

## Effect of Four Weeks of Separate and Concomitant Leucine and Taurine Supplementation on Delayed Onset Muscle Soreness Indices and Muscle Pain Perception Rate after Eccentric Resistance Exercise

Foad Asjodi<sup>1</sup>, Negin Kordi<sup>2</sup>, Tohid Khanvary<sup>3</sup>, Orod Mohajer Iravani<sup>1</sup>,  
Mohammad Samadi<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Iran Football Medical Assessment and Rehabilitation Center (IFMARC), Tehran, Iran

<sup>2</sup>Faculty of Physical Education and Sport Science, Razi University, Kermanshah, Iran

<sup>3</sup>Faculty of Physical Education and Sport Science, Tabriz University, Tabriz, Iran

<sup>4</sup>Exercise Physiology Research Center, Life Style Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: 16 September 2020 Accepted: 10 July 2021

### Abstract

**Background and Aim:** Delayed-onset muscle soreness after eccentric resistance exercise, which is usually part of military training, maybe due to damage to muscle structure. Nutrition can play a critical role in muscle damage by playing a vital role in both protein synthesis and catabolism. The aim of this study was to determine the effect of four weeks of separate and concomitant leucine and taurine supplementation on delayed muscle soreness indices and muscle pain perception rate after eccentric resistance exercise in young non-trained men.

**Methods:** In this quasi-experimental study, 48 non-trained young men were randomly divided into four groups of taurine + leucine supplement (2 g of taurine and 0.1 g of leucine per kg of body weight per day), taurine supplement (2 g taurine per day), leucine supplement (0.1 g leucine per kg body weight per day) and placebo (1500 mg maltodextrin per day) and took supplement and placebo for four weeks. Delayed onset muscle soreness in lower body muscles developed using knee flexion with a weight equivalent to 70% of 1RM (3 sets and 15 repetitions). Serum creatinine kinase and lactate dehydrogenase enzymes were measured by photometry and muscle pain perception rate was measured using the Pain Assessment scale (PAS) at the time before, immediately after, 24, 48 and 72 hours after eccentric resistance training.

**Results:** Comparison of changes in creatinine kinase activity and muscle pain perception rate showed a significant difference in different stages before and after eccentric resistance exercise ( $P < 0.05$ ).

These changes were significant in the leucine + taurine group in the pre-test times up to 24 hours and 48 hours post-test compared to the leucine, taurine and placebo groups ( $P < 0.05$ ). Changes in lactate dehydrogenase activity between groups were not significant at different times.

**Conclusion:** Concomitant use of leucine and taurine supplements can reduce some of the indicators of muscle damage and muscle pain perception rate after eccentric resistance exercise.

---

**Keywords:** Creatine kinase, Lactate dehydrogenase, Delayed-onset muscle soreness, Taurine, Leucine.

## تأثیر چهار هفته مکمل‌یاری مجزا و همزمان لوسین و تورین بر شاخص‌های کوفتگی عضلانی تاخیری و میزان درک درد عضلانی پس از فعالیت مقاومتی برون‌گرا

فواد عسجدی<sup>۱</sup>، نگین کردی<sup>۲</sup>، توحید خانواری<sup>۳</sup>، ارد مهاجر ایروانی<sup>۱</sup>، محمد صمدی<sup>۴\*</sup>

<sup>۱</sup> مرکز ارزیابی‌های پزشکی و بازتوانی فوتبال ایران (ایفمارک)، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

<sup>۳</sup> دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

<sup>۴</sup> مرکز تحقیقات فیزیولوژی ورزشی، پژوهشکده سبک زندگی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران

### چکیده

**زمینه و هدف:** کوفتگی عضلانی تأخیری پس از ورزش مقاومتی برون‌گرا که معمولاً جزئی از تمرینات نظامی می‌باشد، احتمالاً در اثر آسیب ساختار عضلانی بوجود می‌آید. تغذیه با ایفای نقش حیاتی در هر دو فرایند سنتز و کاتابولیسم پروتئین می‌تواند بر میزان آسیب عضلانی موثر باشد. هدف از پژوهش حاضر تعیین تأثیر چهار هفته مکمل‌یاری مجزا و همزمان لوسین و تورین بر شاخص‌های کوفتگی عضلانی تاخیری و میزان درک درد عضلانی پس از ورزش مقاومتی برون‌گرا در مردان جوان غیر ورزشکار بود.

**روش‌ها:** در این مطالعه نیمه‌تجربی، ۴۸ مرد جوان غیر ورزشکار به شکل تصادفی در چهار گروه مکمل تورین + لوسین (۲ گرم تورین و ۰/۱ گرم لوسین به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز)، مکمل تورین (۲ گرم تورین در روز)، مکمل لوسین (۰/۱ گرم لوسین به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز) و دارونما (۱۵۰۰ میلی‌گرم مالٹو دکسترین در روز) قرار گرفتند و به مدت چهار هفته از مکمل و دارونما مصرف کردند. کوفتگی عضلانی تأخیری در عضلات پائین‌تنه با استفاده از حرکت فلکشن زانو، با وزنه‌ای معادل ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه و در ۳ نوبت ۱۵ تکراری ایجاد گردید. آنزیم‌های کراتین‌کیناز و لاکتات دهیدروژناز سرم به روش فتومتری و میزان درک درد عضلانی با استفاده از مقیاس (PAS) در زمان‌های پیش، بلافاصله بعد، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از ورزش مقاومتی برون‌گرا اندازه‌گیری شد.

**یافته‌ها:** مقایسه تغییرات فعالیت آنزیم کراتین‌کیناز و میزان درک درد عضلانی نشان داد تفاوت معنی‌داری در مراحل مختلف پیش و پس از ورزش مقاومتی برون‌گرا وجود دارد ( $P < 0.05$ ). این تغییرات در گروه لوسین + تورین در زمان‌های پیش آزمون تا ۲۴ ساعت و ۴۸ ساعت پس آزمون نسبت به گروه‌های لوسین، تورین و دارونما معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ). تغییرات فعالیت آنزیم لاکتات دهیدروژناز بین گروه‌ها در زمان‌های مختلف معنی‌دار نبود.

