

2024 (Spring), 2 (1): 1-11

DOR:

Research article

Journal of Physiology of Training and Sports Injuries

(PTSIJournal@gmail.com)

(zanjan.ptsjournal@iau.ir)

<https://sanad.iau.ir/journal/eps>

Received: 2024/4/13

Accepted: 2024/5/30

(ISSN: 3060 - 6306)

The Effects of acute consumption of BCAA's on inflammatory and muscle damage indicators following intense resistance training session in girls professional athletes

Marjaneh Mehrabi¹, Bahram Abedi², Mojtaba Khansooz^{3,4}

1. Ms.C., Department of Sports Sciences, Mahalat Branch, Islamic Azad University, Mahalat, Iran.

2. Professor, Department of Sports Sciences, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Email: Bahram.Abedi@iau.ac.ir

3. Ph.D., Department of Sports Sciences, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

4. Ph.D., Department of Sports Sciences, Arak University, Arak, Iran.

Abstract:

The purpose of the present study was to determine the effect of acute BCAA supplementation on some inflammatory indicators and muscle damage following an intense resistance training session in female athletes.

In this semi-experimental research with a pre-test-post-test design, 20 female athletes were randomly divided into 2 groups of 10: resistance training group with BCAA supplementation and resistance training group with placebo supplementation, one in the morning and one in the evening. A bout of resistance activity including 10 sets of eight repetitions of squats with 70% of 1RM using the Smith machine and a 3-minute rest between each set was performed by all participants. After completing the squat protocol, participants performed five consecutive sets of 20 repetitions (10 repetitions of split body weight jumps) with two minutes of rest between each set. The obtained data were analyzed using the dependent t-test and the covariance test with Benferroni's post hoc test using spss version 22 software.

The results of the study showed that the serum levels of creatine kinase and the amount of delayed muscle pain and stiffness immediately, 24 and 48 hours and the serum levels of interleukin 6 immediately after intense resistance activity increased significantly compared to the baseline state. Also, the plasma levels of creatine kinase and the level of delayed muscle pain and stiffness in 24 hours and the level of interleukin-6 plasma levels have reached their peak after intense resistance activity, and this level was significantly higher than 48 and 72 hours after intense resistance activity. The present study showed that the consumption of BCAA supplement (0.22 g/kg) before and after exercise has no beneficial effect in reducing injury, muscle pain and inflammation in resistance trained women after senteric resistance training.

Keywords: Branched-Chain Amino Acid, Inflammatory Indexes, Muscle Damage Indexes, Intense Resistance Training.

How to Cite: Mehrabi, M., Abedi, B., Khansooz, M. (2024). The Effects of acute consumption of BCAA,s on inflammatory and muscle damage indicators following intense resistance training session in girls professional athletes. Journal of Physiology of Training and Sports Injuries, 2(1):1-11. [Persian].

دوره ۲ - شماره ۱
بهار ۱۴۰۳ - صص: ۱-۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۱۰
مقاله پژوهشی

اثرات مصرف حاد اسیدهای آمینه شاخه دار بر شاخص های التهابی و آسیب عضلانی متعاقب یک جلسه تمرین مقاومتی شدید در دختران ورزشکار حرفه ای

مرجانہ مہرابی^۱، بہرام عابدی^۲، مجتبیٰ خان سوز^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم ورزشی، واحد محلات، دانشگاه آزاد اسلامی، محلات، ایران.

۲. استاد، گروه علوم ورزشی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. نویسنده مسئول: Bahram.Abedi@iau.ac.ir

۳. دکتری، گروه علوم ورزشی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.

۴. دکتری، گروه علوم ورزشی، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

چکیده:

هدف پژوهش حاضر تعیین تاثیر مصرف حاد مکمل BCAA بر برخی شاخص های التهابی و آسیب عضلانی متعاقب یک جلسه تمرین مقاومتی شدید در دختران ورزشکار بود.

در این پژوهش نیمه تجربی با طرح پیش آزمون- پس آزمون، ۲۰ دختر ورزشکار به صورت تصادفی در ۲ گروه ۱۰ نفری گروه تمرین مقاومتی همراه مصرف مکمل BCAA و گروه تمرین مقاومتی همراه مصرف دارونما تقسیم شدند مکمل در یک نوبت صبح و یک نوبت عصر مصرف شد یک وهله فعالیت مقاومتی شامل ۱۰ ست هشت تکراری اسکات با ۷۰٪ 1RM با استفاده از دستگاه اسمیت و استراحت ۳ دقیقه بین هر ست توسط همه شرکت کنندگان انجام شد. پس از تکمیل پروتکل اسکات، شرکت کنندگان پنج ست ۲۰ تکراری متوالی (۱۰ تکرار پرش تقسیم وزن بدن) را با دو دقیقه استراحت بین هر ست انجام دادند. داده های به دست آمده یا استفاده از آزمون های تی وابسته و آزمون کوواریانس با آزمون تعقیبی بونفرونی با استفاده از نرم افزار spss نسخه ۲۲ تحلیل شد.

نتایج مطالعه نشان داد که سطوح سرمی کراتین کیناز و میزان درد و کوفتگی عضلانی تاخیری در بلافاصله، ۲۴ و ۴۸ ساعت و سطوح سرمی اینترلوکین ۶ بلافاصله پس از فعالیت مقاومتی شدید نسبت به حالت پایه به صورت معناداری افزایش یافته است ($P < 0/05$). همچنین سطوح پلاسمایی کراتین کیناز و میزان درد و کوفتگی عضلانی تاخیری در ۲۴ ساعت و میزان سطوح پلاسمایی اینترلوکین ۶ پس از فعالیت مقاومتی شدید به اوج خود رسیده است و این میزان نسبت به ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از فعالیت مقاومتی شدید به طور معناداری بالاتر بود ($P < 0/05$). مطالعه حاضر نشان داد که مصرف مکمل BCAA (۰/۲۲ گرم/ کیلوگرم) قبل و بعد از تمرین هیچ اثر مفیدی در کاهش آسیب، درد عضلانی و التهاب در زنان تمرین کرده مقاومتی پس از تمرین مقاومتی اسنتریک وامانده ساز ندارد. **واژگان کلیدی:** اسیدهای آمینه شاخه دار، شاخص های التهابی، شاخص های آسیب عضله، تمرین مقاومتی شدید.

شیوه استناددهی: مہرابی، مرجانہ؛ عابدی، بہرام؛ خان سوز، مجتبیٰ. اثرات مصرف حاد اسیدهای آمینه شاخه دار بر شاخص های التهابی و آسیب عضلانی متعاقب یک جلسه تمرین مقاومتی شدید در دختران ورزشکار حرفه ای. فصلنامه فیزیولوژی تمرین و آسیب های ورزشی، بہار ۱۴۰۳، ۱(۲): ۱-۱۱.

فصلنامه فیزیولوژی تمرین و آسیب های ورزشی؛ بہار ۱۴۰۳، ۱(۲).

