Complementary Medicine Journal
Arak University of Medical Sciences

Summer 2022. Vol 12. Issue 2

Research Paper

The Effect of Branched Chain Amino Acids and Vitamin E on Muscle Damage

Akram Rostami[1], **Arsalan Damirchi**[1], ***Maryam Ebrahimi**[1]

1. Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation Rostami A, Damirchi A, Ebrahimi M. [The Effect of Branched Chain Amino Acids and Vitamin E on Muscle Damage (Persian)]. Complementary Medicine Journal. 2022; 12(2):160-171. https://doi.org/10.32598/cmja.12.2.1143.1

https://doi.org/10.32598/cmja.12.2.1143.1

CC BY NC

Article Info:
Received: 14 Jan 2022
Accepted: 23 May 2022
Available Online: 01 Jul 2022

Kewords:
Exhaustive exercise, Creatine kinase, Lactate dehydrogenase, Supplementation

ABSTRACT

Objective The use of amino acid supplements among athletes for reducing muscle injuries has become more popular. This study aims to examine the effect of branched-chain amino acids (BCAA) consumption before exhaustive exercise along with one month vitamin E supplementation on lactate dehydrogenase (LDH) and creatine kinase (CK) levels of active females.

Methods In this study, 32 active female students of Razi University in Kermanshah, Iran aged 18-23 years were selected and, after obtaining the informed consent form them, were randomly divided into four groups of placebo (n=8), Vitamin E (n=8), BCAA (n=8), and Vitamin E+BCAA (n=). Vitamin E was consumed as 400 IU daily for a month and BCAA with lemon juice was consumed 2.5 hours before exercise four times with a 30-min interval. The exercise program included 30 minutes of cycling on an ergometer with 50% of the aerobic capacity, and immediately followed by cycling with 75% of the aerobic capacity until the exhaustion. Sampling was done immediately and 48 hours after the exercise, and data were analyzed using Shapiro-Wilk test, repeated measures ANOVA, Bonferroni test, and Pearson correlation test in SPSS software, version 22.

Results None of the supplements had a significant effect on levels of LDH and CK immediately after the exercise (P>0.05), but 48 hours after the exercise, the mean levels of LDH and CK decreased in BCAA group (CK: 199.4±11.00, LDH: 213.2±23.44) and Vitamin E+BCAA (CK: 188.3±3.20, LDH: 208.3±40.12) compared to Vitamin E and placebo groups (P = 0.001). Their lowest levels was observed in the Vitamin E+BCAA group which was negatively correlated to plasma leucine and isoleucine levels (P = 0.001).

Conclusion Although BCAA consumption alone before exhaustive exercise can reduce muscular damage indicators in active females, it seems that leucine and isoleucine along with Vitamin E supplementation is more effective in reducing muscular damage.

* *Corresponding Author:*
Maryam Ebrahimi, PhD.
Address: Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.
Tel: +98 (933) 2466907
E-mail: maryam.ebrahimi@guilan.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Branched-chain amino acids (BCAA) include leucine, isoleucine, and valine, among these supplements, which are essential amino acids and the body cannot produce them. BCAA acts as a nitrogen transporter and helps muscles to cooperate in the protein production process [2, 3]. Consumption of BCAA improves blood mononuclear cell proliferation and plasma glutamine concentration after long-term exercise [4].

Creatine kinase (CK) is a key enzyme that plays a role in muscle cell metabolism and accelerates the process of converting creatine to phosphate or vice versa [5]. Lactate dehydrogenase (LDH) is an enzyme that is found in the cytoplasm of all body tissues with different concentrations and increases the speed of the reaction in the conversion of pyruvic acid to lactic acid or vice versa in the anaerobic glycolysis pathway [5]. Most studies believe that BCAA is transformed into alpha-actoacids and then into succinyl-coa and acetyl-coa through a catabolic process and enters the Krebs cycle and ultimately helps energy metabolism during sports activities [8]. Exhaustive aerobic exercise causes muscle cell damage and release of muscle damage indicators (CK and LDH) into enters the bloodstream [8]. Vitamin E strengthens antioxidant enzymes and the body's immune system by reducing the resistance of tissues against lipid peroxidation caused by activity [12, 13]. Considering the effective roles of vitamin E supplement and BCAA consumption in muscle injuries, the question comes to mind if the simultaneous use of these two supplements has a difference effect on the indicators of muscle damage caused by exercise compared to their separate use? Therefore, this study aims to assess the effect of consuming BCAA after a period of vitamin E supplementation on muscle damage indicators in active women.

Methods

In this quasi-experimental study, 32 active female students (with regular activity at least two days a week) of Razi University in Kermanshah, Iran aged 18-23 years were selected using a convenience sampling method. After matching for body mass index, they were randomly divided into four groups including placebo (n=8), Vitamin E (n=8), BCAA (n=8), and Vitamin E+BCAA (n=). No metabolic diseases, BMI of 19-25, normal state based on PAR-Q score, no skeletal-muscular injuries, and no use of supplements or certain drugs were the inclusion criteria. The exclusion criteria were using vitamin E tablets regularly, having problems in performing the exercises, withdrawal or lack of cooperation.

Results

The findings showed that the exhaustive aerobic exercise increased the subjects' CK and LDH levels (P=0.001); their levels in the placebo (P=0.001) and Vitamin E groups (P=0.001 for LDH and 0.033 P for CK) was still greater than pre-activity values up to 48 hours after exercise. The LDH serum level was lower 48 hours after the activity compared to the values immediately after the activity in the BCAA and Vitamin E + BCAA groups (P=0.001). Furthermore, 48 hours after the activity, the LDH level of subjects in the BCAA group was lower than in the placebo (P=0.041) and Vitamin E (P = 0.021) groups, and the LDH of the subjects in the Vitamin E + BCAA group was also lower than in the placebo and Vitamin E group (P=0.001). The lowest amount of LDH was observed in the Vitamin E + BCAA group. The serum level of CK, 48 hours after the activity compared to its values immediately after the activity, significantly decreased in the BCAA and Vitamin E + BCAA groups (P=0.001) which was lower than in the placebo and Vitamin E groups (P=0.001). The lowest amount of CK was observed in the Vitamin E+BCAA group.

Discussion

According to the findings of the present study, the exhaustive aerobic exercise increased the levels of CK and LDH, which continued up to 48 hours after the activity. One month of Vitamin E consumption alone had no significant effect on the levels of CK and LDH enzymes. However, taking a dose of BCAA before exercise caused a significant decrease in the levels of the aforementioned enzymes 48 hours after exercise, and interestingly, the reducing effect of BCAA was greater when it was combined with vitamin E supplementation. Although the consumption of Vitamin E alone could not lead to a significant change (decrease) in the levels of CK and LDH enzymes, it had a reducing effect on the levels of the two mentioned enzymes. Since exercise affects the metabolism of amino acids, during the training conditions, there is an increase in the catabolism of amino acids. The oxidation of branched amino acids, especially leucine, with the increase of training intensity has been reported [30]. However, in this case, we can mention the anti-catabolic effects of consuming BCAA during and after exercise. Performing exercises regularly and with the proper intensity can cause many physiological adaptations in the

body; however, in case of lack of physical preparation or in exhaustive activities, there is a possibility of injury in muscle cells [31].