**نتیجه‌گیری:** مصرف همزمان مکمل‌های لوسین و تورین می‌تواند سبب کاهش برخی از شاخص‌های آسیب عضلانی و میزان درک درد عضلانی پس از ورزش مقاومتی برون‌گرا شود.

**کلیدواژه‌ها:** کراتین‌کیناز، لاکتات دهیدروژناز، کوفتگی عضلانی تاخیری، تورین، لوسین.

## مقدمه

اما نقش اساسی در اعمال فیزیولوژیکی بدن به خصوص در کنترل انتقال عصبی، تنظیم حجم سلول و استحکام غشای سلولی ایفا می‌کند (۱۰، ۱۱). نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که مصرف تورین منجر به کاهش آسیب عضلانی می‌شود. احتمالاً این تأثیر مرتبط با ظرفیت تورین برای محافظت سلولی از طریق خاصیت تثبیت‌کنندگی غشاست، که موجب کاهش مقدار نشت CK در پی آسیب ناشی از انقباض می‌شود (۱۲). McLeay و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که مصرف مکمل تورین به مدت دوازده روز و به مدت ۷۲ ساعت پس از آسیب عضلانی، باعث بهبود عملکرد عضله دو سر بازویی می‌شود (۱۳). Silva و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر عوامل استرس اکسایشی را پس از تمرینات برون‌گرا بررسی کردند و نتیجه گرفتند که مصرف تورین به میزان ۳۰۰ mg/kg و به مدت ۱۵ روز باعث کاهش آسیب عضلانی شده است (۱۲). Philpott و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی به بررسی مصرف نوشیدنی حاوی ۱/۸ گرم لوسین به مدت ۶ هفته در مردان جوان فوتبالیست پرداختند. محققان افزایش احساس درد و غلظت کراتین کیناز را در بازیکنان فوتبال مشاهده کردند (۱۴). در پژوهش Waskiw-Ford و همکاران (۲۰۲۰) بعد از مصرف ۴ گرم در روز مکمل لوسین به مدت ۴ روز به افزایش غیرمعمول دار کراتین کیناز رسیدند. اما محققان نتیجه گرفتند که مصرف لوسین به طور متوسط باعث کاهش آسیب‌های عضلانی ناشی از فعالیت مقاومتی می‌شود (۱۵).

پژوهشی که درباره اثر مصرف هم‌زمان مکمل لوسین و تورین در پیشگیری از کوفتگی عضلانی تاخیری پس از ورزش مقاومتی برون‌گرا (Eccentric resistance exercise) باشد اندک بوده و این احتمال وجود دارد که این الگوی مکمل‌یاری بتواند شدت پاسخ‌های التهابی را کاهش داده و منجر به کاهش آسیب‌های عضلانی و در نتیجه بهبود عملکرد ریکاوری گردد. از این رو این مطالعه با هدف تأثیر چهار هفته مکمل‌یاری مجزا و هم‌زمان لوسین و تورین بر شاخص‌های کوفتگی عضلانی تاخیری و میزان درک درد عضلانی پس از فعالیت مقاومتی برون‌گرا در مردان جوان تمرین‌نکرده انجام گرفت.

## روش‌ها

در این مطالعه نیمه‌تجربی، ۴۸ مرد جوان تمرین‌نکرده بصورت داوطلبانه شرکت کردند. این آزمودنی‌ها دانشجویان یکی از دانشگاه‌های شهر تهران بودند که حداقل به مدت سه ماه قبل از اجرای تحقیق هیچ‌گونه مکمل‌های غذایی، داروهای ضدالتهابی استروئیدی و غیر استروئیدی و مسکن مصرف نمی‌کردند و از الگوی عمومی برنامه غذایی جامعه ایرانی پیروی می‌کردند و هم‌چنین دارای رژیم غذایی خاصی نبودند. در صورتی که در طول چهار هفته مکمل‌یاری، هر یک از معیارهای ذکر شده رعایت نمی‌شد آزمودنی از پژوهش حذف می‌شدند. یک هفته پیش از شروع

تمرینات ورزشی نیروهای نظامی شامل انقباض‌های عضلانی برون‌گرا و درون‌گرا می‌باشد. انقباض‌های برون‌گرا نسبت به انقباض‌های درون‌گرا و ایزومتریک تنش بیشتری در تارهای عضلانی فعال ایجاد می‌کنند، که پیامد آن اختلالات مکانیکی در تارهای عضلانی می‌باشد (۱). فشارهای مکانیکی احتمالی هنگام انجام فعالیت عضلانی، ممکن است سبب بروز آسیب‌های ریز در تارهای عضلانی شود. چنین آسیب‌هایی باعث فرآیندهای التهاب و ترمیم پس از فعالیت ورزشی می‌شود که منجر به احساس درد می‌گردد و اصطلاحاً کوفتگی عضلانی تاخیری (Delayed Onset Muscle Soreness [DOMS]) نامیده می‌شود، که اولین بار در سال ۱۹۰۲ توسط هوگ عنوان گردید (۱). DOMS یک تجربه معمول و شایع پس از انجام فعالیت‌های عضلانی است که شدت آن طی ۲۴ ساعت پس از تمرین افزایش یافته و حداکثر میزان آن ۲۴ تا ۴۸ ساعت پس از تمرین می‌باشد، که با علائم عملکردی نظیر احساس درد، محدودیت حرکتی، سفتی عضلانی و کاهش قدرت عملکردی و همچنین علائم بیوشیمیایی نظیر افزایش آنزیم کراتین کیناز (Creatine Kinase [CK]) و لاکتات دهیدروژناز (Lactate Dehydrogenase [LDH]) سرم شناسایی می‌گردد. میزان درد عضلانی که بعد از تمرین گزارش می‌شود به مدت، شدت، تکرار فعالیت و نوع فعالیت بستگی دارد (۲، ۳). CK یکی از آنزیم‌های دستگاه فسفاژنی است که در سرتاسر سلول عضلانی به ویژه در اطراف فیلامان‌های انقباضی وجود دارد. سطوح این آنزیم بعد از فعالیت مقاومتی برون‌گرا ممکن است تا ۱۰۰۰ IU/L افزایش یابد. آنزیم LDH نیز به مقدار زیاد در تمام بافت‌های بدن و با غلظتی متفاوت یافت می‌شود و در مسیر گلیکولیز بی‌هوازی نقش دارد. با تخریب خطوط Z و صدمه به سارکولما، این آنزیم‌ها به درون آب میان‌بافتی و در نهایت پلاسما انتشار داده می‌شود (۴).