۱. مقدمه

فعالیت ورزشی مقاومتی معمولاً توسط مردم عادی و ورزشکاران برای افزایش قدرت عضلانی، استقامت، قدرت و توده عضلانی استفاده می شود. می توان آن را در سه انقباض عضلانی، اسنتریک، کانستریک و ایزومتریک، به صورت مجزا یا ترکیبی اجرا کرد [۱]. فرض بر این است که انقباض عضلانی اسنتریک در مقایسه با انقباضات کانستریک و ایزومتریک باعث آسیب بیشتر به عضله می شود، به ویژه زمانی که فعالیت های اسنتریک ناگهانی با تولید نیروی بیشتر و سرعت های زاویه ای سریع انجام می شود [۱، ۲]. مدل پیشنهادی آسیب عضلانی ناشی از فعالیت ورزشی (EIMD) شامل دو مرحله است، آسیب اولیه ناشی از استرس مکانیکی در طول تمرین، و آسیب ثانویه بعدی که شامل از دست دادن یکپارچگی غشاء در شبکه سارکوپلاسمی و باعث نشت پروتئین های عضلانی از سارکولم عضلانی به خون برای چند روز پس از ورزش می شود [۳]. این آسیب ثانویه می تواند با پاسخ های التهابی مرتبط باشد که در مراحل اولیه و اواخر تقسیم می شوند و به ترتیب شامل فعال شدن و تکثیر سلول های ماهواره ای و تمایز و رشد پایانه می شوند [۴]. پیامدهای احتمالی EIMD عبارتند از: اختلال در ساختار عضلانی داخل سلولی، سارکولما و ماتریکس خارج سلولی، اختلال طولانی مدت در عملکرد عضلانی، کوفتگی عضلانی تاخیری (DOMS)، سفتی و تورم که برای چند روز ادامه دارد [۱]. وضعیت التهاب را می توان با افزایش بیومارکرهای التهابی در گردش خون، مانند لاکتات دهیدروژناز (LDH) و کراتین کیناز (CK)، میوگلوبین^۴ و سیتوکین ها شناسایی کرد [۵]. افزایش LDH پلاسما بلافاصله پس از فعالیت ورزشی قبل از افزایش CK رخ می دهد. افزایش و یا به اوج رسیدن CK پلاسما ممکن است بین ۲۴ تا ۹۶ ساعت متفاوت باشد [۶]. الگوهای پاسخ متفاوت این دو نشانگر ممکن است با مراحل مختلف التهاب (مرحله اولیه و اواخر) قبل از دفع التهاب مطابقت داشته باشد [۴]. اگرچه التهاب ناشی از فعالیت ورزشی برای رمودلینگ سازگاری ضروری است [۷]، جلسات تمرینی بعدی می تواند با درد عضلانی باقی مانده، محدودیت حرکت و کاهش ظرفیت به خطر بیفتد. بنابراین، چندین استراتژی برای کاهش این پیامدهای منفی ناشی از EIMD پیشنهاد شده است، از جمله ماساژ، سرما درمانی، کشش، داروهای ضد التهابی غیر استروئیدی و استراتژی های تغذیه [۳]. با در نظر گرفتن استراتژی تغذیه ای، رژیم غذایی پر پروتئین، اسیدهای آمینه را برای تحریک سنتز پروتئین عضلانی به منظور حمایت از فرآیند التهابی و بازسازی عضلات پس از فعالیت ورزشی فراهم می کند [۸]. به دلیل وجود منابع پروتئینی

گوناگون، ترکیب اسیدهای آمینه و فراهمی زیستی هر منبع ممکن است بر درک کیفیت پروتئین و ظرفیت رژیم غذایی برای حمایت از سنتز پروتئین عضلانی تأثیر بگذارد [۹]. به طور خاص، منابع پروتئین رژیم غذایی برای محتوای اسیدهای آمینه شاخه دار^۶ (BCAAs) متفاوت است، که از ۱۴٪ (سیب زمینی) تا ۲۶٪ (شیر) متغیر است و عامل مهمی برای تحریک سنتز پروتئین عضلانی و افزایش رشد عضلانی در نظر گرفته می شود [۸]. علاوه بر این، سه جزء BCAAs (یعنی لوسین، ایزولوسین و والین) عمدتاً در عضلات اسکلتی کاتابولیز می شوند، در حالی که سایر اسیدهای آمینه در کبد کاتابولیز می شوند [۸]. در نتیجه، گردش پروتئین در سلول های عضلانی می تواند مستقیماً توسط BCAAs تنظیم شود تا اثرات کاتابولیک و ضد آنابولیک تولید شده توسط EIMD را خنثی کند [۱۰]. به طور خاص، لوسین به عنوان یک تنظیم کننده کلیدی سیگنالینگ mTOR (عامل کلیدی سنتز پروتئین و هیپرتروفی در سگنالینگ مولکولی سازگاری-های تمرینات مقاومتی) و شروع ترجمه شناسایی شده است [۸]. بنابراین، در میان منابع پروتئینی احتمالی، پروتئین آب پنیر (پروتئین Whey)، BCAA و اسیدهای آمینه ضروری غنی شده با لوسین به دلیل در دسترس بودن زیاد اسیدهای آمینه (به ویژه لوسین) برای ارتقای سنتز پروتئین عضلانی برای استراتژی مکمل پیشنهاد می شوند [۸، ۱۰، ۱۱]. با این حال، BCAAs دارای مزایایی هستند که کالری کمتری دارند، گلوکونوئوز را حذف می کنند و از افزایش بار کلیه در مقایسه با رژیم غذایی با پروتئین بالا، مانند رژیم غذایی یا پروتئین آب پنیر، جلوگیری می کنند [۱۲]. بنابراین، استفاده از BCAA به عنوان استراتژی مکمل در میان جمعیت عمومی و ورزشکاران به دلیل توانایی آن در کاهش علائم منفی EIMD رواج یافته است. اخیراً، اثرات BCAAs بر کاهش EIMD و درد عضلانی به طور گسترده تحت شرایط فعالیت ورزشی گوناگون و جمعیت های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است [۱۳]. شواهد اثر مثبت بالقوه مکمل BCAA را بر آسیب عضلانی، درد عضلانی و عملکرد [۱۳]، خستگی، متابولیت های انرژی و عوامل درد عضلانی و آسیب عضلانی نشان می دهد [۱۴]. در ارتباط با BCAA و اثرات آن بر ریکاور و آسیب عضلانی ناشی از تمرینات مقاومتی نتایج ضد و نقیضی وجود دارد. نکته مهم آن که مکمل دهی BCAA با کاهش ادراک درد به دنبال تمرینات مقاومتی شدید همراه است [۳، ۸، ۱۳]، اگرچه مکانیسم هایی که رابطه بین مصرف BCAA و درک درد عضلانی را توضیح می دهند به خوبی شناسایی نشده اند. علاوه بر این، شواهد فعلی نشان می دهد که کاهش DOMS [۳، ۸، ۱۳] و همچنین افلاکس^۷ نشانگرهای بیوشیمیایی آسیب عضلانی در افرادی که مکمل BCAA دریافت می کنند، لزوماً

⁵ Cytokines

⁶ Branched-Chain Amino Acids

⁷ Efflux

¹ Exercise-induced Muscle Damage

² Lactate Dehydrogenase

³ Creatine Kinase

⁴ Myoglobin

(ه) عدم استفاده از دارو؛ و (و) عدم وجود بیماری‌های شناخته شده قلبی عروقی، ریوی، متابولیک، استخوان یا مفصلی. شرکت کنندگان در صورت مصرف کراتین (در شش ماه گذشته) و داروهای خاص (داروهای ضد التهابی غیراستروئیدی یا داروهای استروئیدی) از مطالعه حذف شدند. از افرادی که مکمل‌های پروتئینی (مانند Whey، کازئین) مصرف می‌کنند، خواسته شد که پس از ثبت نام در مطالعه، از مصرف این مکمل‌ها خودداری کنند. افرادی که از درمان‌هایی مانند سرما درمانی یا ماساژ استفاده می‌کنند، مصرف سیگار در گذشته یا حال حاضر، آن‌هایی که حداقل یک سال تجربه تمرین مقاومتی فعلی نداشته باشند و شرکت کنندگانی که در شش ماه گذشته حجم بالایی از تمرینات اکسنتریک مبتنی بر تمرین مقاومتی پایین تنه را انجام داده باشند (برای کنترل اثر وهله تکراری) نیز از مطالعه حذف شدند. شرکت کنندگان یک ماه قبل از شروع مطالعه برای تایید آمادگی و وضعیت سلامتی آن‌ها، برای اطمینان از معیارهای ورود و دریافت توضیحات همه روش‌های آزمایشی مصاحبه شدند. از آنها خواسته شد یک ماه قبل از شروع اولین آزمایش از هرگونه مصرف مکمل خودداری کنند، سه روز قبل از اولین جلسه آزمایشی هر کارآزمایی و در طول دوره ریکاوری (تا ۷۲ ساعت) از فعالیت ورزشی خودداری کنند. هم-چنین، از مصرف الکل و کافئین در طول ۱۲ ساعت قبل از هر جلسه آزمایشی خودداری کنند. شرکت کنندگانی که تمام معیارهای ورود را برآورده و موافقت کنند که تمام دستورالعمل‌ها را رعایت کنند، رضایت آگاهانه کتبی خود را ارائه کرده و در نمونه نهایی قرار گرفتند. در نهایت و در راستای احتمال ریزش آزمودنی‌ها طی مراحل کارآزمایی تعداد ۲۰ نمونه آماری برای شرکت در مطالعه انتخاب شدند و در دو گروه مکمل BCAA (۱۰ نفر) و دارونما (۱۰ نفر) قرار گرفتند. در ابتدا از آزمودنی‌ها خواسته شد جهت تکمیل فرم آمادگی شرکت در فعالیت‌های ورزشی (PAR-Q) و رضایت‌نامه شرکت در پژوهش، اندازه‌گیری‌های اولیه قد و وزن و همچنین تشریح مراحل آزمون در سالن ورزشی حاضر شوند. سپس از شرکت کنندگان خواسته شد تا ۹۶ ساعت پس از جلسه توجیهی به آزمایشگاه برگردند تا تحت یک پروتکل تمرین آسیب رسان (تمرین مقاومتی شدید) قرار گیرند. جمع‌آوری خون قبل از پروتکل تمرین آسیب رسان و ادراک درد درجه بندی شده (VAS) انجام شد. شرکت کنندگان پروتکل تمرین اسکات آسیب‌رسان عضلانی را اجرا نمودند. بلافاصله پس از تکمیل پروتکل تمرین، شرکت کنندگان وضعیت فعلی درد خود را ارزیابی نمودند. همچنین نمونه خونی شرکت‌کننده در بلافاصله، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از تمرین اسکات آسیب‌رسان عضلانی جمع‌آوری شد.

