Journal of Sport and Exercise Physiology
2026, 19(3)

Original Article

The Effects of Eight Weeks of High- and Low-Intensity Resistance Training to Failure Combined with Beta-Alanine Supplementation on Electromyographic Activity and Functional Performance of the Biceps Brachii in Trained Young Adults

Hamid Rajabi[1]*, Hadi Safi Khanlou[1], Hamidreza Naserpour[2], Azam Ahmadi[1], Jamil Jafaripour Esmaeili[1]

1. Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

2. Department of Biomechanics and Sports Injuries, Faculty of Physical Education and Sport Science, Kharazmi University, Tehran, Iran.

Abstract

Background and Purpose: Beta-alanine (BA) supplementation is an effective factor in enhancing sports performance and delaying fatigue, particularly during lactate-based training or sports. However, its effects when combined with resistance training at different intensities on neuromuscular adaptation have not been well clarified. Therefore, the purpose of this study was to determine the effects of eight weeks of high- and low-intensity resistance training performed to failure, combined with beta-alanine supplementation, on electromyographic (EMG) activity and performance-related factors of the biceps brachii muscle in trained young adults.

Materials and Methods: Sixteen resistance-trained young men (age: 23.0 ± 2.0 years; body mass index: 25.81 ± 4.89 kg/m²) were assigned to either a resistance training plus beta-alanine supplementation group or a resistance training plus placebo group. Participants completed an eight-week resistance training program (24 sessions) using a unilateral, symmetrical limb design with two training intensities (high and low). In both groups (supplement and placebo), one arm performed high-intensity resistance training (75–80% of one-repetition maximum(1RM)), while the contralateral arm performed low-intensity resistance training (60–65%1RM), with all sets performed to failure in each set. Performance variables included training volume, strength, power, muscular endurance, and the maximal relative range of electromyographic activity of the biceps brachii muscle. These variables were assessed before and after the training period and analyzed using paired-sample t tests and analysis of covariance with SPSS software (version 27).

Results: Beta-alanine supplementation with resistance training resulted in significant improvements in training volume (P = 0.001), muscular strength (P = 0.001), power (P = 0.037), and muscular endurance (P = 0.013) compared with resistance training combined with placebo. However, changes in EMG-based neuromuscular indexes did not show significant differences between groups (P=0.928). Additionally, low-intensity resistance training resulted in significantly greater changes in training volume compared with high-intensity training (P = 0.001), whereas no significant differences were observed between high - and low-intensity training for EMG variables (P = 0.822), muscular strength (P = 0.553), power (P = 0.603), or muscular endurance (P = 0.232).

Conclusion: Beta-alanine supplementation combined with resistance training may be an effective strategy for improving muscular strength, power, and endurance, although it did not demonstrate a significant effect on neuromuscular adaptation. In addition, beta-alanine supplementation during lower-intensity resistance training

may allow a greater number of repetitions and higher training volume; however, it does not result in superior functional adaptations compared with higher-intensity training. Considering the importance of training volume in structural adaptations, the effectiveness of beta-alanine–induced increases in training volume should be investigated over longer training periods.

.**Keywords:** Resistance Training, Muscle Fatigue, Electromyography, Muscle Strength, Beta-Alanine

How to cite this article: Rajabi H, Safi Khanlou H, Naserpour HR, Ahmadi A, Jafaripour Esmaeili J. The Effects of Eight Weeks of High- and Low-Intensity Resistance Training to Failure Combined with Beta-Alanine Supplementation on Electromyographic Activity and Functional Performance of the Biceps Brachii in Trained Young Adults. J Sport Exerc Physiol. 2026;19(3):?-?.

*Corresponding Author's E-mail: hrajabi@khu.ac.ir

https://doi.org/10.48308/joeppa.2026.243307.1432

Received: 28/01/2026 Revised: 17/03/2026 Accepted: 16/03/2026

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نسخه پیش انتشار

نشریهٔ فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی

۱۴۰۵، دورهٔ ۱۹، شمارهٔ ۳، صفحه‌های ؟-؟

مقالهٔ پژوهشی

تأثیر هشت هفته تمرین مقاومتی با شدت بالا و پایین در سیستم تکرار تا خستگی به همراه مصرف مکمل بتاآلانین بر الکترومایوگرافی و عملکرد عضله دوسربازویی افراد جوان تمرین‌کرده

حمید رجبی[1*]، هادی صفی‌خانلو[1]، حمیدرضا ناصرپور[2]، اعظم احمدی[1]، جمیل جعفری‌پوراسمعیلی[1]

۱ .گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۲. گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزش، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: مکمل بتاآلانین یک عامل مؤثر در عملکرد ورزشی و تاخیر خستگی بویژه در تمرینات یا ورزش‌های لاکتیکی است، اما اثر آن در ترکیب با تمرین مقاومتی با شدت‌های متفاوت بر سازگاری عصبی-عضلانی بخوبی مشخص نشده است. هدف از این پژوهش، تعیین تأثیر هشت هفته تمرین مقاومتی با شدت بالا و پایین در سیستم تکرار تا خستگی همراه با مصرف مکمل بتاآلانین بر فعالیت الکترومایوگرافی و فاکتورهای عملکردی عضله دوسربازویی در افراد جوان تمرین‌کرده بود.

مواد و روش‌ها: ۱۶ مرد جوان تمرین کرده مقاومتی (سن ۲/۰ ± ۲۳ سال و شاخص توده بدنی ۴/۸۹ ± ۲۵/۸۱ کیلوگرم بر متر مربع) به دو گروه تمرین + مکمل بتاآلانین و تمرین + دارونما تقسیم شدند و با دو شیوه تمرینی (شدت بالا و پایین) با اندام متقارن دست به مدت ۸ هفته و مجموعا ۲۴ جلسه تمرین کردند. تمرین در هر دو گروه (مکمل و دارونما) بگونه ای بود که یک دست با شدت بالا(۷۵-۸۰ درصد یک تکرار بیشینه) و دست دیگر با شدت پایین(۶۰-۶۵ درصد یک تکرار بیشینه) تا خستگی در هر نوبت، انجام شد. شاخص‌های عملکردی شامل حجم تمرین، قدرت، توان و استقامت عضلانی و میزان حداکثر دامنه نسبی فعالیت عضلانی عضله دوسربازویی بود که قبل و بعد از دوره تمرین ارزیابی و با آزمون تی همبسته و تحلیل کوواریانس از طریق نرم افزار SPSS نسخه ۲۷ تحلیل شدند.

نتایج: مصرف مکمل بتاآلانین همراه با تمرین مقاومتی منجر به بهبود معنادار حجم تمرین (P=۰/۰۰۱)، قدرت (P=۰/۰۰۱)، توان (P=۰/۰۳۷) و استقامت (P=۰/۰۱۳) عضلانی نسبت به گروه تمرین مقاومتی و دارونما شد، درحالی‌که تغییرات شاخص‌های عصبی-عضلانی مبتنی بر EMG در بین گروه‌ها تفاوت معناداری نشان نداد (P=۰/۹۲۸). همچنین تغییرات شیوه تمرین با شدت

پایین‌تر نسبت به شدت بالاتر در فاکتور حجم تمرین (P=۰/۰۰۱) معنادار گزارش شد. درمقابل، تغییرات شیوه تمرین بین شدت بالا و پایین تمرین در فاکتورهای EMG (P=۰/۸۲۲)، قدرت (P=۰/۵۵۳)، توان (P=۰/۶۰۳) و استقامت (P=۰/۲۳۲) معنادار نبود.