راهبردهای گوناگونی در جهت کمک به کاهش میزان تخریب و کوفتگی عضلانی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، که از بین آن‌ها می‌توان به کشش، ماساژ، سرمادرمانی، اولتراسوند و مصرف داروهای ضد التهاب مانند آسپیرین، ایبوپروفن و استامینوفن (۲) و همچنین مصرف مکمل‌های غذایی مانند اسیدهای آمینه، ویتامین‌های C و E، ال کارنیتین و ... اشاره کرد (۵). به نظر می‌رسد یکی از روش‌های مقابله با این آسیب، مصرف مکمل‌های غذایی مختلف مانند مکمل‌های اسیدآمینه‌ای است. مصرف برخی از اسیدهای آمینه مانند اسید آمینه لوسین، باعث بهبود سنتز پروتئین می‌شود (۶). لوسین از طریق مکانیسم‌های مستقل و وابسته به انسولین، سنتز پروتئین را تنظیم می‌کند (۷). صرف نظر از سن و جنس، تمرین مقاومتی و مصرف لوسین نرخ سنتز پروتئین را افزایش می‌دهد (۸، ۹). یکی دیگر از این مکمل‌ها، اسیدآمینه تورین است. اگرچه تورین در گروه اسیدهای آمینه غیرضروری قرار دارد

از ناحیه ساعد دریافت شد، همچنین میزان درک درد عضلانی بوسیله مقیاس (Pain Assessment Scale [PAS]) مورد ارزیابی قرار گرفت (۱۶).

**پروتکل ایجاد آسیب عضلانی:** آسیب عضلانی در عضلات پائین تنه با استفاده از حرکت فلکشن زانو، با وزنه‌ای معادل ۷۰ درصد 1RM مشابه طرح تحقیقاتی Laroche Dain (۲۰۰۵) ایجاد گردید (۱۷). پس از توضیح کامل نحوه کار، آزمودنی‌ها در دو نوبت ۸ تایی با تکرارهای زیر بیشینه با پای برتر شروع به گرم کردن نمودند، سپس در ۳ نوبت ۱۵ تکراری با ۷۰ درصد 1RM حرکت اکستنشن زانو را به صورت برون‌گرا اجرا کردند. قسمت مثبت حرکت را آزمونگر تا زاویه ۹۰ درجه مفصل زانو بالا آورد و قسمت منفی حرکت (انقباض برون‌گرا) توسط آزمودنی اجرا شد؛ بین هر نوبت، استراحتی به مدت ۳ دقیقه در نظر گرفته شد. بلافاصله، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از انجام فعالیت برون‌گرا، شاخص‌های خونی CK، LDH و همچنین میزان درک درد عضلانی مجدداً اندازه‌گیری شد.

**اندازه‌گیری متغیرهای تحقیق:** متغیرهای آزمایشگاهی این تحقیق فعالیت آنزیم‌های CK و LDH سرمی بودند. جهت تهیه نمونه‌های سرم ۵ میلی‌لیتر خون تام ناشتا در وضعیت نشسته از ورید آنته کوبیتال دست چپ گرفته شد. سپس نمونه‌ها جهت لخته شدن به مدت ۲۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه انکوبه و بلافاصله به مدت ۱۰ دقیقه در ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند. فعالیت CK سرم به روش رنگ سنجی شیمیایی براساس ژافه با حساسیت U/L ۱ و ضریب ۱/۶ درصد تعیین شد (کیت رنگ سنجی CK، شرکت پارس آزمون تهران، ایران). فعالیت LDH به روش رنگ سنجی آنزیمی با حساسیت U/L ۵ و ضریب تغییر ۱/۲ درصد تعیین شد (کیت رنگ سنجی LDH، شرکت پارس آزمون تهران، ایران). شاخص میزان درک درد عضلانی به وسیله مقیاس شش امتیازی PAS مورد ارزیابی قرار گرفت (۱۶).

**تجزیه و تحلیل داده‌ها:** همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لوین و نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف، تعیین شد. مقایسه درون‌گروهی، با استفاده از روش تجزیه و تحلیل واریانس یک طرفه با اندازه‌گیری مکرر و در صورت معنی‌دار شدن از آزمون تعقیبی بونفرونی، جهت مقایسه اثر ترکیبات متفاوت مکمل با دارونما در مورد مقدار تغییرات LDH و CK و میزان درک درد عضلانی بین زمان پیش‌آزمون تا بلافاصله، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از فعالیت برون‌گرا و نیز تغییرات بلافاصله تا ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از فعالیت برون‌گرا و نیز تغییرات ۲۴ تا ۴۸ و ۷۲ ساعت و ۴۸ تا ۷۲ ساعت پس از فعالیت از روش تجزیه و تحلیل اندازه‌های مکرر و در صورت معنی‌دار شدن از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS-22 انجام شد و سطح معنی‌دار در تمام مراحل ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است.

آزمون و پس از تکمیل پرسشنامه سلامتی و فرم رضایت‌نامه، آزمودنی‌ها طی یک جلسه با وسایل و شیوه اندازه‌گیری آشنا شدند. در همین جلسه قد و وزن آن‌ها اندازه‌گیری گردید.