با تقویت همزمان ریکاوری عملکرد عضله رخ نمی‌دهد [۳، ۸]. تفاوت در وضعیت تمرینی شرکت کنندگان در مطالعات، آسیب رسان بودن پروتکل‌های ورزشی و دریافت کلی پروتئین از جمله محدودیت‌های مطالعات است. در نهایت، جمعیتی که برای کاهش اثرات منفی تمرینات مقاومتی شدید مستعد مکمل‌سازی با BCAA هستند، افراد درگیر تمرین مقاومتی هستند که احتمالاً قبلاً دوز متوسط پروتئین (۴-۱/۲ گرم بر کیلوگرم در روز) مصرف می‌کنند [۱۵]. بنابراین به طور بالقوه باعث ایجاد آگزوزن ناشی از مصرف BCAA اضافی می‌شوند. از طرفی، دوره زمانی سایتوکاین‌های التهابی خاص عمدتاً در مدل‌هایی با تأکید بر استقامت مورد مطالعه قرار گرفته است. تفاوت در جریان خون، پاسخ کاتکولامینی^۸، آسیب بافتی و غیره احتمالاً بر توزیع و میزان نشانگرهای التهابی موجود در پلاسما از مدل‌های مختلف تمرینی (مقاومت در برابر استقامت) تأثیر می‌پذیرد [۱۶، ۱۷]. علاوه بر این، هنوز نشانه روشنی از تأثیر نشانگرهای التهابی بر عملکرد ورزشکاران/افراد سالم وجود ندارد، زیرا بیشتر داده‌های پیرامون IL-6 و CRP روی افراد مبتلا به مشکلات پاتولوژیک انجام شده است. بنابراین، این پژوهش در صدد است به بررسی تأثیر حاد مکمل BCAA متعاقب تمرین مقاومتی شدید بر سطوح کراتین کیناز و اینترلوکین ۶ دختران ورزشکار بپردازد.

۲. روش پژوهش

این مطالعه یک طرح تصادفی، دوسوکور و کنترل‌شده با دارونما بود که برای ارزیابی دوره زمانی ریکاوری پس از فعالیت مقاومتی شدید تحت شرایط BCAAs یا مکمل‌های دارونما انجام شد. اندازه‌گیری‌ها قبل و بعد از پروتکل تمرین مقاومتی شدید و در طول دوره ریکاوری بلافاصله، در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از تمرین مقاومتی شدید برای ارزیابی آسیب عضلانی و التهاب و ادراک درد عضلانی مورد ارزیابی قرار گرفت.

جامعه آماری مطالعه حاضر، دختران ورزشکار رشته‌های تناسب اندام و بدنسازی بودند. حداقل حجم نمونه از طریق تحلیل توان قابل پیش بینی توسط G*Power (نسخه ۳،۱،۹،۲، دانشگاه دوسلدورف، دوسلدورف، آلمان)، برای آزمون F (آزمون واریانس با اندازه‌گیری مکرر، دو گروه، درون عاملی، پنج اندازه‌گیری)، با توان آماری (1-β) ۰/۹۵، اندازه اثر بزرگ (۰/۴)، و سطح معنی‌داری ۰/۰۵، ۱۳ شرکت‌کننده (آزمودنی) به دست آمد. ۲۰ دختر ورزشکار در رشته‌های تناسب اندام، بدنسازی و یا کراس فیت از نظر واجد شرایط بودند برای شرکت در این مطالعه، مطابق با معیارهای ورود به مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفتند: (الف) سن ۱۸ تا ۲۵ سال. (ب) تجربه در تمرینات قدرتی و مسابقات قدرتی به مدت حداقل ۳ سال؛ (ج) بدون آسیب اسکلتی عضلانی در طول شش ماه گذشته. (د) عدم استعمال سیگار.

⁸ Catecholamine response

ELISA؛ سنجش IL6 انسانی با حساسیت بالا، Thermofisher، MA، Waltham، ایالات متحده آمریکا) استفاده شد.

۴.۲. تجزیه و تحلیل آماری

به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات، از روش های آمار توصیفی برای محاسبه شاخص های مرکزی و پراکندگی استفاده گردید. از آزمون شاپیروویلک برای بررسی نرمال بودن داده ها استفاده شد، همچنین از آزمون لون برای بررسی برابری واریانس متغیرهای مورد نظر استفاده شد و برای آزمون فرضیه ها از آزمون تحلیل واریانس درون گروهی (۲ شرایط (مکمل و دارونما)) با اندازه گیری تکراری (پایه، بلافاصله، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت) استفاده شد.

۳. یافته ها

ویژگی های آزمودنی های تحقیق در جدول شماره ۱ ارائه شده است. نمودار شماره ۱ میانگین تغییرات سطوح کراتین کیناز گروه های مورد مطالعه طی مراحل مختلف اندازه گیری را نشان می دهد. یافته های مربوط به آزمون تحلیل واریانس مرکب با اندازه گیری تکراری نشان داد که اثر اصلی مراحل اندازه گیری ($\eta^2=0/406$ ، $sig=0/0001$)، $F=12/30$ معنادار است؛ اما اثر اصلی گروه ($\eta^2=0/051$ ، $sig=0/338$) و همچنین تعامل مراحل اندازه گیری با گروه ($\eta^2=0/029$ ، $F=0/97$) و همچنین تعامل مراحل اندازه گیری با گروه ($\eta^2=0/029$ ، $F=0/97$) معنادار نیست. با توجه به این که عامل مراحل اندازه گیری معنی دار بوده است برای مشخص کردن جایگاه تفاوت های موجود در مراحل اندازه گیری از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده گردید. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که سطوح سرمی کراتین کیناز در بلافاصله، ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از فعالیت مقاومتی شدید نسبت به حالت پایه به صورت معناداری افزایش یافته است ($P<0/05$). همچنین نتایج نشان داد که میزان سطوح پلاسمایی کراتین کیناز در ۲۴ ساعت پس از فعالیت مقاومتی شدید به اوج خود رسیده است و این میزان نسبت به ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از فعالیت مقاومتی شدید به طور معناداری بالاتر بود ($P<0/05$). مصرف حاد مکمل BCAA بر سطوح سرمی کراتین کیناز دختران ورزشکار متعاقب یک جلسه تمرین مقاومتی شدید تاثیر معناداری ندارد.