نتیجه‌گیری: مکمل بتاآلانین در ترکیب با تمرین مقاومتی می‌تواند راهکاری مؤثر برای ارتقای عملکرد قدرتی، توانی و استقامت عضلانی باشد، هرچند تأثیر معناداری بر سازگاری عصبی نشان نداد. همچنین مصرف مکمل بتاآلانین در تمرین با شدت پایین‌تر می‌تواند امکان انجام تکرار بیشتر و حجم تمرین بالاتر را فراهم کند، اما منجر به برتری سازگاری عملکردی نسبت به شدت بالاتر نمی‌شود. به هر حال با توجه به اهمیت حجم تمرین در سازگاری های ساختاری، اثر بخشی افزایش حجم تمرین که بر اثر مکمل بتاآلانین ایجاد می‌شود باید در دوره‌های طولانی‌تر تمرین مورد مطالعه قرار بگیرد.

واژه‌های کلیدی: تمرین مقاومتی، خستگی عضلانی، الکترومایوگرافی، قدرت عضلانی، بتاآلانین

نحوهٔ استناد به این مقاله: رجبی ح، صفی‌خانلو ه، ناصرپور ح ر، احمدی ا، جعفری‌پوراسمعیلی ج. تأثیر هشت هفته تمرین مقاومتی با شدت بالا و پایین در سیستم تکرار تا خستگی به همراه مصرف مکمل بتاآلانین بر الکترومایوگرافی و عملکرد عضله دوسربازویی افراد جوان تمرین‌کرده. نشریهٔ فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۵؛۱۹(۳):؟-؟.

* رایانامهٔ نویسندهٔ مسئول: hrajabi@khu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۰۸ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۲۷

مقدمه

مکمل‌های تغذیه‌ای، همواره به عنوان یک عامل تأثیرگذار در بهبود عملکرد ورزشکاران در جوامع علمی و تجربی مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا، مکمل بتاآلانین به‌عنوان یکی از ترکیبات مؤثر در بهبود عملکرد عضلانی شناخته می‌شود که از طریق افزایش غلظت کارنوزین درون عضله، ظرفیت بافری عضلانی را تقویت می‌کند (۱). افزایش کارنوزین عضلانی موجب کاهش تجمع یون‌های هیدروژن(H^+) در حین فعالیت و درنتیجه، تأخیر در بروز خستگی می‌شود. این ویژگی سبب شده است که بتاآلانین به‌ویژه در تمرینات بی‌هوازی و مقاومتی به عنوان یک مکمل مؤثر بر عملکرد عضلانی و حفظ خروجی عصبی-عضلانی در فعالیت‌های شدید طولانی و تکراری مورد استفاده قرار گیرد (۲). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که مصرف مستمر مکمل بتاآلانین(در دوزهای معمول ۳/۲ تا ۶/۴ گرم در روز به مدت حداقل چهار هفته) همراه تمرین، می‌تواند غلظت کارنوزین عضلانی را حدود ۲۰ تا ۸۰ درصد افزایش داده و به‌طور میانگین موجب بهبود ۶ تا ۷ درصدی ظرفیت بافری در برابر یون‌های(H^+) شود (۳-۵). اگرچه افزایش ظرفیت بافری در برابر یون‌های هیدروژن (H^+)، به‌تنهایی قادر به حذف کامل خستگی در حین فعالیت‌های ورزشی نیست، اما شواهد پژوهشی متعددی نشان داده‌اند که مصرف مکمل بتاآلانین می‌تواند اثرات مثبتی از جمله تأخیر در بروز خستگی عصبی-عضلانی، افزایش زمان رسیدن به خستگی و ارتقای حجم کل کار انجام‌شده بویژه در تمرینات مقاومتی را به دنبال داشته باشد (۶-۹). از آنجایی که حجم تمرین یکی از متغیرهای کلیدی در تمرینات مقاومتی است و نقش مهمی در ایجاد سازگاری‌های عصبی-عضلانی دارد (۱۰)، افزایش حجم تمرین و قرار گرفتن طولانی‌تر عضله تحت تنش، می‌تواند موجب بهبود عملکرد عضلانی بویژه افزایش توده عضلانی و استقامت عضلانی از طریق

نسخه پیش انتشار

افزایش زمان تحت تنش شود. در واقع، زمان تحت تنش یک محرک قوی برای ارتقای توان استقامتی و کارایی عضله به شمار می‌رود به این معنا که هرچه مدت‌زمان قرارگیری عضله در وضعیت تنش بیشتر باشد، چالش بیشتری برای عصب و عضله ایجاد می کند و به شرطی که به ظرفیت ریکاوری ورزشکار توجه شود، سازگاری‌های عملکردی نیز به‌طور مؤثرتری شکل می‌گیرد (۱۱). شدت تمرین مقاومتی نیز یکی از عوامل تعیین‌کننده در نوع سازگاری‌های عصبی و عضلانی است. تمرین با شدت بالا (فشار مکانیکی) معمولاً با فعال‌سازی بیشتر واحدهای حرکتی با آستانه‌بالا، افزایش قدرت بیشینه و بهبود هماهنگی عصبی همراه است، درحالی‌که تمرین با شدت پایین که با حجم بیشتری تا خستگی انجام می شود (فشار متابولیکی)، با فراخوانی بیشتر تارهای کند انقباض و بهبود استقامت عضلانی ارتباط دارد (۱۲). بنابراین، تفاوت در شدت تمرین می‌تواند پاسخ‌های متابولیکی و عصبی متمایزی ایجاد کند و اثر مکمل سازی بتاآلانین نیز ممکن است بسته به شدت تمرین، تاحدی متفاوت باشد (۱۳). باتوجه به اینکه اجرای تمرین تا خستگی کامل باعث به‌کارگیری گسترده واحدهای حرکتی و ایجاد فشار متابولیکی بالاتر می‌شود، به نظر می رسد که مکمل بتاآلانین بتواند اثر هم‌افزایی در سازگاری‌های حاصل از این تمرینات ایجاد کند. در مطالعه‌ای که توسط شونفلد و همکاران در سال ۲۰۱۷ انجام شد نشان داده شد که اگر فشار متابولیکی به صورت تکرار تاخستگی انجام شود، می‌تواند تأثیر مشابه فشار مکانیکی داشته باشد. این پژوهشگران فراخوانی بیشتر واحدهای حرکتی با آستانه بالا را به عنوان سازوکار این سازگاری پیشنهاد کردند (۱۴). از طرفی، باتوجه به اینکه ممکن است خستگی بویژه درتارهای تندانقباض رخ دهد، می‌تواند فشار را در حرکات پایانی از تارهای کند انقباض به تند انقباض شیفت دهد. همچنین، باتوجه به اینکه در فشار مکانیکی نیز حرکات به صورت تکرار تاخستگی انجام می‌شود و احتمالا این تکرار بیشتر نیز باعث افزایش زمان تحت تنش عضله می‌شود، ممکن است مکمل بتاآلانین باعث شود تا خستگی در این شدت نیز به تاخیر بیفتد. هرچند سازوکار دقیق این روش به درستی بیان نشده است. برهمین اساس، این احتمال وجود دارد که به این دلایل، منجر به افزایش قدرت شوند. به نظر می‌رسد برای تایید این ادعا می‌توان از الکترومایوگرافی به‌عنوان ابزاری دقیق برای ارزیابی فعالیت واحدهای حرکتی و الگوهای فعال‌سازی عضله که نقش کلیدی در مطالعات عملکرد مستقیم عضلانی دارد، استفاده نمود. در مطالعات مختلفی که از الکترومایوگرافی پس از یک دوره تمرین مقاومتی استفاده شده است، سازگاری‌هایی از جمله تغییر در دامنه و الگوی فعالیت الکترومایوگرافی، بهبود هماهنگی عصبی-عضلانی، افزایش کارایی فعال‌سازی واحدهای حرکتی و در برخی موارد عدم تغییر معنادار در شاخص‌های الکترومایوگرافی علی‌رغم بهبود عملکرد عضلانی گزارش شده است (۱۵, ۱۶). بنابراین به نظر می‌رسد بررسی تغییرات الکترومایوگرافی درکنار سازگاری‌های عملکردی عضله بتواند بطور دقیق‌تری نشان دهد که چگونه شدت و حجم تمرین به‌همراه مصرف بتاآلانین بر پاسخ عصبی-عضلانی، نحوه و شدت فعال‌سازی عضلات، زمان‌بندی شروع فعالیت و خستگی عضلانی اثر می‌گذارد. تاکنون مقالات معدودی به بررسی اثر مکمل‌ها به ویژه مکمل بتاآلانین و تأثیر آن بر سازگاری‌های عصبی-عضلانی عضلات پرداخته‌اند؛ اما وجود تفاوت‌های فردی در گروه‌های مورد مطالعه، موضوعی مهم در تفسیر یافته‌ها محسوب می‌شود و هر گونه نتیجه گیری را با ابهام همراه می‌کند. لذا این تحقیق با هدف بررسی تأثیر ۸ هفته تمرین مقاومتی با شدت بالا و پایین تاخستگی در اندام متقارن همراه با مکمل بتاآلانین بر فعالیت الکترومایوگرافی و فاکتورهای عملکردی عضله دوسربازویی طراحی شد تا به‌طور دقیق‌تر ارتباط بین شدت تمرین مقاومتی، مکمل و سازگاری عصبی-عضلانی را روشن کند.