Taking a dose of BCAA alone reduces the indicators of muscle damage for up to 48 hours after exhaustive aerobic activity; however, its effect seems to be greater when is combined with Vitamin E supplementation. It seems that leucine and isoleucine amino acids (not valine acid) are effective in reducing the indicators of muscle damage.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the Ethics Committee of Guilan University of Medical Sciences (Code: IR.GUMS.REC.1398.137).

Funding

This research did not receive any grant from funding agencies in the public, commercial, or non-profit sectors.

Authors' contributions

All authors equally contributed to preparing this article.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

اثر مصرف آمینواسیدهای شاخه‌دار و ویتامین ای بر آسیب عضلانی

اکرم رستمی[۱]، ارسلان دمیرچی[۱]، *مریم ابراهیمی[۱]

۱. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation Rostami A, Damirchi A, Ebrahimi M. [The Effect of Branched Chain Amino Acids and Vitamin E on Muscle Damage (Persian)]. Complementary Medicine Journal. 2022; 12(2):160-171. https://doi.org/10.32598/cmja.12.2.1143.1

https://doi.org/10.32598/cmja.12.2.1143.1

اطلاعات مقاله:
تاریخ دریافت: ۲۴ دی ۱۴۰۰
تاریخ پذیرش: ۰۲ خرداد ۱۴۰۱
تاریخ انتشار: ۱۰ تیر ۱۴۰۱

چکیده

هدف امروزه بین ورزشکاران به مصرف مکمل‌های آمینو اسید با هدف کاهش آسیب‌های عضلانی بیش از گذشته توجه شده است. هدف پژوهش حاضر، بررسی اثر مصرف ۱ دُز آمینواسیدهای شاخه‌دار پیش از فعالیت وامانده‌ساز به همراه ۱ ماه مکمل‌دهی ویتامین ای بر آنزیم‌های کراتین کیناز و لاکتات دهیدروژناز زنان فعال بود.

روش‌ها تعداد ۳۲ نفر از دانشجویان زن فعال دانشگاه رازی کرمانشاه با دامنه سنی ۱۸ تا ۲۳ سال به‌صورت در دسترس و براساس معیارهای ورود به مطالعه انتخاب شده و پس از اخذ فرم رضایت‌نامه آگاهانه به‌طور تصادفی در ۴ گروه ۸ نفره دارونما، ویتامین ای، گروه آمینواسیدهای شاخه‌دار و آمینواسیدهای شاخه‌دار / ویتامین ای قرار گرفتند. ویتامین ای روزانه ۱ عدد کپسول معادل ۴۰۰ واحد بین‌المللی و گروه آمینواسیدهای شاخه‌دار به‌صورت طعم‌دارشده با آبلیمو از ۲ ساعت و نیم قبل از انجام فعالیت در ۴ نوبت با فاصله زمانی ۳۰ دقیقه مصرف شد. آزمون شامل ۳۰ دقیقه فعالیت با ۵۰ درصد توان هوازی و بلافاصله فعالیت با ۷۵ درصد توان هوازی تا حد واماندگی روی دوچرخه کارسنج بود. نمونه‌گیری از آزمودنی‌ها بلافاصله و ۴۸ ساعت بعد از فعالیت انجام شده و داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ در سطح $\alpha=0/05$ با آزمون‌های شاپیرو ویلک، آنالیز واریانس با اندازه‌گیری تکراری، آزمون تعقیبی بونفرونی و همبستگی پیرسون تجزیه‌وتحلیل شدند.

یافته‌ها اثر هیچ‌کدام از مکمل‌ها بر سطوح لاکتات دهیدروژناز و کراتین کیناز بلافاصله پس از فعالیت معنادار نبود ($P<0/05$)، اما میانگین سطوح کراتین کیناز و لاکتات دهیدروژناز ۴۸ ساعت پس از فعالیت در گروه‌های آمینواسیدهای شاخه‌دار (CK=۱۹۹/۴±۱۱/۰۰، LDH=۲۱۳/۲±۲۳/۴۴) و آمینواسیدهای شاخه‌دار / ویتامین ای (CK=۱۸۸/۳±۳/۲۰، LDH=۲۰۸/۳±۴۰/۱۲) نسبت به گروه‌های دارونما و ویتامین ای نیز پایین‌تر بود ($P=0/001$) و کمترین مقدار آن‌ها نیز در گروه آمینواسیدهای شاخه‌دار و آمینواسیدهای شاخه‌دار / ویتامین ای مشاهده شد که با سطوح پلاسمایی لوسین و ایزولوسین ارتباط منفی قابل‌توجهی داشت ($P=0/001$).

نتیجه‌گیری با اینکه مصرف آمینواسیدهای شاخه‌دار به‌تنهایی پیش از فعالیت وامانده‌ساز باعث کاهش شاخص‌های آسیب عضلانی شد، اما به نظر می‌رسد مصرف لوسین و ایزولوسین در کنار مکمل‌دهی ویتامین ای اثر بیشتری در کاهش آسیب عضلانی داشته باشد.

کلیدواژه‌ها:
فعالیت وامانده‌ساز، کراتین کیناز، لاکتات دهیدروژناز، مکمل‌دهی ورزشی

* نویسنده مسئول:
دکتر مریم ابراهیمی
نشانی: رشت، دانشگاه گیلان، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی.
تلفن: ۲۴۶۶۹۰۷ (۹۳۳) ۹۸+
رایانامه: maryam.ebrahimi@guilan.ac.ir

مقدمه

امروزه، مکمل‌های زیادی با هدف بهبود عملکرد، بهبود ترکیب بدنی، افزایش قدرت عضلانی و بازیافت پس از تمرین شدید توسط ورزشکاران مصرف می‌شوند [۱]. آمینواسیدهای شاخه‌دار[1] شامل لوسین، ایزولوسین و والین، ازجمله این مکمل‌ها هستند که از خانواده آمینواسیدهای ضروری بوده و بدن قادر به تولید آن‌ها نیست. آمینواسیدهای شاخه‌دار به‌عنوان ناقل نیتروژن عمل کرده و عضلات را برای همکاری در فرایند پروتئین‌سازی یاری می‌کنند [۲، ۳].

مصرف آمینواسیدهای شاخه‌دار تکثیر سلول‌های تک‌هسته‌ای خون و غلظت گلوتامین پلاسمایی بعد از فعالیت ورزشی طولانی مدت را بهبود می‌بخشد [۴]. این ممانعت از کاهش غلظت‌های گلوتامین پلاسمایی اجازه می‌دهد تا پاسخ لنفوسیت‌ها مانند تولید سایتوکاین‌ها به شکل بهینه‌ای تنظیم شود [۵، ۶]. بااین‌حال، شواهد مربوط به نقش مکمل‌هایی نظیر آمینواسیدهای شاخه‌دار در ارتباط با ایمنی و آسیب عضلانی هنوز هم مورد بحث است [۷].