نمودار شماره ۲ میانگین تغییرات سطوح کراتین کیناز گروه های مورد مطالعه طی مراحل مختلف اندازه گیری را نشان می دهد. یافته های مربوط به آزمون تحلیل واریانس مرکب با اندازه گیری تکراری نشان داد که اثر اصلی مراحل اندازه گیری ($\eta^2=0/279$ ، $sig=0/0001$)، $F=6/97$ و اثر اصلی گروه ($\eta^2=0/241$ ، $sig=0/028$)، $F=5/75$ معنادار است؛ اما تعامل مراحل اندازه گیری با گروه ($\eta^2=0/015$ ، $F=0/891$ ، $sig=0/27$) معنادار نیست. با توجه به این که عامل مراحل اندازه گیری معنی دار بوده است برای مشخص کردن جایگاه تفاوت های موجود در مراحل اندازه گیری از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده

۱.۲. پروتکل تمرین آسیب رسان عضلانی

یک وهله فعالیت مقاومتی شامل ۱۰ ست هشت تکراری اسکات با ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه با استفاده از دستگاه اسمیت توسط همه شرکت کنندگان تکمیل شد. هر تکرار در طول پروتکل اسکات شامل چهار ثانیه پایین آمدن و یک ثانیه بالا بردن بار است که از طریق مترونوم نظارت شد. پس از آخرین تکرار هر ست سه دقیقه استراحت گنجانده شد و این میزان استراحت بین تمام ست های اسکات اعمال شد. پس از تکمیل پروتکل اسکات، شرکت کنندگان پنج ست ۲۰ تکراری متوالی (۱۰ تکرار پرش تقسیم وزن بدن) را با دو دقیقه استراحت بین هر ست انجام دادند [۱۸].

۲.۲. مکمل یاری

شرکت کنندگان ۰/۲۲ گرم/کیلوگرم/روز BCAA (MusclePharm، Denver، CO؛ ۷/۱۶ گرم = ۳ گرم لوسین، ۱ گرم ایزولوسین، ۲ گرم والین) یا مالتودکسترین^۹ (PLCB) به شکل پودر خشک مخلوط با آب (~۳۵-۱۷۵ میلی لیتر) در مجموع ۸ روز پس از ارزیابی پایه مصرف نمودند. مکمل ها در یک نوبت صبح و یک نوبت عصر در روز تقسیم شد. در پنجمین روز مصرف مکمل، شرکت کنندگان به آزمایشگاه باز گشتند و پروتکل تمرین مقاومتی فعالیت اسکات آسیب رسان عضلانی را تکمیل نمودند. از شرکت کنندگان خواسته شد که مکمل خود را قبل از تکمیل پروتکل تمرینی و همچنین جلسات بعدی مصرف کنند [۱۸].

۳.۲. اندازه گیری متغیرهای مطالعه

شاخص توده بدن (BMI) با استفاده از فرمول $BMI = \frac{وزن (kg)}{قد (m)^2}$ اندازه گیری شد. برای سنجش سطوح ادراک درد عضلانی آزمودنی ها از مقیاس آنالوگ بصری (VAS) استفاده شد. کوفتگی (درد) در مقیاس ۱۰ سانتی متری (۰ سانتی متر= بدون درد، ۱۰ سانتی متر= درد شدید) برای هر نقطه زمانی (قبل از تمرین، بلافاصله، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از تمرین مقاومتی شدید) توسط رسم خطی عمود بر خط پیوسته از ۰ تا ۱۰ سانتی متر اندازه گیری شد [۱۹]. پلاسمای خون وریدی قبل از تمرین مقاومتی شدید، بلافاصله، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از تمرین جمع آوری شد. به عنوان یک نشانگر غیرمستقیم آسیب عضلانی، غلظت پلاسمایی کراتین کیناز (CK) (روش رنگ سنجی آنزیمی، کیت CPK شرکت پارس آزمون کشور ایران، با دستگاه Olympus 680 ساخت کشور ژاپن) تعیین شد. برای سطوح IL-6 گردش خون، از روش ایمونوسوربنت مرتبط با آنزیم ساندویچ تجاری

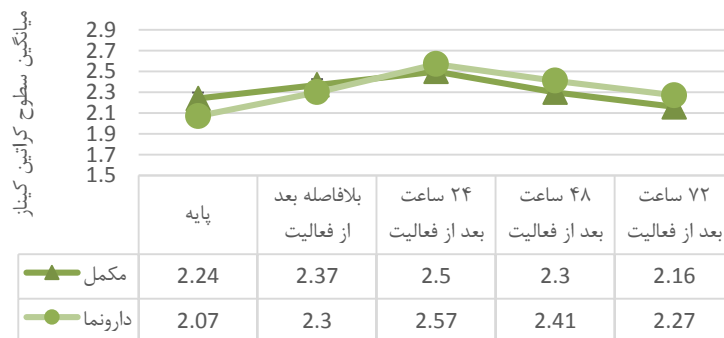
⁹ Maltodextrin

نشان می دهد که بین سطوح اینترلوکین ۶ گروه های مکمل و دارونما تفاوت معناداری وجود دارد ($P=0/028$) و میانگین سطوح اینترلوکین ۶ گروه مکمل (۰/۱۹۵) نسبت به گروه دارونما (۰/۳۱۲) پایین تر است. مصرف حاد مکمل BCAA بر سطوح سرمی اینترلوکین ۶ دختران ورزشکار متعاقب یک جلسه تمرین مقاومتی شدید تاثیری ندارد.

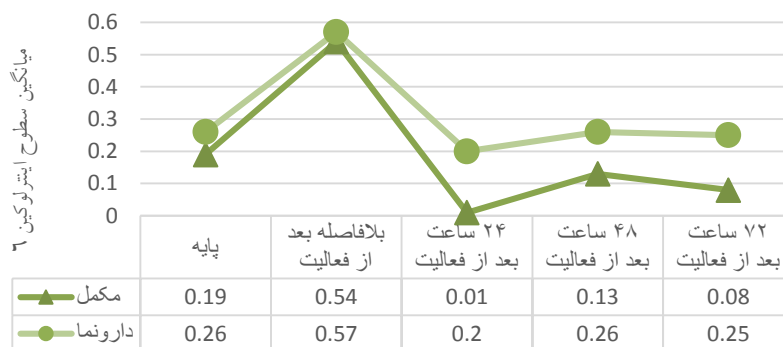
گردید نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که سطوح سرمی اینترلوکین ۶ در بلافاصله پس از فعالیت مقاومتی شدید نسبت به حالت پایه به صورت معناداری افزایش یافته است ($P<0/05$). همچنین نتایج نشان داد که میزان سطوح پلاسمایی اینترلوکین ۶ در بلافاصله پس از فعالیت مقاومتی شدید به اوج خود رسیده است و این میزان نسبت به ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از فعالیت مقاومتی شدید به طور معناداری بالاتر بود ($P<0/05$). همچنین معناداری عامل گروه

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار سن، قد و وزن آزمودنی ها

متغیر	گروه	میانگین	انحراف معیار
سن (سال)	تجربی	۲۱/۹۰	۲/۴۲
	کنترل	۲۰/۷۰	۲/۴۲
وزن (کیلوگرم)	تجربی	۶۳/۲۰	۴/۸۴
	کنترل	۶۲/۷۰	۳/۵۶
قد (سانتی متر)	تجربی	۱۶۹/۵۰	۵/۰۱
	کنترل	۱۷۱/۰۰	۴/۳۷
BMI (kg/m^2)	تجربی	۲۱/۹۷	۰/۷۸
	کنترل	۲۱/۴۴	۰/۸۹