روش پژوهش

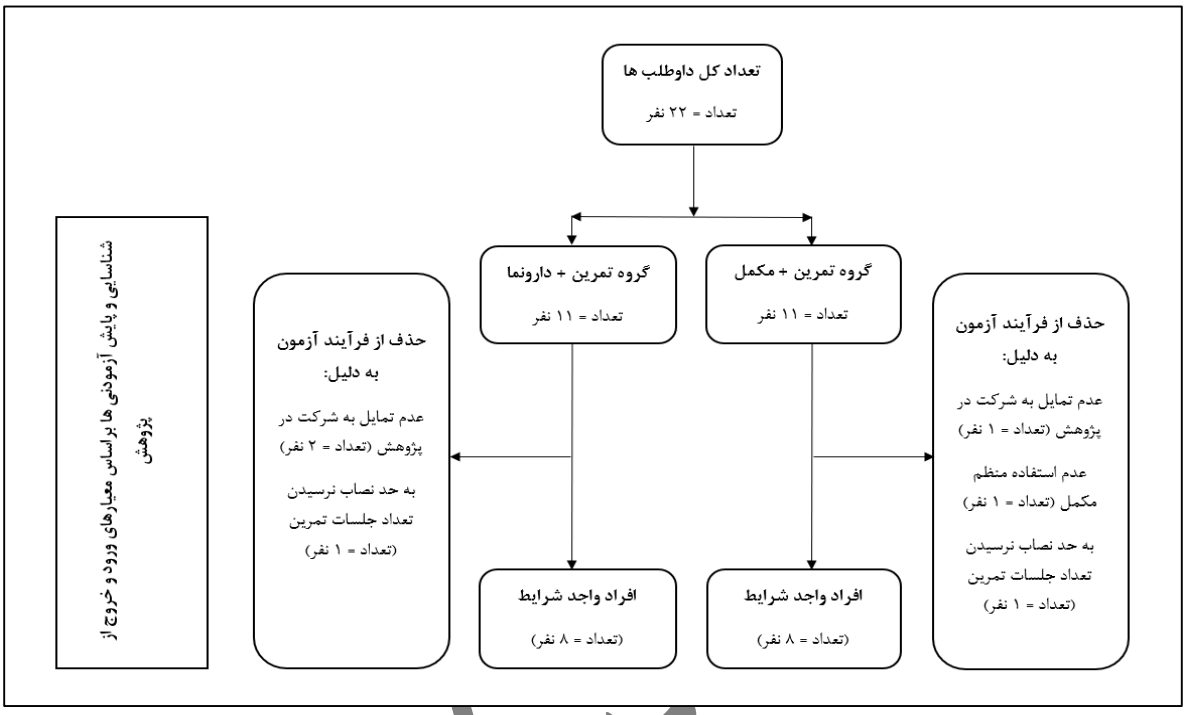
نمونه‌های پژوهش: پژوهش حاضر از نوع کاربردی و روش نیمه تجربی و طرح پیش آزمون و پس آزمون در دو گروه تمرینی با دریافت مکمل و بدون مکمل(گروه کنترل مکمل) انجام شد. برای رعایت ملاحظات اخلاقی، آزمودنی‌ها مجاز بودند در هر مرحله از پژوهش به صورت آزادانه و بدون پرداخت هیچ‌گونه هزینه مالی و معنوی از تحقیق خارج شوند. همچنین کلیات پژوهش بر اساس آخرین اعلامیه اخلاق در پژوهش هلسینکی صورت گرفت (۱۷) و کلیات آن توسط کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه خوارزمی مورد تایید قرار گرفت و با شماره IR.KHU.REC.1404.098 و تاریخ ۱۴۰۴/۰۶/۰۱ ثبت شد. جامعه آماری پژوهش حاضر را دانشجویان مرد ساکن خوابگاه پسرانه دانشگاه خوارزمی تهران تشکیل دادند که در بازه سنی ۱۹ تا ۲۶ سال قرار داشتند. شرکت‌کنندگان برای ورود به این مطالعه باید حداقل یک سال سابقه تمرین منظم مقاومتی داشته و در سلامت کامل جسمانی باشند. همچنین افرادی انتخاب شدند که طی شش ماه گذشته از هیچ‌گونه مکمل غذایی، دارویی یا محرک‌های ورزشی استفاده نکرده بودند و سابقه آسیب‌دیدگی عضلانی-اسکلتی نداشتند. بر اساس نرم‌افزار G-Power (نسخه ۳) و بر اساس تحقیقات پیشین با توان آماری ۰/۸۲، اندازه اثر ۰/۵ و خطاهای آلفا و بتا برابر با ۰/۱۷، ۲۲ مرد تمرین کرده جوان از جامعه پژوهش وارد پژوهش شدند که درنهایت ۱۶ نفر از آن‌ها (جدول ۱) پژوهش را به اتمام رساندند (۱۸, ۱۹). از دست آزمودنی‌ها به عنوان مبنای اجرای تمرینات با شدت بالا و پایین استفاده شد و با در نظر گرفتن میزان قدرت عضلانی در اندام فوقانی، به صورت تصادفی به طوری که شانس قرار گرفتن هر یک از آزمودنی‌ها در هر گروه به طور یکسان باشد به دو گروه ۱۱ نفره تمرین + مکمل بتاآلانین و تمرین + دارونما تقسیم شدند. تمامی آزمودنی‌ها باتوجه به پرسشنامه دست برتر دارای دست غالب راست بودند (۲۰).