بیشتر پژوهشگران بر این باورند که آمینواسیدهای شاخه‌دار از طریق یک فرایند کاتابولیک به آلفاکتواسیدها و سپس به سوکسنیل‌کوا و استیل‌کوا تبدیل و وارد چرخه کربس شده و درنهایت به متابولیسم انرژی در جریان فعالیت‌های ورزشی کمک می‌کند [۸]. همچنین نتایج مطالعات نشان‌دهنده این هستند که مصرف آمینواسیدهای شاخه‌دار قبل از فعالیت، ریکاوری را بهبود بخشیده و درد عضلانی ناشی از کوفتگی بعد از تمرین شدید را تخفیف می‌دهد [۹].

از طرفی، معلوم شده ورزش هوازی وامانده‌ساز باعث آسیب سلول عضلانی و رهاسازی شاخص‌های آسیب عضلانی نظیر کراتین کیناز[2] و لاکتات دهیدروژناز[3] درون جریان خون می‌شود [۸]. کراتین کیناز آنزیم کلیدی است که در سوخت‌وساز سلول عضلانی نقش داشته و روند تبدیل کراتین به فسفات یا برعکس را تسریع می‌کند [۵]. این آنزیم که در افراد سالم داخل غشای سلول قرار دارد و مقدار آن در خون پایین است، فقط در عضله اسکلتی و قلبی یافت می‌شود. بنابراین تخریب خطوط Z و صدمه سارکولما، انتشار آنزیم کراتین کیناز را به درون آب میان بافتی امکان‌پذیر می‌کند که افزایش این ماده در خون ممکن است نشانه آسیب عضلانی و التهاب باشد [۶].

لاکتات دهیدروژناز نیز آنزیمی است که به مقدار فراوان در سیتوپلاسم تمام بافت‌های بدن با غلظت‌های متفاوت یافت می‌شود و در تبدیل اسید پیرویک به اسید لاکتیک یا بالعکس در مسیر گلیکولیز بی‌هوازی باعث افزایش سرعت این واکنش می‌شود [۵].

1. Branched-Chain Amino Acid (BCAA)
2. Creatine kinase
3. Lactate Dehydrogenase

دراین‌راستا، فدوآ و همکاران در متاآنالیزی به بررسی تأثیر مصرف آمینواسیدهای شاخه‌دار بر کوفتگی عضلانی پس از فعالیت‌های ورزشی در بزرگسالان پرداخته و نشان داده‌اند مصرف مکمل آمینواسیدهای شاخه‌دار به شکل معناداری موجب کاهش میزان کوفتگی عضلانی پس از فعالیت‌های ورزشی می‌شود [۱۰]. ون داسل‌درپ و همکاران در مطالعه‌ای میزان تأثیر مصرف ۸ روزه مقدار ۷/۱۶ گرم لوسین، ۱ گرم ایزولوسین، ۲ گرم والین را به‌دنبال فعالیت شدید بررسی کردند و نشان دادند غلظت کراتین کیناز، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از فعالیت نسبت به سطح پایه (پیش‌آزمون) بالاتر و میزان درد عضلانی آزمودنی‌های گروه مکمل نسبت به گروه دارونما در ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از تمرین کمتر بود [۱۱].

علاوه بر آمینواسیدهای شاخه‌دار، پژوهشگران درزمینه مکمل‌های مؤثر در کاهش آسیب‌های عضلانی به نقش مؤثر مکمل‌های تغذیه‌ای، ازجمله ویتامین ای در تقویت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و سیستم ایمنی بدن اشاره کرده‌اند. ویتامین ای از طریق کاهش مقاومت بافت‌ها در مقابل پراکسیداسیون لیپید ناشی از فعالیت، موجب تقویت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و سیستم ایمنی بدن می‌شود [۱۲، ۱۳].

گزارش شده کمبود ویتامین ای به تولید رادیکال‌های آزاد در کبد و عضله‌ها، افزایش پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و همچنین اختلال در عملکرد میتوکندری پس از ورزش درمانده‌ساز منجر می‌شود. چو و همکاران نشان دادند مصرف کوتاه‌مدت (۴ روزه) ویتامین ای می‌تواند به‌طور مؤثری باعث کاهش آسیب بافتی ناشی از فعالیت شود [۱۴، ۱۵]. همچنین سانتوس و همکاران نشان دادند مصرف ویتامین ای ۱ ساعت قبل از فعالیت ورزشی موجب کاهش معنادار کراتین کیناز و لاکتات دهیدروژناز می‌شود [۱۶، ۱۷].

همان‌طور که اشاره شد هم مصرف ویتامین ای و هم مصرف مکمل آمینواسیدهای شاخه‌دار می‌توانند اثرات مثبت و قابل‌توجهی بر میزان پیشگیری آسیب ناشی از فعالیت، کاهش میزان کوفتگی عضلانی و افزایش تقویت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و سیستم ایمنی بدن داشته باشند. بنابراین احتمالاً مصرف هم‌زمان این ۲ مکمل با یکدیگر علاوه بر اثرات هم‌افزایی به خاطر خاصیت آنتی‌اکسیدانی و پاکسازی رادیکال‌های آزاد و همچنین نقش مؤثر ویتامین ای بر شکستن زنجیره واکنش‌های رادیکال‌های آزاد در اجزای چربی‌های غشا و واکوئل‌ها و بهبود فرایند لیپوپروتئین‌های پلاسما [۱۸، ۱۹] بتوانند به‌عنوان یک سازوکار قوی و مؤثر بر کاهش شاخص‌های آسیب عضلانی باشند.

اگرچه دراین‌زمینه تاکنون پژوهشی به‌صورت خاص و هدفمند انجام نشده، اما همان‌گونه که بیان شد باتوجه‌به نقش مؤثر مکمل ویتامین ای در پیشگیری از آسیب‌های عضلانی و از طرفی، آثار مصرف آمینواسیدهای شاخه‌دار در آسیب‌های عضلانی، این سؤال

به ذهن می‌آید که آیا مصرف هم‌زمان این ۲ مکمل در مقایسه با مصرف جداگانه تفاوتی بر شاخص‌های آسیب عضلانی ناشی از فعالیت ورزشی دارد؟ ازاین‌رو، این پژوهش با هدف بررسی اثر مصرف ۱ دُز آمینواسیدهای شاخه‌دار پس از ۱ دوره مکمل‌دهی ویتامین ای بر شاخص‌های آسیب عضلانی زنان فعال انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه نیمه‌تجربی، ۳۲ نفر از دانشجویان زن فعال (فعالیت منظم حداقل ۲ روز در هفته) دانشگاه رازی کرمانشاه با دامنه سنی ۱۸ تا ۲۳ سال به‌صورت در دسترس و داوطلبانه انتخاب شده و پس از همگن‌سازی، براساس شاخص توده بدنی[4]، به‌طور تصادفی به ۴ گروه ۸ نفره دارونما، ویتامین ای، گروه آمینواسیدهای شاخه‌دار و آمینواسیدهای شاخه‌دار / ویتامین ای تقسیم شدند. ابتلا به بیماری‌های متابولیک، شاخص توده بدنی کمتر از ۱۹ یا بیشتر از ۲۵، پرسش‌نامه آمادگی فعالیت بدنی[5] غیرطبیعی، آسیب‌های اسکلتی‌عضلانی و همچنین مصرف نکردن مکمل‌ها و یا داروی خاصی از معیارهای ورود به پژوهش بودند و معیارهای خروج از پژوهش شامل استفاده نکردن منظم از قرص ویتامین ای، ایجاد مشکل در اجرای پروتکل تمرین ورزشی، انصراف و همکاری نکردن آزمودنی بود.