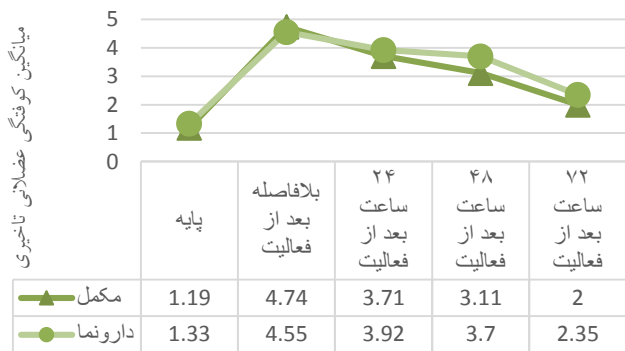
نمودار ۱. تغییرات سطوح کراتین کیناز



نمودار ۲. تغییرات سطوح اینترلوکین ۶

سطح پایه بازنگشت. شواهد فعلی را فقط می توان با در نظر گرفتن استراتژی مکمل پیشنهادی و پروتکل تمرینی مقاومتی استنتریک طراحی شده به کار برد. با این وجود، این مطالعه می تواند دانش ما را در حوزه تغذیه ورزشی ارتقا دهد، که کاربرد مکمل BCAA و یک EIMD را پیشنهاد می کند که با تمرین استنتریک مقاومتی مشخص می شود. IL-6 می تواند به عنوان یک سیتوکین پیش التهابی و یک واسطه ضد التهابی با تحریک تکثیر و تمایز میوبلاست ها برای فرآیند باز سازی عمل کند و تولید آن در حین فعالیت ورزشی با شدت و مدت ورزش مرتبط است [۲۰]. نتایج مطالعه حاضر با مطالعات قبلی [۲۱] که افزایش قابل توجهی از غلظت IL-6 را بلافاصله پس از یک پروتکل دویدن طولانی مدت و به دنبال آن بازگشت به سطوح پایه را نشان داد، همسو است. افزایش IL-6 پس از تمرین هوازی مبتنی بر انقباض استنتریک می توان با برانگیختن بیشتر تغییرات همودینامیک که احتمالاً به افزایش ورود به گردش خون سیستمیک کمک می کند، توضیح داد [۲۱]. در مطالعه حاضر، اثر متقابل مکمل × زمان بر IL-6 دیده نشد، که احتمالاً به دلیل تغییر پذیری زیاد در داده ها بود. اما اثر اصلی مکمل سازی، انتشار بالاتر IL-6 را در گروه دارونما در مقایسه با گروه BCAA برجسته کرد. یعنی میزان IL-6 پلاسمایی در گروه دارونما بسیار بالاتر از گروه مکمل BCAA بوده است. که این نتیجه نیز قبلاً در پژوهش ختمونگ و همکاران (۲۰۲۲) دیده شد [۲۲]. مطالعه ای اخیراً نشان داد که مکمل BCAAs باعث کاهش غلظت IL-6 پس از تمرین مقاومتی در مردان تمرین نکرده نمی شود [۲۳]. مکانیسم احتمالی به دخالت مکمل های BCAA در فرآیند فعال سازی پاسخ های التهابی بیشتر از کاهش انتشار IL-6 پس از EIMD برمی گردد [۲۴]. BCAA نقش محرک تشکیل گونه های اکسیژن فعال (ROS) در سلول های تک هسته ای خون محیطی مانند نوتروفیل ها را دارد و منجر به بیان سیتوکین های پیش التهابی مثل IL-6 در مسیر فعال سازی فاکتور هسته ای کاپا B (NFkB) می شود [۲۴]. بنابراین، مکمل BCAAs قبل از فعالیت ورزشی می تواند فعال شدن پاسخ التهابی را جلو اندازد و پاسخ انطباقی بیشتری را به خصوص در فرآیند باز سازی عضلانی القا کند [۲۲]. علاوه بر این، همچنین می توان حدس زد که فرآیند باز سازی عضلات تحت BCAA در مقایسه با دارونما به دلیل دسترسی بودن منابع نیتروژن اسیدهای آمینه تحریک شده است [۱۸، ۲۵]. با این حال، یافته های فعلی نیاز به بررسی های بیشتر برای تایید مکانیسم های بالقوه اثر مکمل سازی BCAAs بر غلظت IL-6 پس از پروتکل فعالیت ورزشی مقاومتی استنتریک در

در نمودار شماره ۳ یافته های مربوط به آزمون تحلیل واریانس مرکب با اندازه گیری تکراری متغیر میزان درد و کوفتگی عضلانی تاخیری نشان داد که اثر اصلی مراحل اندازه گیری ($\eta^2=0/628$, $sig=0/0001$)، اما اثر اصلی گروه ($\eta^2=0/052$, $sig=0/333$) و همچنین تعامل مراحل اندازه گیری با گروه ($\eta^2=0/019$, $F=0/99$) و همچنین تعامل مراحل اندازه گیری با این که عامل مراحل اندازه گیری معنی دار بوده است برای مشخص کردن جایگاه تفاوت های موجود در مراحل اندازه گیری از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده گردید. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که میزان درد و کوفتگی عضلانی تاخیری در بلافاصله، ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از فعالیت مقاومتی شدید نسبت به حالت پایه به صورت معناداری افزایش یافته است ($P<0/05$). همچنین نتایج نشان داد که میزان درد و کوفتگی عضلانی تاخیری در بلافاصله پس از فعالیت مقاومتی شدید به اوج خود رسیده است و این میزان نسبت به ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از فعالیت مقاومتی شدید به طور معناداری بالاتر بود ($P<0/05$). مصرف مکمل BCAA بر میزان درد و کوفتگی عضلانی تاخیری دختران ورزشکار متعاقب یک جلسه تمرین مقاومتی شدید تاثیر معناداری ندارد.



نمودار ۳. تغییرات سطوح میانگین کوفتگی عضلانی تاخیری

۴. بحث و نتیجه گیری

هدف مطالعه حاضر بررسی اثر مکمل BCAA بر آسیب و درد عضلانی ناشی از فعالیت ورزشی (EIMD) و پاسخ التهابی طی دوره ریکاوری پس از یک جلسه فعالیت مقاومتی استنتریک در دختران ورزشکار است. برخلاف فرضیه های ما، هیچ اثر مفیدی از مکمل BCAA روی نشانگرهای EIMD و پاسخ التهابی یافت نشد. یافته های اصلی این مطالعه این است که (الف) CK در ۲۴ ساعت به اوج خود رسید، در ۴۸ ساعت به سطح پایه بازگشت، (ب) IL-6 در پس از تمرین به اوج خود رسید و بلافاصله به سطح پایه بازگشت، (ج) IL-6 پلاسمایی بالاتر در گروه پلاسبو در مقایسه با گروه BCAA، (د) درد عضلانی (VAS) پس از ۷۲ ساعت به