جدول ۱. توصیف ویژگی شرکت‌کنندگان

متغیرها	گروه تمرین + مکمل	گروه تمرین + دارونما
تعداد	۸	۸
سن (سال)	۲۲,۵ ± ۱,۵۱	۲۳,۸۷ ± ۲,۲۳
قد (سانتی متر)	۱۸۱,۳۸ ± ۴,۱۴	۱۷۹,۰ ± ۵,۴۵
وزن (کیلوگرم)	۸۱,۷ ± ۱۶,۳۹	۸۵,۷۶ ± ۱۶,۱۷
شاخص توده بدنی (کیلوگرم/متر مربع)	۲٤,۸۱ ± ۴,۶۱	۲۶,۸۱ ± ۵,۲۷

معیارهای ورود شامل سلامت عمومی بدن، داشتن حداقل یک سال سابقه تمرین مقاومتی (بین ۱ تا ۴ سال)، نداشتن تمرین منظم و با برنامه در شش ماه گذشته و نداشتن سابقه مصرف مکمل‌های غذایی یا دارویی در شش ماه اخیر بود (۲۱, ۲۲). علت استفاده از افراد تمرین‌کرده در پژوهش حاضر، این بود که پروتکل تمرین به‌صورت تکرار تاخستگی و تک‌طرفه انجام می‌شد و نیازمند آمادگی نسبی آزمودنی‌ها بود. قبل از انجام پژوهش، پرسشنامه سلامت پزشکی و فرم رضایت‌نامه توسط آزمودنی‌ها تکمیل شد. براساس پرسشنامه پزشکی، هیچ‌یک از افراد شرکت‌کننده، سابقه آسیب‌دیدگی یا اختلال جسمانی مؤثر در عملکرد ورزشی نداشتند. معیار خروج شامل عدم تمایل به شرکت در پژوهش، عدم مصرف منظم مکمل، به حد نصاب نرسیدن تعداد جلسات در آخر تمرینات، عدم همکاری در آزمون‌ها، مصرف سایر مکمل‌ها، مصرف داروهای تأثیرگذار بر عضله و بروز آسیب در حین پژوهش در نظر گرفته شدند(23) . فلوچارت نحوه گزینش و به‌کارگیری آزمودنی‌ها در (شکل ۱) نشان داده شده است.

نسخه پیش انتشار



شکل ۱. فلوچارت نحوه انتخاب و پایش آزمودنی‌ها

روش اجرای پژوهش: در یک جلسه توجیهی و آشناسازی، تمامی آزمودنی‌ها از عوارض و خطرات احتمالی تمرین مقاومتی مطلع شدند و با اهداف پژوهش، جزئیات پروتکل تمرینی، شیوه صحیح اجرای حرکات و نحوه انجام آزمون‌ها آشنا شدند. آزمودنی‌ها متعهد شدند در طول مدت پژوهش، در هیچ فعالیت ورزشی دیگری خارج از پژوهش شرکت نکنند و در طول دوره پژوهش، الگوی تغذیه (از غذای دانشگاه استفاده می‌کردند) و خواب خود را ثابت نگه دارند و از مصرف هرگونه مکمل غذایی یا محرک پرهیز کنند، هر چند کنترل دقیق این موضوع توسط تیم پژوهش امکان پذیر نبود. به هرحال، به‌منظور کنترل و اطمینان از همسان‌بودن الگوی تغذیه‌ای آزمودنی‌ها، از پرسشنامه بسامد خوراکی ۲۴ ساعته در سه نوبت(یک روز فرد، یک روز زوج و یک روز تعطیل) استفاده شد و براین اساس اختلافی بین دو گروه مشاهده نشد. آزمون‌های عملکردی و ثبت الکترومایوگرافی، ۴۸ ساعت پیش از شروع دوره تمرینی و ۴۸ ساعت پس از پایان آن انجام شدند.

پروتکل تمرین مقاومتی شامل حرکات جلو بازو تک دست دمبل و جلو بازو سیم‌کش از بالا تک دست با تمرکز بر عضله دوسربازویی بود. هر آزمودنی یک دست را با شدت بالاتر و دست مقابل را با شدت پایین‌تر تمرین می‌داد و تخصیص دست غالب یا غیرغالب برای هر شدت به‌صورت تصادفی و با توزیع برابر انجام شد. آزمودنی‌ها قبل از جلسه تمرینی، ۱۵ دقیقه پروتکل گرم کردن شامل ۵ دقیقه فعالیت قلبی-عروقی و کشش اندام بالاتنه سبک (گرم کردن عمومی) و به دنبال آن گرم کردن تخصصی را به صورت دو نوبت جلوبازو دمبل (۱۰ تکرار با ۳۰-۴۰٪RM۱ و فاصله استراحت بین نوبت ۱ دقیقه‌ای) انجام می‌دادند (۲۴, ۲۵). تمرینات با شدت بالا در محدوده ۷۵ تا ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه One-Repetition maximum (1RM) و تمرینات با شدت پایین در محدوده ۶۰ تا ۶۵ درصد RM۱ انجام شدند. هر حرکت در سه نوبت انجام شد و هر نوبت تا رسیدن به خستگی عضلانی کامل ادامه یافت. استراحت بین هر نوبت ۱ دقیقه و بین هر حرکت ۲ دقیقه لحاظ شد.

مشخصات مربوط به پروتکل تمرین در جدول ۲ ارائه شده‌است. همچنین، جهت آشناسازی آزمودنی‌ها با پروتکل تمرینی، هفته اول تمرینات با شدت پایین تر(۳۰ و ۴۰ درصد RM۱) و هفته‌های بعد با هدف هایپرتروفی و پروتکل مشخص انجام شد. هر دو هفته، آزمون یک تکرار بیشینه انجام و در صورت لزوم، افزایش بار اعمال می‌شد. نحوه ارزیابی قدرت عضلانی هر دو هفته، به تفصیل در بخش ارزیابی قدرت عضلانی عنوان شده است و از همان پروتکل ارزیابی استفاده می‌شد. جلسات تمرینی در روزهای غیرمتوالی برگزار شدند تا زمان کافی برای بازیابی عضلانی آزمودنی‌ها فراهم شود.

جدول ۲. پروتکل تمرین مقاومتی

گروه	دست راست/چپ	دست راست/چپ	تکرار و نوبت	استراحت بین نوبت‌ها	استراحت بین حرکات
تمرین + مکمل	۸۰-۷۵ درصد قدرت بیشینه (شدت بالا)	۶۵-۶۰ درصد قدرت بیشینه (شدت بالا)	۳* تکرار تا خستگی	۱ دقیقه	۲ دقیقه
تمرین + دارونما	۸۰-۷۵ درصد قدرت بیشینه (شدت بالا)	۶۵-۶۰ درصد قدرت بیشینه (شدت بالا)	۳* تکرار تا خستگی	۱ دقیقه	۲ دقیقه

در طول دوره ۸ هفته‌ای مداخله (۵۶ روز)، دوز مصرفی مکمل به‌صورت مرحله‌ای افزایش یافت (جدول ۳) تا ضمن مطابقت با مقالات گذشته، عوارض جانبی را به حداقل برساند: دو هفته اول ۳ گرم، دو هفته دوم ۴ گرم، دو هفته سوم ۵ گرم و در دو هفته پایانی ۶ گرم بتاآلانین در روز همراه وعده غذایی مصرف شد (۲۶) و هر دو هفته، پرسشنامه ارزیابی عوارض جانبی مکمل توسط آزمودنی‌ها تکمیل می‌شد تا درصورت عوارض جدی، مصرف مکمل قطع و از مطالعه خارج شوند. از میان ۱۶ آزمودنی تمام‌کننده پژوهش، ۷ نفر عارضه جانبی مرتبط با مصرف مکمل شامل احساس گزگز یا مورمور شدن را گزارش کردند که از این میان، ۵ نفر شدت عارضه را خفیف و ۲ نفر شدت متوسط بیان نمودند. هیچ‌گونه عارضه دیگری جز احساس گزگز یا مورمور شدن در میان آزمودنی‌ها مشاهده نشد. بنابراین هیچ‌کدام از آزمودنی‌ها کنار گذاشته نشدند. مصرف روزانه مکمل در وعده‌های مساوی انجام می‌شد. از دکستروز در همان میزان و با همان روش مصرف مکمل بتاآلانین استفاده شد تا اثر روانی مکمل(دارونما) کنترل شود. مکمل بتاآلانین مورد استفاده دراین مطالعه به‌صورت پودر خالص و بدون افزودنی، محصول برند دوبیس ساخت کشور ایران بود و فاقد هرگونه ترکیب اضافی مانند کافئین، کراتین یا شکر افزوده بود. مکمل بتاآلانین دوبیس توسط شرکت صنایع غذایی و دارویی ایلیاپارس تولید شده و گواهینامه GMP و تأییدیه سازمان غذا و دارو(سیب سلامت) را دارا می‌باشد. این پژوهش به صورت یک‌سوکور انجام شد و هیچ یک از آزمودنی‌ها از محتوای واقعی مکمل یا دارونما آگاه نبودند.