باتوجه‌به جنسیت آزمودنی‌ها، کسانی مدنظر قرار گرفتند که در مرحله لوتئال دوره ماهیانه قرار داشتند. پس از تکمیل یادآمد غذایی ۲۴ ساعته، فرم وضعیت سلامت و رضایت‌نامه آگاهانه، اندازه‌گیری‌های آنتروپومتریک و نمونه‌گیری خونی از آزمودنی‌ها انجام شد. گروه مکمل ویتامین ای، ۱ ماه روزانه معادل ۴۰۰ واحد بین المللی ویتامین ای به همراه آب [۲۰]، گروه آمینواسیدهای شاخه‌دار و آمینواسیدهای شاخه‌دار / ویتامین ای ۲ ساعت و نیم قبل از انجام فعالیت در ۴ نوبت و در فاصله زمانی ۳۰ دقیقه‌ای یک‌چهارم از مکمل آمینواسیدهای شاخه‌دار به میزان ۲۱۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن (قرص ۱ گرمی حاوی ۵۰ درصد لوسین، ۲۵ درصد ایزولوسین و ۲۵ درصد والین) در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب به‌صورت طعم‌دارشده با آبلیمو و گروه دارونما نوشیدنی غیرکالریک آب طعم‌دارشده با لیمو، نمک و شیرین‌کننده‌های مصنوعی مصرف کردند [۲۱].

در روز آزمون، آزمودنی‌ها ۳۰ دقیقه با شدت ۵۰ درصد توان هوازی روی دوچرخه کارسنج به فعالیت پرداخته و بلافاصله بعد از این مدت نیز با ۷۵ درصد توان هوازی تا حد واماندگی به فعالیت ادامه دادند. درنهایت، بلافاصله بعد از تمرین و ۴۸ ساعت بعد از آن مجدداً از همه آزمودنی‌ها نمونه‌گیری توسط شخص ماهر از محل ورید بازویی و به میزان ۴ میلی‌لیتر گرفته شد. پس از انتقال به آزمایشگاه پاتوبیولوژی، نمونه‌های خونی در ۷ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند و سطوح سرمی کراتین کیناز به‌روش رنگ‌سنجی شیمیایی (با حساسیت ۱ واحد بر لیتر و ضریب تغییرات ۱/۶ درصد) و لاکتات دهیدروژناز به روش رنگ‌سنجی آنزیمی (با حساسیت ۵ واحد بر لیتر و ضریب تغییرات ۱/۲ درصد) انجام شد [۲۱، ۲۲].

برای بررسی ارتباط بین سطوح سرمی آنزیم‌ها با سطح آمینواسیدهای شاخه‌دار پلاسما، غلظت آمینواسیدهای لوسین، ایزولوسین و والین نیز به‌روش HPLC توسط دستگاه Younglin – AcmE 9000 – HPLC ساخت کره جنوبی استفاده شد. داده‌های به‌دست‌آمده با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ در سطح α=۰/۰۵ با آزمون‌های شاپیرو ویلک، آنالیز واریانس با اندازه‌گیری تکراری، آزمون تعقیبی بونفرونی و همبستگی پیرسون تجزیه‌وتحلیل شدند. مطالعه حاضر را کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم‌پزشکی گیلان با کد اخلاق به‌شماره IR.GUMS.REC.1398.137 تأیید کرده است.

یافته‌ها

جدول شماره ۱، ویژگی آزمودنی‌ها و مقدار دریافت درشت‌مغذی‌ها ۲۴ ساعت قبل از فعالیت را نشان می‌دهد. یافته‌ها نشان دادند فعالیت وامانده‌ساز در مطالعه حاضر، باعث افزایش سطوح کراتین کیناز (۲۰ درصد در گروه دارونما، ۱۷ درصد در گروه آمینواسیدهای شاخه‌دار، ۱۹ درصد در گروه ویتامین ای و ۱۵ درصد در گروه آمینواسیدهای شاخه‌دار / ویتامین ای) و لاکتات دهیدروژناز (۱۴/۹ درصد در گروه دارونما، ۷/۵ درصد در گروه آمینواسیدهای شاخه‌دار، ۷/۱ درصد در گروه ویتامین ای و ۵/۵ درصد در گروه آمینواسیدهای شاخه‌دار / ویتامین ای) آزمودنی‌ها شد (P=۰/۰۰۱) و سطح آن‌ها در گروه‌های دارونما (P=۰/۰۰۱) و ویتامین ای (P=۰/۰۰۱ برای لاکتات دهیدروژناز و P=۰/۰۳۳ برای کراتین کیناز) تا ۴۸ ساعت پس از فعالیت همچنان بیش از مقادیر پیش از فعالیت بود (جدول شماره ۲).

سطح سرمی لاکتات دهیدروژناز نیز ۴۸ ساعت پس از فعالیت در مقایسه با مقادیر بلافاصله پس از فعالیت در گروه‌های آمینواسیدهای شاخه‌دار (۲~ درصد) و آمینواسیدهای شاخه‌دار / ویتامین ای (۴~ درصد) پایین‌تر بود (P=۰/۰۰۱). همچنین ۴۸ ساعت پس از فعالیت سطح لاکتات دهیدروژناز آزمودنی‌های گروه آمینواسیدهای شاخه‌دار نسبت به گروه دارونما (P=۰/۴۱) و ویتامین ای (P=۰/۰۲۱) و لاکتات دهیدروژناز آزمودنی‌های گروه آمینواسیدهای شاخه‌دار / ویتامین ای نیز نسبت به گروه دارونما و ویتامین ای کمتر بود (P=۰/۰۰۱) که کمترین مقدار لاکتات دهیدروژناز بین گروه‌ها در مصرف ترکیبی آمینواسیدهای شاخه‌دار و ویتامین ای مشاهده شد (تصویر شماره ۱ و جدول شماره ۲).

4. Body Mass Index (BMI)
5. Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q)

جدول ۱. ویژگی آزمودنی‌ها

شاخص	میانگین±انحراف معیار
سن (سال)	۱۸/۶۹±۲/۳۰
قد (سانتی‌متر)	۱۵۹/۷۹±۲/۵۷
وزن (کیلوگرم)	۵۵/۹۸±۲/۸۰
شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر مترمربع)	۲۳/۹۳±۱/۷۸
کالری دریافتی ۲۴ ساعت قبل از فعالیت (کیلوکالری)	۲۶۱۶/۵±۲/۹۶
کربوهیدرات دریافتی ۲۴ ساعت قبل از فعالیت (گرم)	۳۵۵/۰±۲/۹۴
چربی دریافتی ۲۴ ساعت قبل از فعالیت (گرم)	۴۰/۵۰±۲/۵۲
پروتئین دریافتی ۲۴ ساعت قبل از فعالیت (گرم)	۱۴۷/۰±۳/۰۹

مجله طب مکمل
دانشگاه علوم پزشکی اراک

سطح سرمی کراتین کیناز، ۴۸ ساعت پس از فعالیت در مقایسه با مقادیر آن بلافاصله پس از فعالیت در گروه‌های آمینواسیدهای شاخه‌دار (۹~ درصد) و آمینواسیدهای شاخه‌دار / ویتامین ای (۱۱~ درصد) به‌طور معناداری کاهش یافته (P=/۰۰۱) و نسبت به گروه دارونما و ویتامین ای نیز پایین‌تر بود (P=۰/۰۰۱) و کمترین مقدار آن در گروه مصرف ترکیبی آمینواسیدهای شاخه‌دار و ویتامین ای مشاهده شد (تصویر شماره ۲ و جدول شماره ۲).