**روش جمع‌آوری داده‌ها:** در اولین جلسه آزمایش اندازه قد آزمودنی‌ها به سانتی‌متر و با دقت ۰/۱ سانتی‌متر توسط قد سنج ساخت کشور ایران ثبت شد. وزن و درصد چربی آزمودنی‌ها از روش مقاومت بیوالکتریک (BIA) و با دستگاه InBody 270 سنجیده شد. همچنین، در این جلسه رکورد حرکت خم شدن مفصل زانو از آزمودنی‌ها ثبت گردید و یک تکرار بیشینه (1RM) حرکت فلکشن زانو آزمودنی‌ها جهت تعیین وزنه برای ایجاد کوفتگی عضلانی از طریق فرمول زیر به دست آمد (۳).

$$1RM = \frac{W}{1.0278 - (R \times 0.0278)}$$

W = Weight Lifted (Kg)

R = Repetitions Complete

هفت روز پس از جلسه رکورد گیری مکمل‌یاری آغاز گردید، آزمودنی‌ها به صورت تصادفی به چهار گروه ۱۲ نفره ۱: لوسین + تورین، ۲: تورین، ۳: لوسین و ۴: دارونما تقسیم شدند. هر گروه مکمل‌های مخصوص خود را به مدت ۲۸ روز دریافت نمودند بدین ترتیب که گروه مکمل تورین + لوسین (طی دو نوبت: ۲ گرم در روز تورین و ۰/۱ گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز لوسین)، گروه مکمل تورین (طی دو نوبت: ۲ گرم در روز تورین)، گروه مکمل لوسین (طی دو نوبت: ۰/۱ گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز لوسین) و گروه دارونما (طی دو نوبت: ۱۵۰۰ میلی‌گرم در روز مالتودکستروزین) دریافت کردند، آخرین نوبت دریافت مکمل ۸ ساعت پیش از اجرای فعالیت ورزشی برون‌گرا بود؛ مکمل‌ها (تورین و لوسین) و دارونما (مالتو دکستروزین) از شرکت داروسازی کارن ایران تهیه شد.

در طی این ۴ هفته به تمام آزمودنی‌ها توصیه شد فعالیت ورزشی خاصی نداشته باشند و رژیم غذایی متداول و همیشگی خود را تغییر ندهند، همچنین آزمودنی‌های مورد مطالعه یک پرسشنامه تغذیه‌ای دریافت کردند و آموزش دیدند که رژیم غذایی خود را در طی مطالعه (هر هفته سه روز، شامل دو روز کاری و یک روز تعطیل - جمعاً ۱۲ روز) به صورت کامل از هنگام بیدار شدن از خواب صبحگاهی تا هنگام خوابیدن در شب، با مقادیر صحیح یادداشت نمایند. مقدار دریافت درشت مغذی‌ها، اسیدآمینو تورین و اسیدهای آمینه شاخه‌دار، آزمودنی‌ها با استفاده از نرم افزار Nutritionist 4 محاسبه گردید و در راستای کاهش عوامل مداخله‌گر در صورت تغییر محسوس در مقدار مصرف مواد غذایی آزمودنی‌ها از پژوهش حذف می‌شد. پیش از انجام برنامه تمرینی به صورت ناشتا از آزمودنی‌ها جهت اندازه‌گیری شاخص مورد نظر (سطح فعالیت آنزیم کراتین کیناز و لاکتات دهیدروژناز) مقدار ۵ میلی‌لیتر خون وریدی

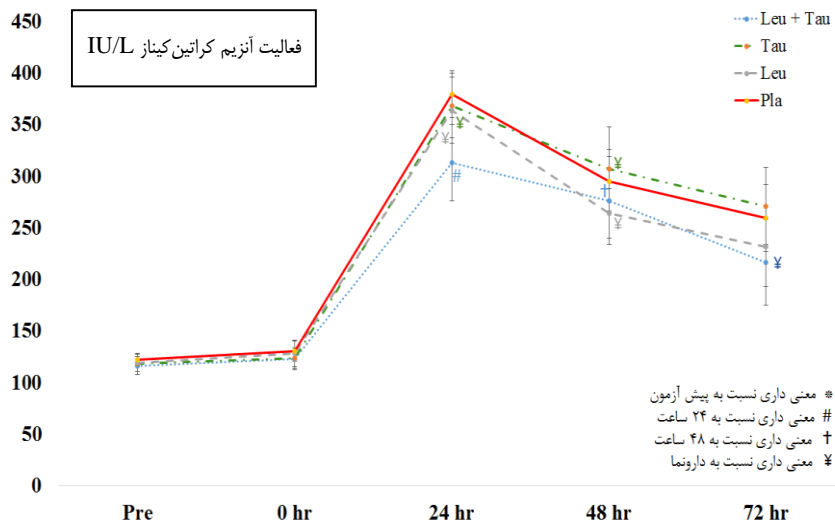
## نتایج

مقادیر CK سرم چهار گروه در مراحل مختلف در نمودار ۱، مقایسه میانگین و انحراف معیار مقادیر LDH سرم در چهار گروه در مراحل مختلف در نمودار ۲ و همچنین میانگین و انحراف معیار میزان درک درد عضلانی چهار گروه در مراحل مختلف در نمودار ۳ آورده شده است.