⁴Nuclear Factor-kappa B

¹ Reactive Oxygen Species

² Peripheral Blood Mononuclear Cells

³ Neutrophils

متأثیرات اثرات مکمل های BCAA بر کاهش نشانگرهای آسیب عضلانی پلاسما و درد پس از تمرین مقاومتی در مردان تمرین شده را مورد بررسی قرار دادند [۲۸]. یافته های اصلی آن ها این بود که مکمل های BCAA می توانند جریان CK را در تمام زمان های پیگیری بعد از تمرین (>۲۴، ۲۴، ۴۸ ساعت) کاهش دهند و درد عضلانی (VAS) را در کمتر از ۲۴ ساعت پس از ورزش کاهش دهند، در حالی که در هیچ یک از زمان های پیگیری (۲۴ و ۴۸ ساعت) اثر کاهشی بیشتری بر لاکتات دهیدروژناز (LDH) دیده نشد. بطور کلی الگوهای گوناگون پاسخ تمرینی در نشانگرهای پلاسمایی آسیب عضلانی LDH و CK ممکن است نقش آن ها را در مراحل اولیه و اواخر التهاب نشان دهد. آسیب عضلانی باعث التهاب می شود که با پاکسازی سلول های آسیب دیده توسط فاگو سیتوز (در عرض ۲۴ ساعت) همراه است و به دنبال آن یک فاز طولانی بازسازی سلولی برای چند روز قبل از رفع التهاب درگیر می شود [۴]. اثر درمانی قابل توجه BCAA نقش آن را در تسریع بازسازی عضلات پس از تمرین مقاومتی برجسته می کند. بازسازی عضله یک فرآیند طولانی است و نیاز به منبع نیتروژن دارد که فقط از پروتئین و اسیدهای آمینه بدست می آید نه کربوهیدرات و چربی [۲۸]. بنابراین، این احتمال وجود دارد که اثر قابل توجه مکمل BCAA در کاهش افزایش CK با کوتاه کردن مرحله دوم بازسازی کننده التهاب با تامین منبع نیتروژن همراه باشد. نقش استروژن در التهاب ناشی از فعالیت ورزشی بسیار حیاتی است [۲۸]؛ بطوری که بیشتر تحقیقات برای دور زدن تأثیر بالقوه نوسانات استروژن بر پیامدهای آسیب عضلانی، مردان تمرین کرده را مورد بررسی قرار دادند. همچنین، تفاوت در وضعیت آمادگی جسمانی، EIMD و ترکیب BCAA با سایر اسیدهای آمینه ضروری یا ویتامین ها نیز می تواند از عوامل اصلی تفاوت ها باشد. همچنین متآنالیزها [۱۳، ۱۴، ۲۹] و مطالعات کارآزمایی بالینی تصادفی شده [۱۸، ۲۸] که به بررسی نقش BCAAs بر آسیب عضلانی ناشی از فعالیت ورزشی پرداخته اند، نقش جنسیت، شرایط جسمانی، نوع فعالیت ورزشی و مداخلات مکمل یاری و تغذیه ای را نادیده گرفته اند. متآنالیزی اخیراً تأثیر مثبت مصرف BCAAs قبل و بعد از ورزش را در کاهش CK پلاسمایی افراد در کمتر از ۲۴، ۲۴، ۴۸ و ۴۸ ساعت پس از ورزش نشان داد. همچنین، مطالعات دیگری نیز سطوح بالاتری از CK را در افراد سالم (اما نه بسیار تمرین کرده) در مقایسه با ورزشکاران یا شرکت کنندگان تمرین کرده نشان دادند، که نشان دهنده ارتباط بین وضعیت آمادگی جسمانی و انتشار CK است [۱۸، ۲۸]. مطالعات قبلی نشان دادند که CK در گروه BCAA در مقایسه با

دختران تمرین کرده حرفه ای دارد. در مطالعه حاضر مکمل BCAA بر فعالیت CK تأثیر معناداری نداشت. برای هر دو گروه مکمل، فعالیت CK بلافاصله پس از تمرین افزایش یافت و در ۲۴ ساعت به اوج خود رسید، که نشان می دهد پروتکل تمرین پیشنهادی قادر به القای میزان مشخصی از آسیب عضلانی بود. نمایه فعالیت CK مشاهده شده مطابق با مطالعات قبلی در مورد تمرینات مقاومتی اسنتریک [۱۸] و پرش از ارتفاع به زمین [۳] است، که اوج انتشار CK را در ۲۴ ساعت پس از تمرین نشان داد، اگر چه مطالعات دیگری به اوج رسیدن CK در زمان های اندازه گیری (پیگیری) مختلف را گزارش کردند [۲۳، ۲۶]. یک مطالعه [۲۸] اخیراً، با بررسی پروتکل ورزشی دوی تغییر سرعت (COD) ۹۰ درجه، اوج فعالیت CK را بلافاصله پس از تمرین نشان داد. همچنین خمتونگ و همکاران (۲۰۲۲) نتیجه گرفتند که زاویه بیشتر COD (۱۸۰°) و تعداد کل COD (۱۵۰ تکرار) باعث انتشار تاخیری و طولانی مدت CK می شود [۲۲]. این یافته، با یافته مطالعه حاضر در مورد نحوه انتشار CK همسو است. آن ها (خمتونگ و همکاران، ۲۰۲۲) دریافتند که مصرف ۰/۱۷ گرم BCAA به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن قبل و بلافاصله پس از یک پروتکل تمرینی دوی سرعت همراه با تغییر جهت (COD) تأثیر معناداری بر درد عضلانی، کراتین کیناز سرمی ندارد و تنها سبب کاهش جزئی IL-6 در مقایسه با دارونما (۰/۱۷ گرم گلوکز به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن) در بازیکنان بسکتبال نیست دانشگاهی خواهد شد. در سوی مقابل، مطالعات زیادی نشان دادند که مصرف BCAA با دوزهای مختلف احتمالاً سبب کاهش میزان سرمی CK بدن را در زمان های مختلف اندازه گیری خواهد شد. بنابراین، یافته های ون دو سلدورپ^۲ و همکاران (۲۰۱۸)، با یافته های پژوهش حاضر ناهمسو است [۱۸]. نتایج مطالعه ون دو سلدورپ و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که غلظت کراتین کیناز در هر دو گروه در ۴، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت بعد از انقباض اکسنتریک به طور معناداری نسبت به حالت پایه افزایش داشت. در حالی که در ۴۸ ساعت بعد از انقباض اکسنتریک غلظت کراتین کیناز در گروه BCAA در مقایسه با گروه دارونما به طور معناداری کمتر بود. میزان درد در هر دو گروه در تمام نقاط زمانی نسبت به حالت پایه افزایش یافت؛ در حالی که در نقاط زمانی ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از انقباض اکسنتریک، افراد گروه مکمل BCAA درد کمتری را گزارش کردند. از دلایل احتمالی ناهمسوئی مطالعه حاضر با مطالعه ذکر شده در تأثیرات مکمل BCAA می توان به جامعه آماری (مردان تمرین کرده قدرتی) اشاره کرد. اخیراً خمتونگ و همکاران (۲۰۲۳) در یک

³ Phagocytosis

¹ drop jumps

² VanDusseldorp

مفید مکمل BCAAs را بر آسیب عضلانی و کاهش درد با استفاده از یک استراتژی مکمل قبل و بعد از تمرین نشان نداد. تحقیقات قبلی اثربخشی مکمل BCAA را با استراتژی بارگیری قبل از تمرین مقاومتی نشان دادند [۳، ۱۸]. در مقابل، یک اثر مفید مکمل BCAA با یک استراتژی قبل و بعد از تمرین، بدون بارگیری قبلی دیده شد [۳۸]. از این رو، استراتژی های مختلف مکمل ممکن است نتایج متفاوتی را القا کند. با این حال، روش های پروتکل تمرینی که با مقدار متفاوتی از عملکرد عضلانی استریک اجرا می شود، ممکن است به طور متفاوتی باعث آسیب و درد عضلانی شود. بنابراین، دوز موثر و زمان مصرف مکمل های BCAA باید در ترکیب با روش ها و شدت تمرین در نظر گرفته شود. شواهد قبلی نشان داد که درد عضلانی ناشی از التهاب پری میزیوم یا اپی میزیوم [۳۹] و از تجزیه محمولات بافتی است که گیرنده های درد در عضلات را تحریک می کند به طوری که احساس درد افزایش می یابد [۴۰]. توضیح احتمالی برای تأثیر BCAA در کاهش درد عضلانی می تواند اثر گلوتامین باشد. گلوتامین یک اسید آمینه آزاد فراوان در پلاسما و عضله اسکلتی است که با سنتز پروتئین مرتبط است [۴۱]. به طور کلی، گلوتامین به شدت توسط سلول های التهابی و آسیب دیده برای کاهش میزان آسیب و کاهش درد استفاده می شود. BCAAs همچنین می توانند به گلو تامات ترانس آمین شوند تا تولید گلوتامین را افزایش دهند [۴۲]. با این وجود، مکانیسم اثر BCAA بر درد عضلانی هنوز مشخص نشده است. با توجه به شواهد موجود، نمی توان یک استراتژی منحصر به فرد برای مکمل BCAAs تعریف کرد. زیرا دوز BCAA در مطالعات مختلف متفاوت است. در واقع، تنها دو مطالعه تأثیر دوز های مختلف BCAAs را بررسی کردند که نشان دهنده تأثیر برتر دوز بالای BCAA (۱۸ گرم) بر کاهش درد عضلانی در مقایسه با دوز پایین (۶ گرم) بود [۳۸]. برعکس، دوز پایین (۲۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم) BCAA در مقایسه با دوز بالا (۴۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم) تأثیر بیشتری در کاهش LDH نشان داد [۳۱]. اگرچه این نتایج غیر قابل توضیح هستند، اما دوز موثر BCAA برای کاهش آسیب و درد عضلانی نامشخص است. علاوه بر این، نسبت BCAA (یعنی لوسین، ایزولوسین و والین)، زمان (یعنی قبل یا بعد از تمرین، یا ترکیبی از هر دو) و مدت زمان مصرف مکمل (یعنی مصرف کوتاه مدت یا طولانی مدت) به منظور استنتاج نتیجه گیری مناسب و ارائه توصیه برای پزشکان، ورزشکاران و مربیان باید در نظر گرفته شود. علیرغم اینکه مکمل های پروتئینی دیگر چون پروتئین WHEY نیز درصد بالایی از BCAAs را در خود دارند و اثرات ضد التهابی و ضد آسیب عضلانی و درد را نشان داده اند [۲۸]؛ اما، استفاده از مکمل های BCAA همچنان می تواند