جدول ۳. پروتکل و دوز مکمل

هفته	دوز مصرفی	زمان مصرف
۲ هفته اول	۳ گرم در روز	۳ وعده ۱ گرمی
۲ هفته دوم	۴ گرم در روز	۴ وعده ۱ گرمی

۲ هفته سوم	۵ گرم در روز	۵ وعده ۱ گرمی
۲ هفته چهارم	۶ گرم در روز	۶ وعده ۱ گرمی

برای ثبت داده‌های الکترومایوگرافی از دستگاه ۱۰ کاناله با مارک تجاری بایومتریکس ساخت کشور انگلستان با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز برای بررسی فعالیت عضلانی عضله منتخب استفاده شد. جهت آماده‌سازی سطح پوست ابتدا موهای زائد در ناحیه بازو توسط تیغ‌های یک‌بار مصرف پاکسازی گردید و جهت حذف چربی‌ها و آلودگی‌های سطح پوست از پدهای الکلی حاوی اتانول ۷۰ درصد استفاده گردید. سپس با استفاده از یک سمباده نرم سطح پوست تراشیده شد تا مقاومت سطحی پوست به پایین‌ترین حد ممکن برسد و رنگ پوست به رنگ صورتی روشن تغییر پیدا کند (۲۷). الکترودهای سطحی بر اساس پروتکل‌های SENIAM در به‌کارگیری الکترومایوگرافی سطحی بر روی عضله دوسربازویی قرار گرفت (۲۸). ابتدا آزمون‌های حداکثر انقباض ارادی ایزومتریک برای عضله دوسربازویی هر دو سمت انجام پذیرفت. برای تعیین حداکثر انقباض ارادی از فرد خواسته شد تا در یک صندلی نشسته و دست خود را با شانه‌های خم شده با زاویه ۹۰ درجه بر روی یک میز قرار دهد و با استفاده از یک مقاومت خارجی دستی ثابت که بر قسمت انتهایی ساعد در جهت اکستنشن آرنج اعمال می‌شد عمل فلکشن بازو را انجام دهد. هر آزمون سه‌بار و با فواصل زمانی ۵ دقیقه انجام شد و میانگین مقادیر فوق به عنوان حداکثر تلاش فرد برای عنوان رکورد الکترومایوگرافی و نرمال‌سازی نتایج ثبت گردید (۲۷). سپس فعالیت الکتریکی عضله دوسربازویی بر اساس ۷۰ درصد رکورد بیشینه حین حرکت جلو بازو دمبل تک‌دست (برآورد از طریق فرمول برزیکی) به عنوان تکلیف حرکتی زیر بیشینه ثبت گردید. میزان فعالیت عضله دوسربازویی حین حرکت و آزمون حداکثر انقباض ارادی ایزومتریک Maximum Voluntary Contraction (MVC)با شاخص Root Mean Square (RMS) و با میانگین متحرک ۲۵ میلی‌ثانیه و تحت نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۲۴ محاسبه و جهت نرمال‌سازی به حداکثر مقادیر به‌دست آمده در تست حداکثر انقباض بیشینه ارادی ایزومتریک تقسیم شد .(29)

با توجه به اینکه هفته اول تمرینات به‌منظور آشنایی آزمودنی‌ها با پروتکل تمرینی در نظر گرفته شد، محاسبه حجم تمرین در هفته دوم و هفته‌های بعدی و در نهایت هفته هشتم به‌عنوان مراحل پیش‌آزمون و چندین نوبت پس‌آزمون انجام گرفت. حجم تمرین به‌صورت میانگین مجموع تعداد تکرارهای انجام‌شده طی یک هفته تمرینی (سه جلسه تمرین) محاسبه و مورد تحلیل قرار گرفت. به منظور کنترل ریتم حرکت، در هفته اول که به منظور آشناسازی انجام شد، آزمودنی‌ها یادگرفته بودند که با ریتم ثابت و معینی تمام حرکات را اجرا کنند. همچنین محقق در طول تمرینات به صورت تصادفی آزمودنی‌ها را زیرنظر داشت .

توان عضلانی آزمودنی‌ها درحرکت پرتاب مدیسین بال تک دست اجرا شد. در این تست، آزمودنی پشت خط مشخص شده ایستاد و پاها را به اندازه عرض شانه باز کرد. توپ مدیسن‌بال در دست و کنار سر قرار گرفت و بدون تماس با سر، با حرکت انفجاری به سمت جلو و تنها با یک دست پرتاب شد. در صورتی که پای آزمودنی از خط مشخص‌شده جلوتر می‌رفت، پا از

زمین جدا می‌شد، یا دست غیر پرتاب‌کننده یا سر در پرتاب دخالت می‌کرد، پرتاب معتبر محسوب نشده و آزمون مجدداً تکرار می‌شد. هر آزمودنی سه تکرار با هر دست و با فاصله استراحت ۵ دقیقه بین پرتاب‌ها انجام داد. حداکثر فاصله پرتاب در هر دست به‌عنوان شاخص توان عضلانی نهایی در نظر گرفته شد.(30, 31)

10دقیقه پس از تست توان عضلانی، قدرت عضلانی آزمودنی‌ها توسط آزمون یک تکرار بیشینه در حرکت جلو بازو دمبل تک دست برای هر دست به صورت جداگانه انجام شد. تست یک تکرار بیشینه با وزنه‌ای آغاز می‌شد که بر اساس سابقه تمرینی فرد، پیش‌بینی می‌شد قادر به اجرای کمتر از ۵ تکرار با آن باشد. در صورتی که تعداد تکرار زیاد می‌شد، ۵ تا ۱۰٪ به وزنه‌ها اضافه می‌شد و این کار تا جایی ادامه می‌یافت که تعداد تکرار با وزنه به زیر ۵ برسد. زمان استراحت بین هر تلاش ۵ دقیقه در نظر گرفته شد. یک تکرار بیشینه با استفاده از فرمول برزیکی (۳۲) محاسبه شد:

$$1RM = W \times (1 + 0.0333 \times r)$$

که W: وزنه و r: تعداد تکرار بود.