همچنین آزمون همبستگی پیرسون نشان داد سطح سرمی کراتین کیناز و لاکتات دهیدروژناز با سطوح پلاسمایی لوسین (۰/۵۰۵- =r برای کراتین کیناز و r=-۰/۶۷۸ برای لاکتات دهیدروژناز) و ایزولوسین (r=-۰/۷۰۱ برای کراتین کیناز و r=-۰/۶۹۱ برای لاکتات دهیدروژناز) ارتباط منفی قابل‌توجهی داشت (P=۰/۰۰۱)، اما این ارتباط بین والین و شاخص‌های مذکور مشاهده نشد (P>۰/۰۵).

بحث

هدف از این مطالعه، بررسی اثر مصرف ۱ دُز آمینواسیدهای شاخه‌دار پیش از فعالیت واماندەساز به همراه ۱ ماه مکمل‌دهی ویتامین ای بر آنزیم‌های کراتین کیناز و لاکتات دهیدروژناز زنان فعال بود. یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد فعالیت واماندەساز باعث افزایش سطوح کراتین کیناز و لاکتات دهیدروژناز شد که تا ۴۸ ساعت پس از فعالیت نیز همچنان ادامه داشت. این مطلب نشان‌دهنده این است که اجرای برنامه تمرینی به میزان مناسب و کافی توانست موجب خستگی شود. این روند افزایشی در مطالعه شیخ‌الاسلامی و همکاران نیز به همین شکل بوده است و میزان کراتین‌کینار و لاکتات‌دهیدروژناز در مطالعه مذکور بلافاصله پس از تمرین و حتی روز پس از فعالیت نسبت به قبل تمرین با افزایش معناداری مواجه بود [۲۳] که با نتایج پژوهش حاضر همسو است.

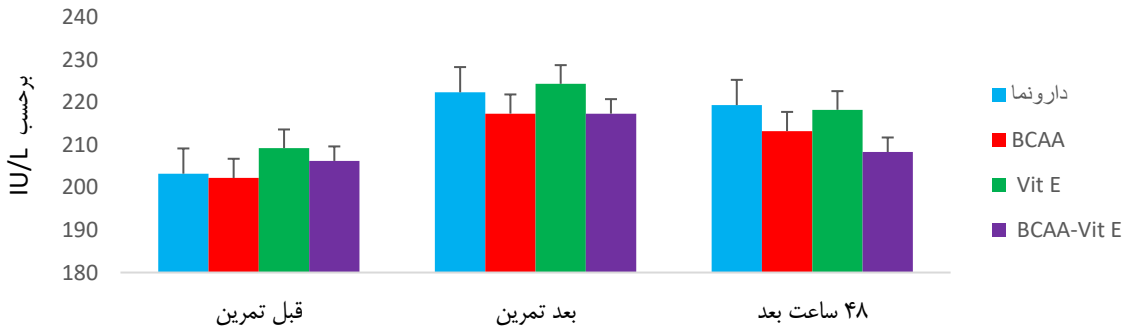
جدول ۲. میانگین و انحراف معیار سطوح سرمی کراتین کیناز و لاکتات دهیدروژناز در گروه‌های مختلف

شاخص	نوبت / گروه	دارونما	BCAA	Vit E	BCAA-Vit E
		میانگین±انحراف معیار			
کراتین کیناز (IU/L)	پیش از فعالیت	۱۷۹/۲±۵/۰۱	۱۸۶/۳±۱۹/۴۳	۱۸۱/۳±۲۴/۰۳	۱۸۲/۳±۲۲/۰۰
	پس از فعالیت	۲۱۴/۳±۳۰/۲۴*	۲۱۸/۳±/۲۰*	۲۱۵/۲±۱۳/۱۰*	۲۱۰/۳±۹/۴۵*
	۴۸ ساعت بعد	۲۰۵/۳±۳۱/۰۰	۱۹۹/۴±۱۱/۰۰**	۲۰۸/۲±۱۳/۴۰	۱۸۸/۳±۳/۲۰**
لاکتات دهیدروژناز (IU/L)	پیش از فعالیت	۲۰۳/۲±۶۰/۸۶	۲۰۲/۲±۱۰/۴۵	۲۰۹/۲±۲۷/۵۰	۲۰۶/۲±۶۰/۶۴
	پس از فعالیت	۲۲۲/۳±۲۱/۴۵*	۲۱۷/۳±۲۲/۰۰*	۲۲۴/۳±۱۴/۰۱*	۲۱۷/۳±۹۶/۹*
	۴۸ ساعت بعد	۲۱۹/۳±۳۲/۱۱	۲۱۳/۲±۲۳/۴۴**	۲۱۸/۲±۲۰/۵۱	۲۰۸/۳±۴۰/۱۲**

مجله طب مکمل
دانشگاه علوم پزشکی اراک

*تفاوت معنادار با مقادیر پیش از فعالیت

**تفاوت معنادار با مقادیر بلافاصله پس از فعالیت و تفاوت معنادار با گروه‌های دارونما و ویتامین ای (α<۰/۰۵)



تصویر ۱. میانگین و انحراف معیار سطح لاکتات دهیدروژناز در گروه‌های پژوهش

پژوهش حاضر نشان داد ۱ ماه مصرف ویتامین ای به‌تنهایی اثر معناداری بر سطوح آنزیم‌های کراتین کیناز و لاکتات دهیدروژناز نداشت، اما مصرف ۱ دُز آمینواسیدهای شاخه‌دار پیش از فعالیت باعث کاهش معناداری در سطوح آنزیم‌های مذکور در ۴۸ ساعت پس از فعالیت داشت و جالب آنکه اثر کاهنده آمینواسیدهای شاخه‌دار در ترکیب با مکمل‌دهی ویتامین ای بیشتر بود.