گروه دارونما به طور قابل توجهی کاهش یافته است [۱۸]. پیشنهاد شده است که اثر BCAAs در کاهش آزاد سازی CK و میزان آسیب عضلانی را می توان با فراهمی زیستی بیشتر منبع نیتروژن و حفظ یکپارچگی غشاء در مرحله ثانویه آسیب عضلانی پس از فعالیت ورزشی استنتریک (برون گرا) تفسیر کرد [۳، ۳۰]. نتایج همسو با یافته های مطالعه حاضر برای پیگیری ۴۸ ساعت در دسترس است، که کاهش انتشار CK در مطالعات قبلی دیده نشد [۱۳، ۲۹]. تناقض در نتایج ۴۸ ساعت پس از فعالیت ورزش ممکن است با تعداد محدودی از مطالعات موجود در متآنالیز رحیمی و همکاران (۲۰۱۷) توضیح داده شود [۱۳]. علاوه بر این، وضعیت تناسب اندام و سن شرکت کنندگان می تواند میزان آسیب عضلانی [۳۱، ۳۲] و بنابراین، اثر مکمل های BCAA را در طول دوره ریکاوری تعدیل کند [۳]. علاوه بر این، تفاوت های جنسیتی در فعالیت سرم آنزیم می تواند بر میزان دامنه آنزیم تأثیر بگذارد [۳۳]. با این حال، کل الگوی پاسخ CK نامشخص است. سطوح اوج CK را می توان از ۲۴ تا ۹۶ ساعت مشاهده کرد و می تواند تحت تأثیر عوامل فردی و متغیرهای تمرینی قرار گیرد [۶، ۳۴]. با این حال، مطالعات بسیار کمی تغییرات CK را در ۷۲ ساعت بعد از فعالیت ورزشی بررسی کردند [۳، ۱۸، ۲۸]. بنابراین، تحقیقات بیشتر باید کل الگوی پاسخ CK را پس از تمرین مقاومتی آسیب زار بررسی کنند تا نقش آن در مراحل اولیه و/یا اواخر التهاب مشخص شود. در مطالعه حاضر، درک درد عضلانی بلافاصله پس از تمرین به اوج خود رسید، به تدریج پس از تمرین کاهش یافت، اما تا ۷۲ ساعت پس از ورزش همچنان بالا بود، هر چند، غلظت CK به سطح پایه بازگشت. در حالی که افزایش درد عضلانی و CK - هر دو - به عنوان پیامدهای EIMD در نظر گرفته می شود، آن ها کاملاً به هم مرتبط نیستند. اوج درد عضلانی پس از فعالیت ورزشی استنتریک و شدید می تواند طی دوره ریکاوری متفاوت باشد [۳۵]. علاوه بر این، شواهد قبلی همبستگی ضعیفی را بین درد عضلانی و سایر نشانگرهای غیرمستقیم EIMD نشان داد و این نگرانی را ایجاد کرد که آیا درد عضلانی به وضوح میزان آسیب عضلانی را منعکس می کند [۳۵، ۳۶]. مکانیسم های احتمالی زمینه ای درد عضلانی پس از EIMD، آسیب ساختاری در عضلات اسکلتی است که از طریق میوفیبر به دلیل افزایش بار ناشی از استرس مکانیکی بر ظرفیت بار سارکومر که منجر به پارگی های ریز در داخل یا نزدیک دیسک Z می شود [۲۸]. علاوه بر این، درد عضلانی ممکن است مربوط به بافت همبند کلاژنی باشد که یا در محل اتصال عضلانی تاندینوس یا فاسیای خارج عضلانی قرار دارد [۳۶، ۳۷]. بافت همبند کلاژنی به عنوان یک ضربه گیر عمل می کند تا بار اضافی و بیش از حد را تحمل کند که ممکن است باعث آسیب عضلانی شود. مطالعه حاضر اثرات

- [8] Gorissen SHM, Phillips SM. Branched-chain amino acids (leucine, isoleucine, and valine) and skeletal muscle. In: Nutrition and skeletal muscle. Elsevier; 2019. p. 283–98.
- [9] Millward DJ, Layman DK, Tomé D, Schaafsma G. Protein quality assessment: impact of expanding understanding of protein and amino acid needs for optimal health. *Am J Clin Nutr.* 2008;87(5):1576S-1581S.
- [10] Nicastro H, Da Luz CR, Chaves DFS, Bechara LRG, Voltarelli VA, Rogero MM, et al. Does branched-chain amino acids supplementation modulate skeletal muscle remodeling through inflammation modulation? Possible mechanisms of action. *J Nutr Metab.* 2012;2012.
- [11] Jäger R, Kerksick CM, Campbell BI, Cribb PJ, Wells SD, Skwiat TM, et al. International society of sports nutrition position stand: protein and exercise. *J Int Soc Sports Nutr.* 2017;14(1):20.
- [12] Tom A, Nair KS. Assessment of branched-chain amino acid status and potential for biomarkers. *J Nutr.* 2006;136(1):324S-330S.
- [13] Rahimi MH, Shab-Bidar S, Mollahosseini M, Djafarian K. Branched-chain amino acid supplementation and exercise-induced muscle damage in exercise recovery: A meta-analysis of randomized clinical trials. *Nutrition.* 2017; 42:30–6.
- [14] Hormoznejad R, Zare Javid A, Mansoori A. Effect of BCAA supplementation on central fatigue, energy metabolism substrate and muscle damage to the exercise: a systematic review with meta-analysis. *Sport Sci Health.* 2019; 15:265–79.
- [15] da Luz CR, Nicastro H, Zanchi NE, Chaves DFS, Lancha Jr AH. Potential therapeutic effects of branched-chain amino acids supplementation on resistance exercise-based muscle damage in humans. *J Int Soc Sports Nutr.* 2011;8(1):23.
- [16] Bessa AL, Oliveira VN, Agostini GG, Oliveira RJS, Oliveira ACS, White GE, et al. Exercise intensity and recovery: biomarkers of injury, inflammation, and oxidative stress. *J Strength Cond Res.* 2016;30(2):311–9.
- [17] Pournot H, Bieuzen F, Louis J, Fillard J-R, Barbiche E, Hausswirth C. Time-course of changes in inflammatory response after whole-body cryotherapy multi exposures following severe exercise. *PLoS One.* 2011;6(7): e22748.
- [18] 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.
- [19] Tartibian, B., Maleki, B. H., & Abbasi, A. The effects of ingestion of omega-3 fatty acids on perceived pain and external symptoms of delayed onset muscle soreness in untrained men. *Clinical Journal of Sport Medicine,* 2009;19(2), 115-119.
- [20] Lin, W., Song, H., Shen, J., Wang, J., Yang, Y., Yang, Y., ... & Lin, R. Functional role of skeletal muscle-derived interleukin-6 and its effects on lipid metabolism. *Frontiers in Physiology,* 2023; 14.
- [21] Barnes, J. N., Trombold, J. R., Dhindsa, M., Lin, H. F., & Tanaka, H. Arterial stiffening following eccentric