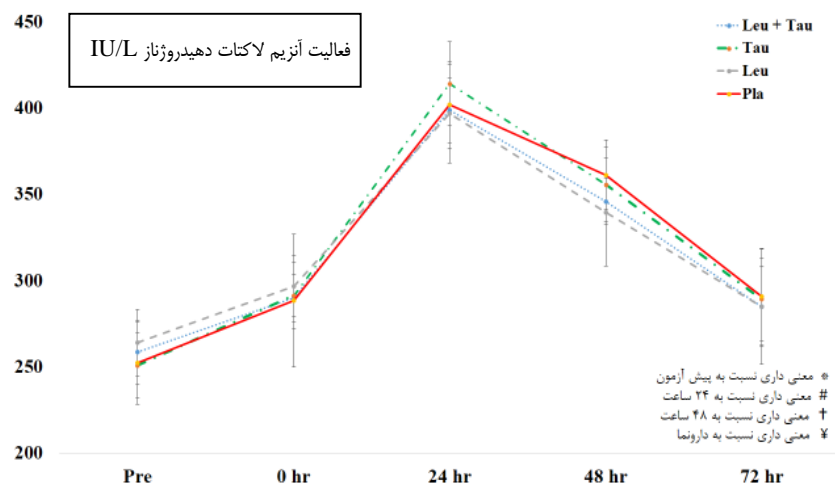
آزمون کولموگروف اسمیرنوف، طبیعی بودن توزیع داده‌ها (جدول ۱) و آزمون لوین همگن بودن داده‌ها را روشن ساخت ( $P > 0.05$ ). جدول ۱ نشان‌دهنده مشخصات آنترپومتریک و فیزیولوژیک آزمودنی‌ها است. مقایسه میانگین و انحراف معیار

جدول-۱. مشخصات آنترپومتریک و فیزیولوژیک آزمودنی‌ها

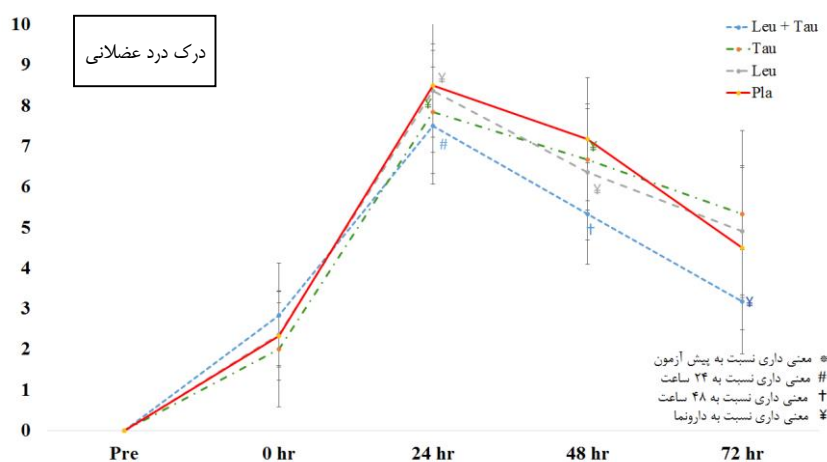
گروه‌ها	سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)	BMI (کیلوگرم بر مترمربع)	چربی (درصد)
گروه لوسین + تورین	22/19 ± 1/4	177 ± 6	73/22 ± 5/4	23/36 ± 1/0	14/69 ± 2/05
گروه لوسین	22/43 ± 1/98	173 ± 3	71/50 ± 2/4	23/72 ± 0/71	17/09 ± 2/45
گروه تورین	22/04 ± 2/64	177 ± 5	73/50 ± 5/9	23/37 ± 0/79	16/86 ± 1/60
دارونما	22/31 ± 1/91	175 ± 5	72/05 ± 4/0	23/47 ± 0/86	16/33 ± 1/93



نمودار-۱. مقایسه تغییرات کراتین کیناز سرم در مراحل مختلف پیش و پس از فعالیت ورزشی برون‌گرا



نمودار-۲. مقایسه تغییرات لاکتات دهیدروژناز سرم در مراحل مختلف پیش و پس از فعالیت ورزشی برون‌گرا



نمودار ۳- مقایسه میزان درک درد عضلانی در مراحل مختلف پیش و پس از فعالیت ورزشی برونگرا

زمان‌های پیش‌آزمون تا ۲۴ ساعت پس‌آزمون و همچنین پیش‌آزمون تا ۴۸ ساعت پس‌آزمون نسبت به گروه دارونما معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ). اما بین گروه‌های لوسین و تورین اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ( $P > 0.05$ ).

### بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که میزان کراتین‌کیناز در گروه لوسین + تورین در زمان‌های پیش‌آزمون تا ۲۴ ساعت پس‌آزمون و همچنین پیش‌آزمون تا ۴۸ ساعت پس‌آزمون نسبت به گروه‌های لوسین، تورین و دارونما معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ). در هر دو گروه لوسین و تورین در زمان‌های پیش‌آزمون تا ۲۴ ساعت و ۴۸ ساعت پس‌آزمون نسبت به گروه دارونما معنی‌دار بود. نتایج این مطالعه با برخی مطالعات همسو است (۲۱-۱۸). DE Luca و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که مکمل تورین با عوامل مرتبط با خستگی در ارتباط است (۲۰). Bakker و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که تورین حساسیت دستگاه انقباضی به کلسیم و تولید نیروی بیشینه را کاهش و اوج پاسخ‌های نیروی ناشی از دیپلاریزاسیون، فعالیت کانال‌های رهایی از کلسیم و تجمع کلسیم درون شبکه سارکوپلاسمی را افزایش می‌دهد (۲۱).