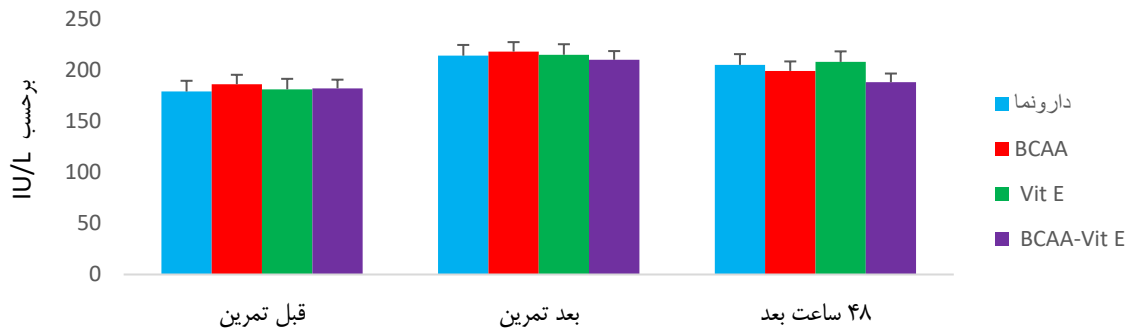
درباره مصرف ویتامین ای به‌تنهایی بر سطوح آنزیم‌های کراتین کیناز و لاکتات دهیدروژناز می‌توان گفت اگرچه مصرف این مکمل به‌تنهایی نتوانست موجب تغییر معناداری (کاهش) سطوح آنزیم‌های کراتین کیناز و لاکتات دهیدروژناز شود، اما مصرف این ویتامین، اثر کاهنده‌ای بر سطوح ۲ آنزیم مذکور داشت. تقی‌یار و همکاران در مطالعه کارآزمایی بالینی به بررسی تأثیر مصرف ویتامین سی و ای بر آسیب عضلانی و استرس اکسیداتیو ورزشکاران زن پرداخته و بیان کرده‌اند مصرف ویتامین سی و ای تأثیر معناداری در کاهش شاخص‌های آسیب عضلانی دارد، اما مصرف مکمل ویتامین ای به‌تنهایی فقط موجب کاهش مقدار لاکتات دهیدروژناز می‌شود [۲۰، ۳۳]. بنابراین می‌توان استدلال کرد که احتمالاً کاهش معنادار شاخص‌های آسیب عضلانی بیشتر به‌خاطر تأثیرات هم‌افزایی مصرف هم‌زمان ویتامین سی و ای بوده است.

کاشف در مطالعه‌ای دیگر با بررسی تأثیر ویتامین ای بر کاهش کوفتگی عضلانی تأخیری در مردان جوان نشان داد مصرف مکمل ویتامین ای در روند بهبود کوفتگی عضلانی ناشی از تمرینات اثر معناداری ندارد [۲۴] که این یافته با نتایج پژوهش حاضر همسو است.

از دیگر یافته‌های مهم این پژوهش این بود که مصرف یک دُز آمینواسیدهای شاخه‌دار به تنهایی و به‌همراه مصرف ویتامین ای پیش از فعالیت باعث کاهش معناداری در سطوح آنزیم‌های مذکور در ۴۸ ساعت پس از فعالیت شد و مصرف هم‌زمان این ۲ مکمل اثرات معنادار قوی‌تری بر سطوح آنزیم‌های مذکور داشت.

نتایج پژوهش‌های انجام‌شده نشان‌دهنده این است که انجام تمرینات ورزشی فزاینده، به‌ویژه تمرینات شدید مقاومتی، اکسیداسیون آمینواسیدهای شاخه‌دار را تحریک کرده و باعث تخلیه منابع آمینواسیدهای شاخه‌دار در عضلات فعال می‌شود. به‌طوری‌که استفاده از مکمل مناسب می‌تواند از این اثرات جلوگیری کند [۲].

آسیب‌های عضلانی ناشی از تمرینات مقاومتی، سبب افزایش جذب آمینواسیدهای شاخه‌دار از سرم به عضله اسکلتی می‌شود و این عمل جهت استفاده به‌عنوان منبع انرژی یا شرکت در



تصویر ۲. میانگین و انحراف معیار سطح کراتین کیناز در گروه‌های پژوهش

مسیرهای آغازگر ترجمه می‌شود. بنابراین استفاده از مکمل می‌تواند سبب جایگزینی این منابع شده و آسیب را کاهش دهد [۲۴]. این مسئله می‌تواند توجیه مناسبی برای نتایج مشاهده‌شده در تحقیق حاضر، یعنی پایین‌تر بودن آنزیم لاکتات دهیدروژناز ۴۸ ساعت بعد از تمرین با مصرف آمینواسیدهای شاخه‌دار باشد.

نتایج پژوهش‌های انجام‌شده نشان‌دهنده این است که کوفتگی عضلانی با آسیب عضلانی ارتباط مستقیم دارد و مصرف اسیدهای آمینه شاخه‌دار می‌تواند تنظیم‌کننده متابولیسم پروتئین و همچنین بازدارنده تجزیه پروتئین ازطریق سیستم mTOR[6] باشند [۲۵]. این یافته نشان‌دهنده این است که مصرف مکمل آمینواسیدهای شاخه‌دار قبل و بعد از تمرین می‌تواند موجب تسریع ریکاوری عضلات آسیب‌دیده شود و همچنین باعث رهاسازی اسیدهای آمینه ضروری از عضلات تمرین‌کرده شده و موجب جلوگیری از تجزیه پروتئین عضلات شود [۲۶].

نتایج تحقیقاتی که نشان‌دهنده سودمندی این مکمل‌ها هستند، بیان‌کننده این سازوکار احتمالی هستند که فعالیت‌های ورزشی مقاومتی و اسیدهای آمینه، سنتز پروتئین را تحریک کرده و هنگامی که با هم ترکیب شوند، اثرات بیشتری دارند. باتوجه‌به اینکه تمرینات وامانده‌ساز میزان تجزیه پروتئین‌های عضلانی را افزایش می‌دهند [۲۷]، دریافت اسیدهای آمینه برای به‌دست آوردن تعادل پروتئینی مثبت نیز ضروری است [۱۴].

ازسوی‌دیگر، نشان داده شد اسیدهای آمینه شاخه‌دار ازطریق فرایند کاتابولیک به آلفاکتواسیدها و درنهایت به سوکسینیل‌کوآ و استیل‌کوآ تبدیل شده و وارد چرخه کربس می‌شوند. این اسیدهای آمینه می‌توانند برخلاف دیگر آمینواسیدها در عضلات متابولیزه شده و منبع انرژی باشند یا از شکست پروتئین عضلات جلوگیری کنند [۸]. بنابراین باتوجه‌به نقش مؤثر این مکمل‌های آمینواسیدی در کاهش تجزیه پروتئین‌ها در ورزش‌های طولانی‌مدت و وامانده‌ساز، احتمالاً یکی از علل اساسی کاهش سطح سرمی کراتین کیناز در ۲ گروه آمینواسیدهای شاخه‌دار و آمینواسیدهای شاخه‌دار / ویتامین ای می‌تواند همین عامل باشد.

این نتایج با یافته‌های فدوا و همکاران، ون‌داسلدورپ و همکاران، هاوتسون و همکاران، مسجدی و همکاران و توفیقی و همکاران همسو و با نتایج تحقیقات تقی‌یار و همکاران و رواسی و همکاران ناهمسو هستند [۱۰، ۱۱، ۱۵-۱۷، ۲۰، ۲۴، ۲۸، ۲۹]. تفاوت نتایج مطالعه حاضر با برخی از این تحقیقات می‌تواند متفاوت بودن سطح فعالیت بدنی آزمودنی‌ها و نوع پروتکل تمرینی باشد.