10 دقیقه پس از آزمون قدرت عضلانی، استقامت عضلانی آزمودنی‌ها با حرکت جلو بازو دمبل تک دست و با ۴۰٪ یک تکرار بیشینه (برمبنای آزمون برآورد قدرت) با ریتم معین (استفاده از مترونوم) برای هر آزمودنی اجرا شد. حرکت تا زمانی ادامه می‌یافت که آزمودنی قادر به انجام یک انقباض درون‌گرای کامل نباشد. بین اجرای آزمون برای هر دست، ۵ دقیقه استراحت در نظر گرفته شد. با توجه به تغییر قدرت بیشینه از پیش آزمون تا پس آزمون و انجام آزمون استقامت با ۴۰٪ یک تکرار بیشینه جدید در پیش‌آزمون و پس‌آزمون، از واحد کیلوگرم (وزنه * تکرار) استفاده شد .(33)

روش‌های آزمایشگاهی: -

تحلیل آماری: داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۷ تجزیه و تحلیل شدند و از نرم‌افزار PRISM نسخه ۱۰ برای نمایش داده‌ها استفاده گردید. از آزمون شاپیروویلک برای بررسی نرمال بودن داده‌ها و از آزمون کوواریانس برای تعیین و تشخیص تفاوت‌های بین گروه‌های شیوه های تمرینی و مکمل و از آزمون تی زوجی برای تعیین تفاوت‌های قبل و بعد درون‌گروهی با سطح معناداری ۰/۰۵ استفاده گردید. همچنین برای بررسی تعداد تکرارهای اجراشده هر گروه به تفکیک هفته، از آزمون واریانس با اندازه‌های تکراری و برای بررسی بین گروهی این متغیر از آزمون تی مستقل استفاده شد. ابتدا پیش‌فرض‌های اولیه آزمون کوواریانس، مثل نرمال بودن توزیع متغیرها، مستقل بودن متغیر کوواریت و متغیر مستقل، همبستگی معنادار بین متغیرهای کوواریت و متغیر وابسته و در نهایت همگنی واریانس‌های بین گروهی انجام پذیرفت و تمامی این پیش‌فرض‌ها برقرار بود.

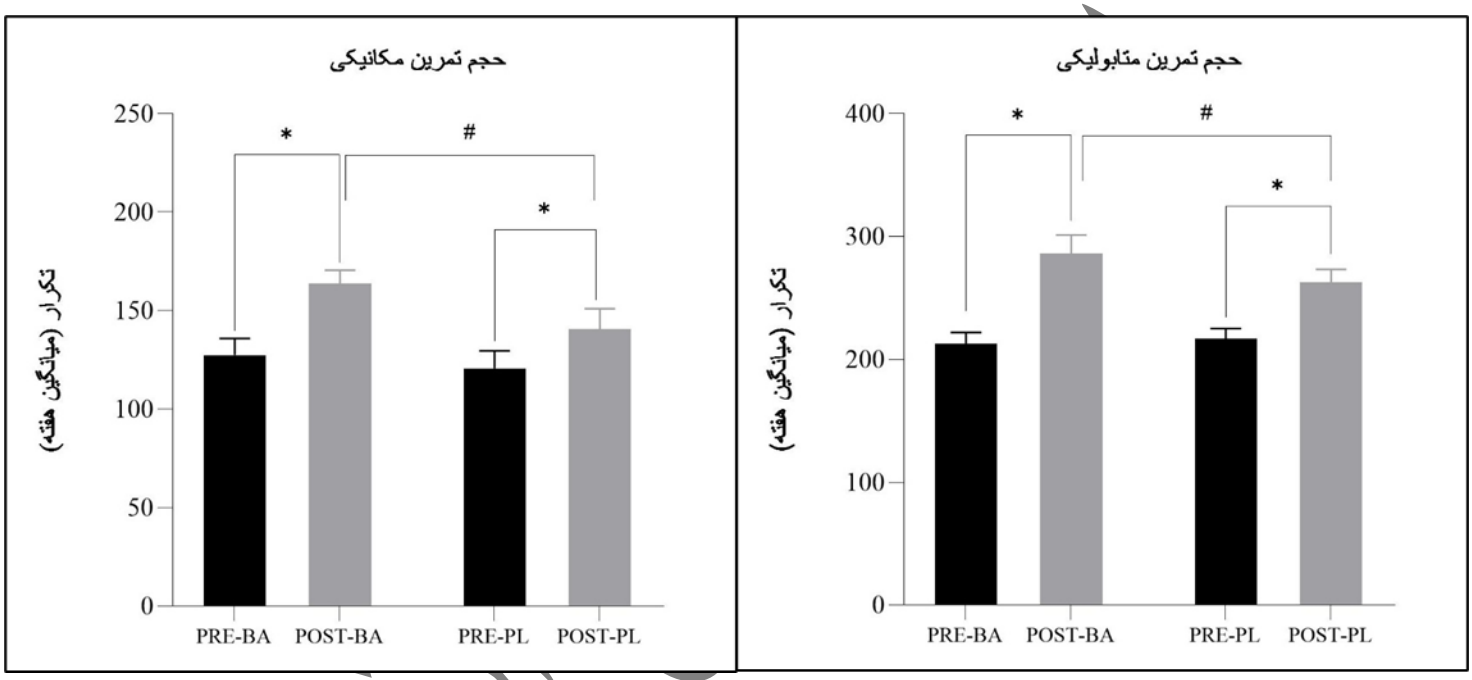
نتایج

حجم تمرین:

در آزمون تی همبسته در مقایسه درون‌گروهی افراد در گروه مکمل بتاآلانین با شیوه تمرینی مکانیکی نتایج تفاوت معناداری نشان داد (P=۰/۰۰۱). این نتایج در گروه مکمل بتاآلانین شیوه تمرینی متابولیکی نیز بعد از هشت هفته پروتکل اعمالی معنادار بود (P=۰/۰۰۱). همچنین نتایج در دو گروه دارونما شیوه تمرینی مکانیکی (P=۰/۰۰۶) و دارونما شیوه تمرینی متابولیکی (P=۰/۰۰۱) نیز معنادار یافت شد.

نسخه پیش انتشار

بر اساس نتایج تحلیل کوواریانس بین گروه‌های مکمل و دارونما و نیز شیوه‌های تمرینی متابولیکی و مکانیکی، پس از کنترل اثر پیش‌آزمون به‌عنوان متغیر کنترل (کووریت)، تفاوت معناداری در پس‌آزمون حجم تمرین گروه مکمل بتاآلانین نسبت به گروه دارونما مشاهده شد ($F(1,27)= ۳۶/۵۷۵$، $P=۰/۰۰۱$، $\eta^2=۰/۵۷۵$). همچنین بین دو شیوه تمرینی، تفاوت معناداری در حجم تمرین به نفع تمرین با شدت پایین نسبت به شدت بالا مشاهده شد ($F(1,27)= ۲۷/۶۸۹$، $P=۰/۰۰۱$، $\eta^2=۰/۵۰۶$). در مقابل، اثر متقابل تمرین و مکمل معنادار نبود ($F(1,27)= ۲/۸۹۹$، $P=۰/۱$). میانگین و انحراف استاندارد حجم تمرین قبل و بعد از هشت هفته تمرین در گروه‌های مورد مطالعه، در شکل ۲ نمایش داده شده است.