در بین ورزشکاران و افراد بسیار تمرین کرده تو صیه شود، که در معرض بارهای تمرینی زیاد و مکرر برای کاهش میزان EIMD و تسریع دوره زمانی ریکاوری پس از تمرین مقاومتی هستند. مطالعه حاضر نشان داد که مصرف مکمل BCAA (۲۲/۰ گرم/کیلوگرم) در قبل و بعد از تمرین هیچ اثر مفیدی در کاهش آسیب، درد عضلانی و التهاب در زنان تمرین کرده مقاومتی پس از تمرین مقاومتی اسنتریک وامانده ساز نداشت. با این حال، درد عضلانی درک شده به عنوان یک شاخص مهم سازگاری های تمرینی باقی می ماند، اما به شدت، مکانیسم های اساسی را طی دوره ریکاوری منعکس نمی کند. بنابراین، مطالعات آینده هنوز برای روشن کردن اثر سایر استراتژی های مکمل BCAAs بر کاهش پیامدهای منفی EIMD در ورزشکاران رشته های مقاومتی مورد نیاز است.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از نتایج پایان نامه در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۴۰۲ و همچنین پژوهانه نویسنده است. نویسنده مراتب قدردانی خود را از همکاران محترمی که در انجام این پژوهش مساعدت فرمودند اعلام می دارد.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می دارند که هیچ گونه تضاد منافی در پژوهش وجود ندارد.

منابع

- [1] Markus I, Constantini K, Hoffman JR, Bartolomei S, Gepner Y. Exercise-induced muscle damage: Mechanism, assessment and nutritional factors to accelerate recovery. *Eur J Appl Physiol.* 2021; 121:969–92.
- [2] Owens DJ, Twist C, Cobley JN, Howatson G, Close GL. Exercise-induced muscle damage: What is it, what causes it and what are the nutritional solutions? *Eur J Sport Sci.* 2019;19(1):71–85.
- [3] Howatson G, Van Someren KA. The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. *Sport Med.* 2008; 38:483–503.
- [4] Tidball JG. Regulation of muscle growth and regeneration by the immune system. *Nat Rev Immunol.* 2017;17(3):165–78.
- [5] Paulsen G, Ramer Mikkelsen U, Raastad T, Peake JM. Leucocytes, cytokines and satellite cells: what role do they play in muscle damage and regeneration following eccentric exercise? *Exerc Immunol Rev.* 2012;18.
- [6] Koch AJ, Pereira R, Machado M. The creatine kinase response to resistance exercise. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2014;14(1):68–77.
- [7] Yu J-G, Fürst DO, Thornell L-E. The mode of myofibril remodelling in human skeletal muscle affected by DOMS induced by eccentric contractions. *Histochem Cell Biol.* 2003; 119:383–93.

- [33] Barzegari A. Effect of 450 Mg. kg⁻¹ branched-chain amino acid supplement on muscle serum damage indices. *World Appl Sci J.* 2011; 15:1082-5.
- [34] Brancaccio P, Limongelli FM, Maffulli N. Monitoring of serum enzymes in sport. *Br J Sports Med.* 2006;40(2):96-7.
- [35] Nosaka K. Effects of amino acid supplementation on muscle soreness and damage. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2006;16(6):620-35.
- [36] Wilke, J., & Behringer, M. Is “delayed onset muscle soreness” a false friend? The potential implication of the fascial connective tissue in post-exercise discomfort. *International journal of molecular sciences,* 2021;22(17), 9482.
- [37] Wilke, J., Hespanhol, L., & Behrens, M. Is it all about the fascia? A systematic review and meta-analysis of the prevalence of extramuscular connective tissue lesions in muscle strain injury. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine,* 2019;7(12), 2325967119888500.
- [38] Dorrell, H., & Gee, T. The acute effects different quantities of branched-chain amino acids have on recovery of muscle function. *Sports Nutrition and Therapy,* 2016;1(3), e115-e115.
- [39] Malm, C. J. A. P. S. Exercise-induced muscle damage and inflammation: fact or fiction? *Acta Physiologica Scandinavica,* 2001;171(3), 233-239.
- [40] Proske, U., & Morgan, D. L. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *The Journal of physiology,* 2001;537(2), 333-345.
- [41] Raizel, R., & Tirapegui, J. Role of glutamine, as free or dipeptide form, on muscle recovery from resistance training: A review study. *Nutrire,* 2018;43(1), 28.
- [42] Street, B., Byrne, C., & Eston, R. Glutamine supplementation in recovery from eccentric exercise attenuates strength loss and muscle soreness. *Journal of Exercise Science & Fitness,* 2011;9(2), 116-122.
- exercise-induced muscle damage. *Journal of applied physiology,* 2010;109(4), 1102-1108.
- [22] Khemtong, C., Kuo, C. H., Chen, C. Y., Jaime, S. J., & Condello, G. Does branched-chain amino acids (BCAAs) supplementation attenuate muscle damage markers and soreness after resistance exercise in trained males? A meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrients,* 2021; 13(6), 1880.
- [23] Jackman, S. R., Witard, O. C., Jeukendrup, A. E., & Tipton, K. D. Branched-chain amino acid ingestion can ameliorate soreness from eccentric exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise,* 2010;42(5), 962-970.
- [24] Zhenyukh, O., Civantos, E., Ruiz-Ortega, M., Sánchez, M. S., Vázquez, C., Peiró, C., ... & Mas, S. High concentration of branched-chain amino acids promotes oxidative stress, inflammation and migration of human peripheral blood mononuclear cells via mTORC1 activation. *Free Radical Biology and Medicine,* 2017;104, 165-177.
- [25] Hosios, A. M., Hecht, V. C., Danai, L. V., Johnson, M. O., Rathmell, J. C., Steinhäuser, M. L., ... & Vander Heiden, M. G. Amino acids rather than glucose account for the majority of cell mass in proliferating mammalian cells. *Developmental cell,* 2016;36(5), 540-549.
- [26] Fouré, A., Nosaka, K., Gastaldi, M., Mattei, J. P., Boudinet, H., Guye, M., ... & Gondin, J. Effects of branched-chain amino acids supplementation on both plasma amino acids concentration and muscle energetics changes resulting from muscle damage: A randomized placebo controlled trial. *Clinical Nutrition,* 2016;35(1), 83-94.
- [27] Grazioli, R., Lopez, P., Machado, C. L., Farinha, J. B., Fagundes, A. O., Voser, R., ... & Cadore, E. L. Moderate volume of sprint bouts does not induce muscle damage in well-trained athletes. *Journal of Bodywork and Movement Therapies,* 2020;24(1), 206-211.
- [28] Khemtong, C., Tessitore, A., Jaime, S. J., Gobbi, G., Jensen, J., Yang, A. L., ... & Condello, G. Branched-chain amino acids supplementation does not accelerate recovery after a change of direction sprinting exercise protocol. *Nutrients,* 2022;14(20), 4331.
- [29] Rahimlou M, Ahmadi AHR, Palimi E, Mahdipour M, Poodeh BM. Reduction of Muscle Injuries and Improved Postexercise Recovery by Branched-Chain Amino Acid Supplementation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Fasting Heal.* 2020;8(1).
- [30] Shenoy, S., Dhawan, M., & Sandhu, J. S. Effect of chronic supplementation of branched chain amino acids on exercise-induced muscle damage in trained athletes. *Journal of Sports Science,* 2017;5, 265-273.
- [31] Amirsasan, R., Nikookheslat, S., Sari-Sarraf, V., Kaveh, B., & Letafatkar, A. The effects of two different dosages of BCAA supplementation on a serum indicators of muscle damage in wrestlers. *International Journal of Wrestling Science,* 2011; 1(2), 32-6.
- [32] Fernandes, J. F., Lamb, K. L., & Twist, C. Exercise-induced muscle damage and recovery in young and middle-aged males with different resistance training experience. *Sports,* 2019;7(6), 132.