همچنین مشخص شده است که تورین با افزایش فعالیت پمپ کلسیمی شبکه سارکوپلاسمی، انباشت کلسیم درون شبکه سارکوپلاسمی را افزایش می‌دهد. می‌توان گفت که غلظت تورین درون‌زاد نقش مهمی در حفظ برون‌ده مناسب نیرو حین انقباض عضله اسکلتی دارد (۲۱). لوسین نیز از طریق تحریک سنتز پروتئین، باعث افزایش سنتز و قدرت عضلانی می‌گردد (۲۲). لوسین به دلیل فعال‌سازی mTOR و به دنبال آن 4E-BPI (4E-binding protein) و S6K1 (S6 kinase beta-1) و اتصال mRNA به ریبوزوم و افزایش نرخ سنتز پروتئین، باعث افزایش سنتز عضله می‌گردد و از تخریب عضله جلوگیری می‌شود

با مقایسه تغییرات میانگین CK در بین چهار گروه (نمودار ۱) مشخص شد که در مراحل مختلف پیش و پس از فعالیت مقاومتی برونگرا تفاوت معنی‌داری وجود دارد ( $F = 4/172$ ،  $P = 0/011$ ). نتایج آزمون بونفرونی نشان داد که این تفاوت‌ها بین گروه‌های لوسین + تورین با گروه تورین ( $P = 0/024$ ) و گروه لوسین با گروه تورین ( $P = 0/044$ ) معنی‌دار بود. همچنین نتایج این آزمون نشان داد در گروه لوسین + تورین در زمان‌های پیش‌آزمون تا ۲۴ ساعت پس‌آزمون و همچنین پیش‌آزمون تا ۴۸ ساعت پس‌آزمون نسبت به گروه‌های لوسین، تورین و دارونما معنی‌دار بود ( $P < 0/05$ ). در هر دو گروه لوسین و تورین در زمان‌های پیش‌آزمون تا ۲۴ ساعت پس‌آزمون و همچنین پیش‌آزمون تا ۴۸ ساعت پس‌آزمون نسبت به گروه دارونما معنی‌دار بود ( $P < 0/05$ ). اما بین گروه‌های لوسین و تورین اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ( $P > 0/05$ ). با مقایسه تغییرات LDH در بین چهار گروه (نمودار ۲) تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها در زمان‌های مختلف مشاهده نشد ( $P = 0/081$ ،  $F = 2/398$ ).

با مقایسه تغییرات میزان درک درد عضلانی در بین چهار گروه (نمودار ۳) مشخص شد که در مراحل مختلف پیش و پس از فعالیت مقاومتی تفاوت معنی‌داری وجود دارد ( $P = 0/003$ ،  $F = 5/471$ ). نتایج آزمون بونفرونی نشان داد که این تفاوت‌ها بین گروه‌های لوسین + تورین با گروه تورین ( $P = 0/003$ )، گروه لوسین ( $P = 0/041$ ) و گروه دارونما ( $P = 0/034$ ) معنی‌دار بود. آزمون آماری اندازه‌گیری مکرر نشان داد که در مورد تغییرات میزان درک درد عضلانی بین زمان پیش‌آزمون و زمان‌های پس‌آزمون تفاوت معنی‌دار است ( $F = 345/621$ ،  $P = 0/001$ ). همچنین نتایج آزمون بونفرونی نشان داد در گروه لوسین + تورین در زمان‌های پیش‌آزمون تا ۲۴ ساعت پس‌آزمون و همچنین پیش‌آزمون تا ۴۸ ساعت پس‌آزمون نسبت به گروه‌های لوسین، تورین و دارونما معنی‌دار بود ( $P < 0/05$ ). در هر دو گروه لوسین و گروه تورین در

آزردگی و کوفتگی عضلانی منجر شود و افزایش حرکت در این حالت می‌تواند به افزایش احساس درد ناشی از فشار درون عضلانی و حساس شدن گیرنده‌های درد به وسیله پروستاگلاندین‌ها منجر شود (۲۵).

نتایج حاضر با پژوهش Osmond و همکاران (۲۰۱۹) و Matsui و همکاران (۲۰۱۹) همسو بود (۲۷، ۲۸). از طرفی نتایج حاضر در زمینه میزان درک درد عضلانی متعاقب فعالیت مقاومتی با نتایج تحقیقات Foroughi (۱۳۹۴) مغایرت داشت (۲۹). از آنجایی که شدت درد در تحقیقات یاد شده با مقیاس‌های مختلف سنجیده شده است، می‌توان گفت داده‌های حاصله از تحقیقات ذکر شده تا اندازه‌ای متفاوت و متناقض هستند و احتمالاً دلیل وجود تناقض، تفاوت در مقیاس‌های مورد استفاده بود است.

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان می‌دهد که مصرف روزانه ۲ گرم تورین + ۰/۱ گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن لوسین، طی دو نوبت و به مدت چهار هفته احتمالاً می‌تواند برخی از شاخص‌های آسیب عضله و همچنین میزان درک درد عضلانی را پس از یک فعالیت ورزشی مقاومتی برون‌گرا کاهش دهد. اگرچه در مورد دوز مصرفی این مکمل برای این منظور اختلاف نظر وجود دارد اما اثرات مثبت مصرف این مکمل می‌تواند برای مربیان، ورزشکاران و نیروهای نظامی آموزشی سودمند باشد.

#### نکات بالینی کاربردی برای جوامع نظامی

- نیروهای نظامی در طول دوره‌های کسب آمادگی جسمانی بدلیل تمرینات سنگین ورزشی و نظامی در معرض آسیب‌های جسمانی از جمله کوفتگی و درد عضلانی هستند.
- مصرف مکمل‌های پروتئینی و اسیدآمین‌ها در کنار تمرینات ورزشی باعث ارتقاء ترکیب بدن، افزایش قدرت عضلانی و کارایی بیشتر این افراد می‌شود.
- کاربرد تحیق حاضر می‌تواند این باشد که به منظور کاهش آسیب، کوفتگی و درد عضلانی ناشی از تمرینات نظامی، از مکمل‌های اسیدآمین‌های لوسین و تورین به طور همزمان در برنامه غذایی دوره‌های آموزش نظامی استفاده شود.