* تفاوت درون گروهی (P<۰/۰۵) # تفاوت بین گروهی (P<۰/۰۵)

پیش آزمون :PRE پس آزمون :POST بتاآلانین :BA پلاسیبو یا دارونما :PL

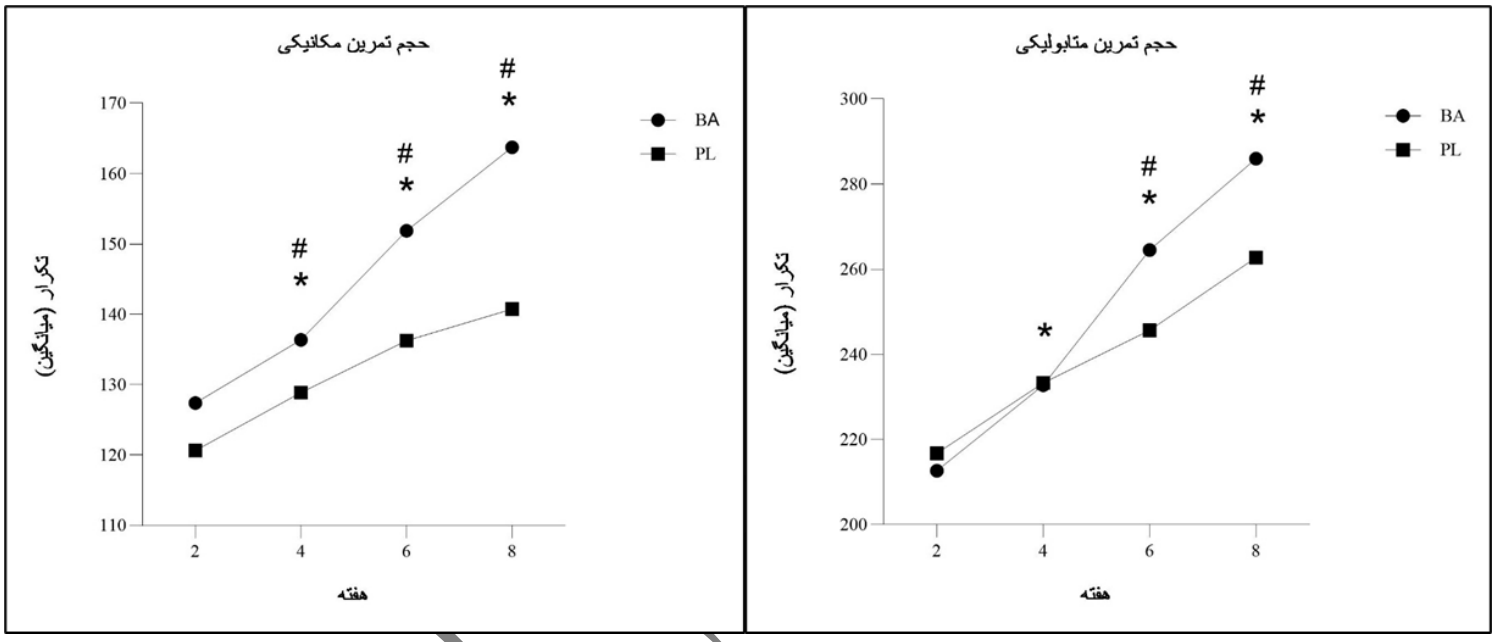
شکل ۲. حجم تمرین

در آزمون واریانس با اندازه‌های تکراری در روش تمرینی متابولیکی، بین هفته چهارم و هفته دوم ($P=۰/۰۰۱$)، بین هفته ششم و هفته دوم ($P=۰/۰۰۱$) و بین هفته هشتم و هفته دوم ($P=۰/۰۰۱$) تفاوت معناداری یافت شد.

در آزمون تی مستقل در مقایسه بین‌گروهی افراد در گروه مکمل بتاآلانین با گروه دارونما در روش تمرینی متابولیکی، برای هفته دوم ($P=۰/۳۶۱$) و هفته چهارم ($P=۰/۹۳۶$) نتایج تفاوت معناداری نشان نداد. درمقابل، این نتایج در هفته ششم ($P=۰/۰۰۲$) و هفته هشتم ($P=۰/۰۰۳$) معنادار یافت شد.

در آزمون واریانس با اندازه‌های تکراری در روش تمرینی مکانیکی، بین هفته چهارم و هفته دوم ($P=۰/۰۰۵$)، بین هفته ششم و هفته دوم ($P=۰/۰۰۱$) و بین هفته هشتم و هفته دوم ($P=۰/۰۰۱$) تفاوت معناداری یافت شد.

در آزمون تی مستقل در مقایسه بین‌گروهی افراد در گروه مکمل بتاآلانین با گروه دارونما در روش تمرینی مکانیکی، برای هفته دوم نتایج تفاوت معناداری نشان نداد (P=۰/۱۴۴). در مقابل، این نتایج در هفته چهارم (P=۰/۰۳۸) و هفته ششم (P=۰/۰۰۱) و هفته هشتم (P=۰/۰۰۱) معنادار یافت شد. تعداد تکرارهای اجراشده هر گروه به تفکیک هفته در شکل ۳ نمایش داده شده است.



* معنی دار نسبت به پیش آزمون (P<۰/۰۵) # تفاوت بین گروهی (P<۰/۰۵)

PRE: پیش آزمون POST: پس آزمون BA: بتاآلانین PL: پلاسیبو یا دارونما

شکل ۳. تعداد تکرارهای اجراشده هر گروه به تفکیک هفته

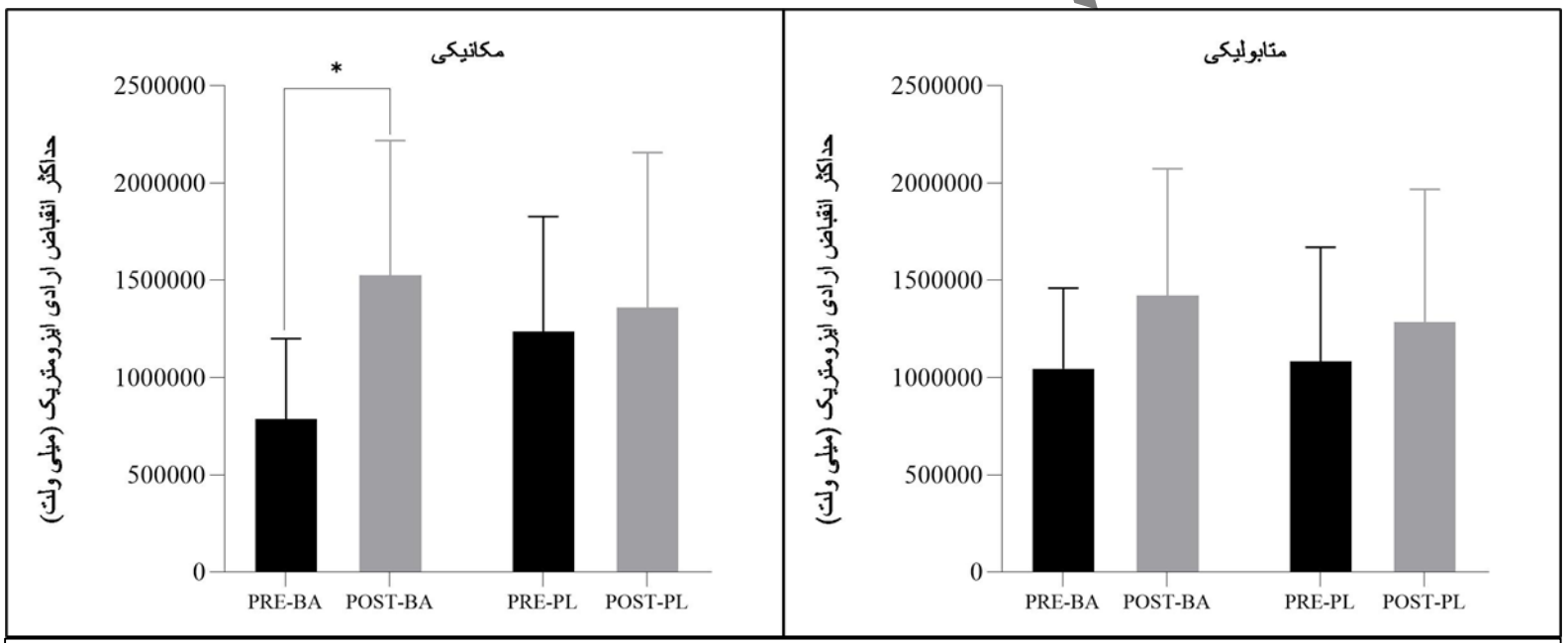
: EMG

جدول ۴ میانگین وزنه‌های جابه‌جا شده با ۷۰ درصد قدرت بیشینه در هر گروه را در پیش آزمون و پس آزمون نشان می‌دهد.

