaert I, Missinne M, Baguet A, Stegen S, Volckaert A, et al. Effects of Histidine

- and β -alanine Supplementation on Human Muscle Carnosine Storage. *Med Sci Sports Exerc.* 2017 Mar;49(3):602-609.
24. Dunnett M, Harris RC. Influence of oral beta-alanine and L-histidine supplementation on the carnosine content of the gluteus medius. *Equine Vet J Suppl.* 1999;(30):499-504.
25. Creighton JV, de Souza Gonçalves L, Artioli GG, Tan D, Elliott-Sale KJ, Turner MD, et al. Physiological Roles of Carnosine in Myocardial Function and Health. *Adv Nutr.* 2022;13(5):1914-1929.
26. Schirinzi E, Ricci G, Torri F, Mancuso M, Siciliano G. Biomolecules of Muscle Fatigue in Metabolic Myopathies. *Biomolecules.* 2024; 14(1):50.
27. Wang CC, Lin SC, Hsu SC, Yang MT, Chan KH. Effects of Creatine Supplementation on Muscle Strength and Optimal Individual Post-Activation Potentiation Time of the Upper Body in Canoeists. *Nutrients.* 2017; 9(11):1169.
28. Hoffman JR, Ratamess NA, Kang J, Gonzalez AM, Beller NA, Craig SA. Effect of 15 days of betaine ingestion on concentric and eccentric force outputs during isokinetic exercise. *J Strength Cond Res.* 2011; 25(8):2235-41.
29. Stout JR, Cramer JT, Zoeller RF, Torok D, Costa P, Hoffman JR, et al. Effects of beta-alanine supplementation on the onset of neuromuscular fatigue and ventilatory threshold in women. *Amino Acids.* 2007; 32(3):381-6.