برای مثال، در مطالعه رواسی و همکاران، افراد غیرورزشکار ۳۰ دقیقه روی نوارگردان با شیب ۱۰- درصد و با ۶۵ درصد VO_{2max} به فعالیت پرداختند. حال آنکه در تحقیق حاضر، آزمودنی‌های زن فعال ۳۰ دقیقه با شدت ۵۰ درصد توان هوازی و بلافاصله بعد از این مدت با ۷۵ درصد توان هوازی به فعالیت پرداختند. ون‌داسلدورپ و همکاران در تحقیق خود به بررسی تأثیر مصرف مکمل آمینواسیدهای شاخه‌دار بر ریکاوری بعد از تمرینات شدید پرداختند. این پژوهشگران نشان دادند غلظت کراتین کیناز هم در گروه دارونما و هم در گروه مکمل در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از تمرین نسبت به سطح پایه (پیش‌آزمون) بالاتر بود و همچنین، میزان کراتین کیناز در گروه مکمل در بازه زمانی ۴۸ ساعت بعد از تمرین پایین‌تر از گروه دارونما بود [۱۱].

کیهانی بروجنی و همکاران با بررسی تأثیر مصرف آمینواسیدهای شاخه‌دار بر شاخص‌های آسیب عضلانی به دنبال فعالیت برون‌گرا در بازیکنان بسکتبال مرد بیان کردند همه متغیرهای عملکردی و بیوشیمیایی آزمودنی‌ها در هر ۲ گروه مکمل اسیدهای آمینه شاخه‌دار و دارونما پس از تمرین برون‌گرا در مقایسه با حالت پایه افزایش معناداری داشت [۱۳].

شیخ‌الاسلامی و همکاران در مطالعه خود با عنوان پاسخ‌های هورمونی، شاخص‌های آسیب سلولی و غلظت اسیدهای آمینه پلاسما به‌دنبال فعالیت مقاومتی حاد همراه با مصرف مکمل آمینواسیدهای شاخه‌دار روی دانشجویان دختر فعال سالم بیان کردند غلظت کراتین کیناز در هر ۲ شرایط مکمل و دارونما بلافاصله پس از فعالیت و همچنین ۳ ساعت پس از فعالیت با الگوی مشابهی افزایش معناداری داشت. این در حالی بود که روز پس از فعالیت نیز میزان غلظت افزایش‌یافته حفظ شده بودند [۲۳].

از آنجا که تمرین بر سوخت‌وساز اسیدهای آمینه تأثیر می‌گذارد، در مواجهه با شرایط تمرینی، افزایشی در کاتابولیسم اسیدهای آمینه رخ می‌دهد که در این میان اکسیداسیون اسیدهای آمینه شاخه‌دار، به‌ویژه لوسین همراه با افزایش شدت تمرین بیشتر گزارش شده است [۳۰]، اما در این رابطه می‌توان به اثرات آنتی‌کاتابولیک مصرف آمینواسیدهای شاخه‌دار هنگام و پس از ورزش اشاره کرد. اگرچه این رابطه را نمی‌توان تنها به اثرات مصرف مکمل آمینواسیدهای شاخه‌دار ربط داد، اما مصرف مکمل ویتامین ای نیز با اثراتی که در تقویت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و شاخص پراکسیداسیون لیپید دارد، احتمالاً با اثرات هم‌افزایی که با مکمل آمینواسیدهای شاخه‌دار ایجاد کرده، بر این فرایند مؤثر بوده است.

انجام فعالیت‌های ورزشی به‌صورت منظم و با مقدار مناسب، علاوه بر افزایش سطح سلامت باعث سازگاری‌های فیزیولوژیک متعددی در بدن می‌شود، اما درصورت نبود آمادگی بدنی افراد یا در فعالیت‌های وامانده‌ساز، احتمال بروز آسیب در سلول‌های عضلانی وجود دارد [۳۱]. این آسیب‌ها با افزایش فعالیت آنزیم‌های سرمی ازقبیل کراتین‌کینا ز، لاکتات‌دهیدروژناز، آسپارتات‌آمینوترانسفراز و آلانین‌ترانسفراز همراه بوده و باعث کاهش عملکرد عضلانی می‌شوند [۳۲].

6. Mammalian Target of Rapamycin

نتیجه‌گیری

به‌طورخلاصه، باتوجه‌به نتایج کسب‌شده، مکمل‌دهی ویتامین ای به‌تنهایی موجب تغییر معناداری در شاخص‌های آسیب عضلانی مورد بررسی نشد. با اینکه مصرف ۱ دُز آمینواسیدهای شاخه‌دار به‌تنهایی باعث کاهش شاخص‌های آسیب عضلانی تا ۴۸ ساعت پس از فعالیت وامانده‌ساز می‌شود، به‌نظر می‌رسد مصرف لوسین و ایزولوسین و نه والین در کاهش شاخص‌های آسیب عضلانی مؤثرتر بوده و احتمالاً این اثر در ترکیب با مکمل‌دهی ویتامین ای بیشتر خواهد بود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

مطالعه حاضر را کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم‌پزشکی گیلان با کد اخلاق به‌شماره IR.GUMS.REC.1398.137 تأیید کرده است.

حامی مالی

این تحقیق هیچ کمک مالی از سازمان های تأمین مالی در بخش های عمومی، تجاری یا غیر انتفاعی دریافت نکرد.

مشارکت‌نویسندگان

همه نویسندگان به طور یکسان در تهیه این مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

References

[1] Matsumoto K, Koba T, Hamada K, Sakurai M, Higuchi T, Miyata H. Branched-chain amino acid supplementation attenuates muscle soreness, muscle damage and inflammation during an intensive training program. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. 2009; 49(4):424-31. [PMID]

[2] Osali A, Azad A, Mardaneh F. [The effect of BCAAs supplement on wrestlers' creatine kinase activity in a three-month depth jump exercise (Persian)]. Journal of Sport Biosciences. 2013; 1(16):79-92. [DOI:10.22059/JSB.2013.30457]

[3] Rostami D, Kordi M, Gaeini A, Falah A. Effect of branched amino acid supplement consumption (BCAA) on lactate dehydrogenase and delay onset muscle soreness in male collegian athletes. Olympic Journal. 2011; 52:55-65. [Link]

[4] May ME, Buse MG. Effects of branched-chain amino acids on protein turnover. Diabetes/Metabolism Reviews. 1989; 5(3):227-45. [DOI:10.1002/dmr.5610050303] [PMID]

[5] Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM. Creatine kinase monitoring in sport medicine. British Medical Bulletin. 2007; 81(1):209-30. [DOI:10.1093/bmb/ldm014] [PMID]

[6] Nieman DC, Henson DA, McAnulty SR, McAnulty L, Swick NS, Utter AC, et al. Influence of vitamin C supplementation on oxidative and immune changes after an ultramarathon. Journal of Applied Physiology. 2002; 92(5):1970-7. [DOI:10.1152/japplphysiol.00961.2001] [PMID]

[7] Butterfield DL, Draper DO, Ricard MD, Myrer JW, Schulthies SS, Durrant E. The effects of high-volt pulsed current electrical stimulation on delayed-onset muscle soreness. Journal of Athletic Training. 1997; 32(1):15-20. [PMID] [PMCID]

[8] Nicklas BJ, Hsu FC, Brinkley TJ, Church T, Goodpaster BH, Kritchevsky SB, et al. Exercise training and plasma C-reactive protein and interleukin-6 in elderly people. Journal of the American Geriatrics Society. 2008; 56(11):2045-52. [DOI:10.1111/j.1532-5415.2008.01994.x] [PMID] [PMCID]