**تشکر و قدردانی:** بدین وسیله از شرکت داروسازی و مکمل‌های غذایی - حیاتی کارن و تمامی دانشجویانی که به عنوان آزمودنی در انجام این پژوهش مساعدت فرمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد. پژوهش حاضر مستخرج از طرح تحقیقاتی وابسته به مرکز ارزیابی‌های پزشکی و بازتوانی فوتبال ایران (ایفمارک) و دارای کد اخلاق در پژوهش با شناسه IR.SSRC.REC.1399.045 می‌باشد

**نقش نویسندگان:** همه نویسندگان در نگارش اولیه مقاله

(۲۲). مهم‌ترین نتیجه تحقیق حاضر این بود که میزان آنزیم کراتین کیناز در گروه مکمل نسبت به گروه دارونما بعد از فعالیت ورزشی برون‌گرا به طور معنی‌داری کمتر بود. این نتایج نشان می‌دهند که مصرف مکمل‌های لوسین و تورین دارای تاثیراتی بر شاخص‌های کوفتگی عضلانی تاخیری است. اجرای ورزش مقاومتی برون‌گرا و مصرف مکمل‌های لوسین و تورین سبب افزایش سنتز پروتئین، کاهش تجزیه پروتئین و ایجاد تعادل مثبت پروتئین بعد از تمرین می‌شود؛ که این موارد می‌تواند رشد عضلانی را به همراه داشته باشد (۳). مصرف مکمل‌های پروتئینی سبب افزایش دریافت اسیدآمین‌ها توسط عضله اسکلتی و متعاقب آن افزایش سنتز پروتئین در عضله اسکلتی می‌شود (۳). این ویژگی سبب تسریع در ریکاوری و کاهش آسیب عضلانی پس از فعالیت‌های برون‌گرا می‌شود (۲۲). نتایج این تحقیق نشان داد که میزان لاکتات دهیدروژناز تغییر معنی‌داری نداشته است. همسو با نتایج پژوهش حاضر می‌توان به پژوهش Waldron و همکاران (۲۰۱۸) اشاره کرد که در آن مصرف مکمل لوسین در ۲۳ آزمودنی مرد، باعث عدم کاهش LDH در آزمودنی‌ها نسبت به گروه دارونما شد (۲۳). در پژوهش ناهمسوی Faramazi و همکاران (۱۳۹۳) عدم تغییر کراتین کیناز و لاکتات دهیدروژناز را بعد از مصرف مکمل تورین (۶گرم در روز) به مدت یک هفته مشاهده کردند (۲۴). فرضیه‌های متعددی برای ساز و کار آسیب عضلانی و کوفتگی عضلانی ناشی از تمرینات ورزشی ارائه شده است که از میان آن‌ها می‌توان به فرضیات اسیدلاکتیک، اسپاسم عضلانی، آسیب بافت همبند، التهاب و تورم اشاره نمود. اعتقاد بر این است که انقباضات برون‌گرا در تمامی افراد صرف نظر از جنس، سن و یا سطح آمادگی می‌تواند باعث کوفتگی عضلانی شود، اما در افرادی که قبلاً و به حد کافی تمرینات مقاومتی انجام نداده‌اند تاثیر بیشتری دارد (۲۵). فرضیه‌ای که اجماع محققین بر آن اعتقاد دارند بیان می‌کند که به دنبال تمرینات برون‌گرا آسیبی به اتصال تاندون عضله وارد می‌شود که باعث تجمع کلسیم می‌گردد، تنفس سلولی را مهار می‌کند و تولید آدنوزین تری فسفات را مختل می‌کند. در دقایق بعدی و در مرحله التهاب از آسیب، نوتروفیل‌های موجود در گردش خون افزایش می‌یابند. در عرض ۶ تا ۱۲ ساعت بعد از آسیب، ماکروفاژها و مونوسیت‌ها به اوج می‌رسند. ماکروفاژها در مواجهه با التهاب، رهاش پروستاگلاندین‌ها (PGE2) را تحریک می‌کنند که پایانه‌های عصبی نوع III و IV را به تحریکات حرارتی، مکانیکی و شیمیایی حساس می‌سازند (۲۶).

تجمع هیستامین، پتاسیم و کینین ناشی از فعالیت فاگوسیتوزی، نکرور سلولی و همچنین افزایش فشار ناشی از ادم و افزایش درجه حرارت موضعی بافت، همگی باعث فعال شدن گیرنده‌های درد در داخل عضلات و اتصال تاندون عضلانی می‌گردد. تمامی این‌ها با هم می‌تواند باعث آزادسازی آنزیم‌های کراتین کیناز، لاکتات دهیدروژناز، آسپاراتات آمینوترانسفراز و متعاقب آن احساس

**تضاد منافع:** نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

یا بازنگری آن سپیم بودند و همه با تایید نهایی مقاله حاضر، مسئولیت دقت و صحت مطالب مندرج در آن را می‌پذیرند.

## منابع

1. Najrzadeh A, Atarod H, Mozaffari-Khosravi H, Dehghani D, Asjodi F. The effect of single portion glutamine supplement consumption on injury indices of muscle after eccentric resistance exercise. *Arak Medical University Journal*. 2015;18(97):9-17. [In Persian]
2. Samadi M, Kordi N, Salehpour S, Mohajer Irvani O, Asjodi F. Effect of one and five-day curcumin consumption on muscle damage indices after an eccentric exercise session in untrained young men. *Journal of Military Medicine*. 2019;21(2):123-30. [In Persian]
3. Rohani H, Asjodi F, Safarimosavi S, Bahmanzadeh M. The Role of Resistance Training and Whey Protein Intake on Delayed Onset Muscle Soreness Indices after Eccentric Resistance Exercise in Untrained Men. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*. 2017;12(1):11-20. [In Persian]
4. Hassan Ghomi M, Asjodi F, Kordi N, Irvani O, Samadi M, Salehpour S. The Effects of Using Glutamine Supplementation in 3 Days on Indices of Muscle Damage after Leg Press Eccentric Resistance. *Journal of Medical Council of Iran*. 2019;36(2):101-6. [In Persian]
5. 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. *Arak Medical University Journal*. 2017;20(4):29-39. [In Persian]
6. Morley JE, Argiles JM, Evans WJ, Bhasin S, Cella D, Deutz NE et al. Nutritional recommendations for the management of sarcopenia. *Journal of the American Medical Directors Association*. 2010;11(6):391-6. doi:10.1016/j.jamda.2010.04.014
7. Manders RJ, Little JP, Forbes SC, Candow DG. Insulinotropic and muscle protein synthetic effects of branched-chain amino acids: potential therapy for type 2 diabetes and sarcopenia. *Clinical Nutrition and Aging*. First Edition. Taylor & Francis Group. 2016.
8. Volpi E, Kobayashi H, Sheffield-Moore M, Mittendorfer B, Wolfe RR. Essential amino acids are primarily responsible for the amino acid stimulation of muscle protein anabolism in healthy elderly adults. *The American journal of clinical nutrition*. 2003;78(2):250-8. doi:10.1093/ajcn/78.2.250
9. Gil JH, Kim CK. Effects of different doses of leucine ingestion following eight weeks of resistance exercise on protein synthesis and hypertrophy of skeletal muscle in rats. *Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry*. 2015;19(1):31-8. doi:10.5717/jenb.2015.19.1.31
10. Birdsall TC. Therapeutic applications of taurine. *Alternative Medicine Review*. 1998;3(2):128-36.
11. Dawson Jr R, Biasetti M, Messina S, Dominy J. The cytoprotective role of taurine in exercise-induced muscle injury. *Amino Acids*. 2002;22(4):309-24. doi:10.1007/s007260200017
12. Silva LA, Silveira PC, Ronsani MM, Souza PS, Scheffer D, Vieira LC, et al. Taurine supplementation decreases oxidative stress in skeletal muscle after eccentric exercise. *Cell biochemistry and function*. 2011;29(1):43-9. doi:10.1002/cbf.1716
13. McLeay Y, Stannard S, Barnes M. The effect of taurine on the recovery from eccentric exercise-induced muscle damage in males. *Antioxidants*. 2017;6(4):79. doi:10.3390/antiox6040079
14. Philpott JD, Donnelly C, Walshe IH, MacKinley EE, Dick J, Galloway SD et al. Adding fish oil to whey protein, leucine, and carbohydrate over a six-week supplementation period attenuates muscle soreness following eccentric exercise in competitive soccer players. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*. 2018;28(1):26-36. doi:10.1123/ijsnem.2017-0161
15. Waskiw-Ford M, Hannaian S, Duncan J, Kato H, Abou Sawan S, Locke M, et al. Leucine-enriched essential amino acids improve recovery from post-exercise muscle damage independent of increases in integrated myofibrillar protein synthesis in young men. *Nutrients*. 2020;12(4):1061. doi:10.3390/nu12041061
16. Jaywant SS, Pai AV. A comparative study of pain measurement scales in acute burn patients. *The Indian Journal of Occupational Therapy*. 2003;35(3):13-7.
17. LaRoche DP. Response to Eccentric Exercise Following Four Weeks of Flexibility Training: 2432 1: 0 PM–1: 15 PM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2005;37(5):S466.
18. Idrissi A, El Idrissi A, Trenkner E. Taurine as a modulator of excitatory and inhibitory neurotransmission. *Neurochemical Research*. 2004;29(1):189-97. doi:10.1023/B:NERE.0000010448.17740.6e
19. Goodman CA, Horvath D, Stathis C, Mori T, Croft K, Murphy RM; et al. Taurine supplementation increases skeletal muscle force production and protects muscle function during and after high-frequency in vitro stimulation. *Journal of Applied Physiology*. 2009;107(1):144-54. doi:10.1152/jappphysiol.00040.2009
20. De Luca A, Pierno S, Camerino DC. Taurine: the appeal of a safe amino acid for skeletal muscle disorders. *Journal of Translational Medicine*. 2015;13(1):1-8. doi:10.1186/s12967-015-0610-1
21. Bakker AJ, Berg HM. Effect of taurine on sarcoplasmic reticulum function and force in skinned fast-twitch skeletal muscle fibers of the rat. *The Journal of physiology*. 2002;538(1):185-94. doi:10.1113/jphysiol.2001.012872
22. Pourmazfari ZS, Aminaie M, Nikooie R. The



Effect Resistance Training and Leucine Supplements on Muscle Mass in Old Men Bearing Sarcopenia. *Zanko Journal of Medical Sciences*. 2018;19(61):21-31. [In Persian]

23. Waldron M, Waldron M, Ralph C, Jeffries O, Tallent J, Theis; Net al. The effects of acute leucine or leucine–glutamine co-ingestion on recovery from eccentrically biased exercise. *Amino Acids*. 2018;50(7):831-9. doi:10.1007/s00726-018-2565-z

24. Faramazi M, Rahimi M, Azamian jazi A, Ahmadian jonghani J. The effect of taurine supplementation on muscle injury indices due to eccentric resistance exercise in bodybuilding men. *Novin Olympic*. 2014;1(2):175-88.

25. Tojari F, Abdolvahabi Z, Azarbayjani MA, Rezaean S, Sarkheyl F. The Effects of Recovery Period on Muscle Pain Perception Rate Time after Sub-Maximal Exercise. *Journal of Applied Exercise Physiology*. 2010.7(13).111-24.

26. Cheung K, Hume PA, Maxwell L. Delayed onset muscle soreness. *Sports medicine*. 2003;33(2):145-64. doi:10.2165/00007256-200333020-00005

27. Osmond AD, Directo DJ, Elam ML, Juache G, Kreipke VC, Saralegui DE; et al The effects of leucine-enriched branched-chain amino acid supplementation on recovery after high-intensity resistance exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2019;14(8):1081-8. doi:10.1123/ijsp.2018-0579

28. Matsui Y, Takayanagi S, Ohira T, Watanabe M, Murano H, Furuata Y; et al. Effect of a leucine-enriched essential amino acids mixture on muscle recovery. *Journal of Physical Therapy Science*. 2019;31(1):95-101. doi:10.1589/jpts.31.95

29. Foroughi A. The effect of a single session of resistance exercise on indices of muscle damage and DOMS in student male athletes. *Research on Educational Sport*. 2015;3(8):37-52. [In Persian]