[9] Higashiguchi T, Futamura A, Ito A, Yaga S, Ohkawa T, Ohkawa H. A clinical study of the immediate and delayed effects of new dietary supplements on exercise-related fatigue and the inhibition of delayed-onset muscle soreness. Annals of Public Health and Research. 2014; 1(2):1010. [Link]

[10] Fedewa MV, Spencer SO, Williams TD, Becker ZE, Fuqua CA. Effect of branched-chain amino acid supplementation on muscle soreness following exercise: A meta-analysis. International Journal for Vitamin and Nutrition Research. 2019; 89(5-6):348-56. [DOI:10.1024/0300-9831/a000543] [PMID]

[11] VanDusseldorp TA, Escobar KA, Johnson KE, Stratton MT, Moriarty T, Cole N, et al. Effect of branched-chain amino acid supplementation on recovery following acute eccentric exercise. Nutrients. 2018; 10(10):1389. [DOI:10.3390/nu10101389] [PMID] [PMCID]

[12] Cockburn E. The effect of acute milk-based carbohydrate/protein supplementation on the attenuation of exercise-induced muscle damage [PhD Dissertation]. Newcastle: Northumbria University; 2011. [Link]

[13] Keyhani D, Kargar Fard M. [Effects of a BCAA supplementation on markers of muscle damage followed eccentric exercise in male basketball players (Persian)]. Sport Physiology. 2016; 8(29):73-90. [DOI:10.22089/SPJ.2016.649]

[14] Bassit RA, Sawada LA, Bacurau RF, Navarro F, Martins Jr E, Santos RV, et al. Branched-chain amino acid supplementation and the immune response of long-distance athletes. Nutrition. 2002; 18(5):376-9. [DOI:10.1016/S0899-9007(02)00753-0]

[15] Chou CC, Sung YC, Davison G, Chen CY, Liao YH. Short-term high-dose vitamin C and E supplementation attenuates muscle damage and inflammatory responses to repeated taekwondo competitions: A randomized placebo-controlled trial. International Journal of Medical Sciences. 2018; 15(11):1217-26. [DOI:10.7150/ijms.26340] [PMID] [PMCID]

[16] Asjodi F, Mohebi H, Mirzajani E, Izadi A. [The effects of adding whey protein and branched-chain amino acid to carbohydrate beverages on indices of muscle damage after eccentric resistance exercise in untrained young males (Persian)]. Journal of Arak University of Medical Sciences. 2017; 20(4):29-39. [Link]

[17] Santos S, Silva E, Caris A, Lira F, Tufik S, Dos Santos R. Vitamin E supplementation inhibits muscle damage and inflammation after moderate exercise in hypoxia. Journal of Human Nutrition and Dietetics. 2016; 29(4):516-22. [DOI:10.1111/jhn.12361] [PMID]

[18] Ricciarelli R, Zingg JM, Azzi A. Vitamin E: Protective role of a Janus molecule. The FASEB Journal. 2001; 15(13):2314-25. [DOI:10.1096/fj.01-0258rev] [PMID]

[19] Silva LA, Pinho CA, Silveira PC, Tuon T, De Souza CT, Dal-Pizzol F, et al. Vitamin E supplementation decreases muscular and oxidative damage but not inflammatory response induced by eccentric contraction. The Journal of Physiological Sciences. 2010; 60(1):51-7. [DOI:10.1007/s12576-009-0065-3] [PMID]

[20] Taghiyar M, Darvishi L, Askari G, Feizi A, Hariri M, Mashhadi NS, et al. The effect of vitamin C and e supplementation on muscle damage and oxidative stress in female athletes: A clinical trial. International Journal of Preventive Medicine. 2013; 4(Suppl 1):S16. [PMID] [PMCID]

[21] Tofighi A, Ameghani A, Vahedi S, Qarakhanlou BJ, Shiri MR. [Effect of branched amino acids and carbohydrate consumption on some muscle damage indexes in active men, after exhaustive aerobic exercise (Persian)]. Medical Journal of Tabriz University of Medical Sciences. 2015; 37(4):14-9. [Link]

[22] Rogeri P, Rosa LC. Plasma glutamine concentration in spinal cord injured patients. Life Sciences. 2005; 77(19):2351-60. [DOI:10.1016/j.lfs.2004.09.050] [PMID]

[23] Sheikholeslami Vatani D, Moradi A. [Hormonal responses, indicators of cell damage and concentration of plasma amino acids following acute resistance exercise with BCAA supplement (Persian)]. Journal of Sport Biosciences. 2013; 4(15):45-62. [DOI:10.22059/JSB.2013.29777]

[24] Kashef M. Effect of vitamin E supplementation on delayed onset muscle soreness in young men. Journal of Physical Activity and Hormones. 2018; 2(3):15-28. [Link]

[25] Bolster DR, Jefferson LS, Kimball SR. Regulation of protein synthesis associated with skeletal muscle hypertrophy by insulin-, amino acid-and exercise-induced signalling. Proceedings of the Nutrition Society. 2004; 63(2):351-6. [DOI:10.1079/PNS2004355] [PMID]

[26] MacLean D, Graham T, Saltin B. Branched-chain amino acids augment ammonia metabolism while attenuating protein breakdown during exercise. American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism. 1994; 267(6):E1010-22. [DOI:10.1152/ajpendo.1994.267.6.E1010] [PMID]

[27] Tawfigi A. [The effect of branched-chain amino acid supplementation on the function of the immune system and the acute phase of leukocytosis following physical exercise in inactive men (Persian)]. Journal of Sport and Biomotor Sciences. 2009; 2(3):1-9. [Link]

[28] Howatson G, Hoad M, Goodall S, Tallent J, Bell PG, French DN. Exercise-induced muscle damage is reduced in resistance-trained males by branched chain amino acids: A randomized, double-blind, placebo controlled study. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2012; 9(1):20. [DOI:10.1186/1550-2783-9-20] [PMID] [PMCID]

[29] Ravasi A As, Chobineh S, Kazemi F, Qarakhani M. The effect of vitamin C and E supplementation on delayed muscle stiffness in non-athletic women. Physiology and Management Researches in Sports. 2013; 5(7):16. [Link]

[30] Shimomura Y, Inaguma A, Watanabe S, Yamamoto Y, Muramatsu Y, Bajotto G, et al. Branched-chain amino acid supplementation before squat exercise and delayed-onset muscle soreness. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. 2010; 20(3):236-44. [DOI:10.1123/ijsnem.20.3.236] [PMID]

[31] Nigam P. Biochemical markers of myocardial injury. Indian Journal of Clinical Biochemistry. 2007; 22(1):10-7. [DOI:10.1007/BF02912874] [PMID] [PMCID]

[32] Vimercatti B, Zovico B, Carvalho B, Barreto B, Machado A. Two doses of caffeine do not increase the risk of exercise-induced muscle damage or leukocytosis. Physical Education and Sport. 2008; 52:96-9. [DOI:10.2478/v10030-008-0022-6]

[33] Zhou Y, Liang L. The vitamin E consumption effect on muscle damage and oxidative stress: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Revista Brasileira de Medicina do Esporte. 2022; 28:602-8. [DOI:10.1590/1517-8692202228052021_545]