جدول ۴. میانگین وزنه‌های جابه‌جا شده با ۷۰ درصد قدرت بیشینه

روش تمرینی / گروه ها	تمرین باشدت بالا		تمرین باشدت پایین	
	پیش آزمون	پس آزمون	پیش آزمون	پس آزمون
تمرین + مکمل	۱۱,۲۹ ± ۲,۵۹	۱۳,۹۶ ± ۲,۵۵	۱۱,۱۴ ± ۲,۶۶	۱۳,۶۰ ± ۲,۳۵
تمرین + دارونما	۱۲,۳۷ ± ۲,۰۸	۱۳,۵۸ ± ۱,۹۴	۱۲,۲۹ ± ۲,۰۵	۱۳,۳۷ ± ۱,۹۶

در آزمون تی همبسته، حداکثر فعالیت عضلانی عضله دوسربازویی جهت مقایسه درون‌گروهی افراد در گروه مکمل با شیوه تمرینی مکانیکی نتایج تفاوت معناداری نشان داد (P=۰/۰۲۳). اما درمقابل، این تغییرات(افزایش نسبتا قابل توجه) در گروه مکمل شیوه تمرینی متابولیکی (P=۰/۱۰۷)، گروه دارونما شیوه تمرینی مکانیکی (P=۰/۷۱۰) و گروه دارونما شیوه تمرینی متابولیکی (P=۰/۴۶۷) معنادار نبود. میانگین و انحراف استاندارد حداکثر فعالیت عضلانی عضله دوسربازویی در گروه‌های مکمل و دارونما قبل و بعد هشت هفته تمرین شکل ۴ ارائه شده است.



* تفاوت درون گروهی (P<۰/۰۵)

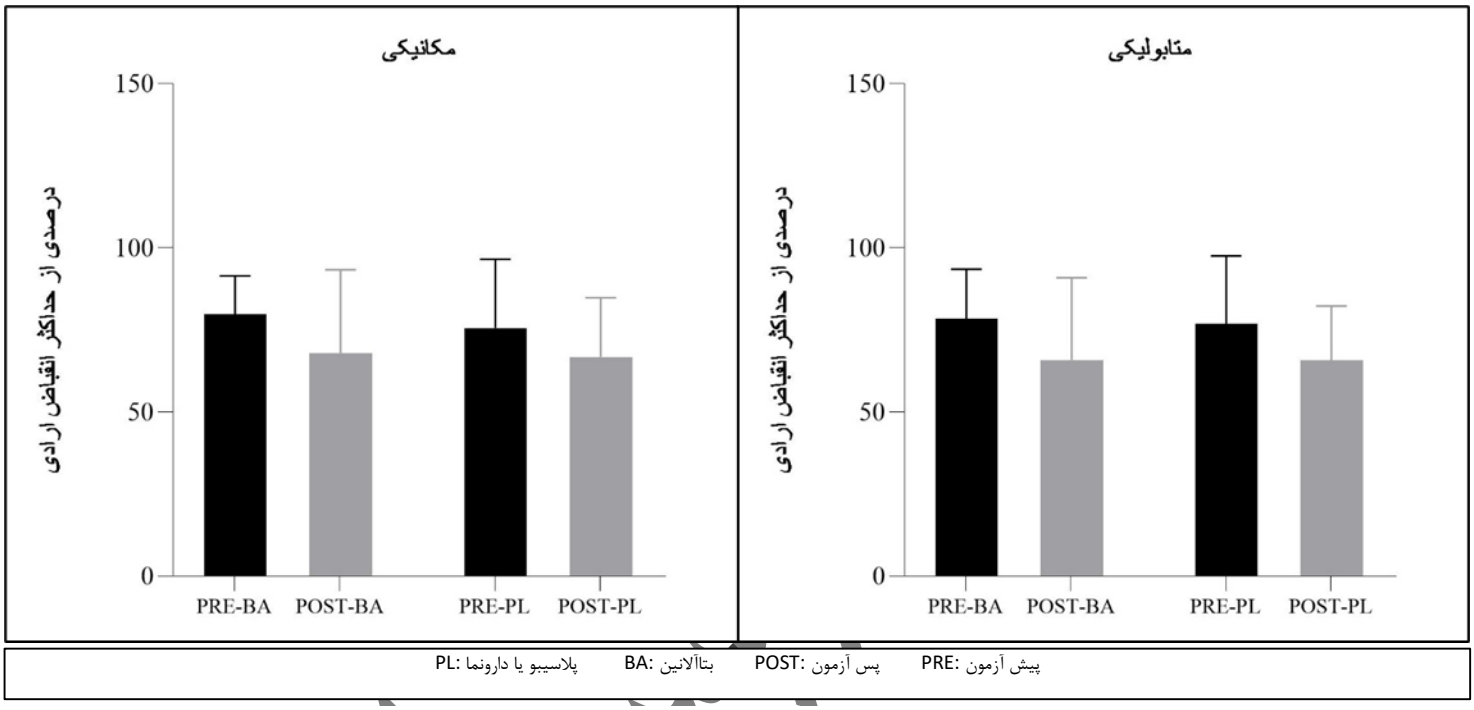
پیش آزمون :PRE پس آزمون :POST بتاآلانین :BA پلاسیبو یا دارونما :PL

شکل ۴. حداکثر فعالیت عضلانی عضله دو سر بازوئی

همچنین با توجه به نتایج تحلیل کوواریانس برای متغیر فعالیت الکتریکی عضلانی، بین گروه‌های مکمل و دارونما و شیوه تمرینی متابولیکی و مکانیکی، بعد از ورود متغیر پیش‌آزمون به عنوان متغیر کنترل (کووریت) در مدل تحلیل کوواریانس، تفاوت معناداری در پس‌آزمون در گروه‌های مکمل-دارونما (P=۰/۹۲۸، F(۱,۳۵)= ۰/۰۰۸) و شیوه تمرینی (P=۰/۸۲۲، F(۱,۳۵)= ۰/۰۵۱) در عضله دوسربازویی یافت نشد. نتایج همچنین اثر متقابل تمرین و مکمل را نیز غیرمعنادار نشان داد (P=۰/۹۳۴، F(۱,۳۵)= ۰/۰۰۷). میانگین و انحراف استاندارد فعالیت عضلانی نسبی عضله دوسربازویی در گروه‌های یادشده قبل و بعد هشت هفته تمرین در شکل ۵ ارائه شده است.

در آزمون تی همبسته در مقایسه درون‌گروهی افراد در گروه مکمل با شیوه تمرینی مکانیکی نتایج تفاوت معناداری نشان نداد (P=۰/۱۸)، تغییرات در گروه مکمل شیوه تمرینی متابولیکی نیز بعد از هشت هفته پروتکل اعمالی معنادار نبود

(P=۰/۲۵۶). این تغییرات در دو گروه دارونما شیوه تمرینی مکانیکی (P=۰/۳۲۲) و دارونما شیوه تمرینی متابولیکی (P=۰/۱۸۶) نیز معنادار نبود.

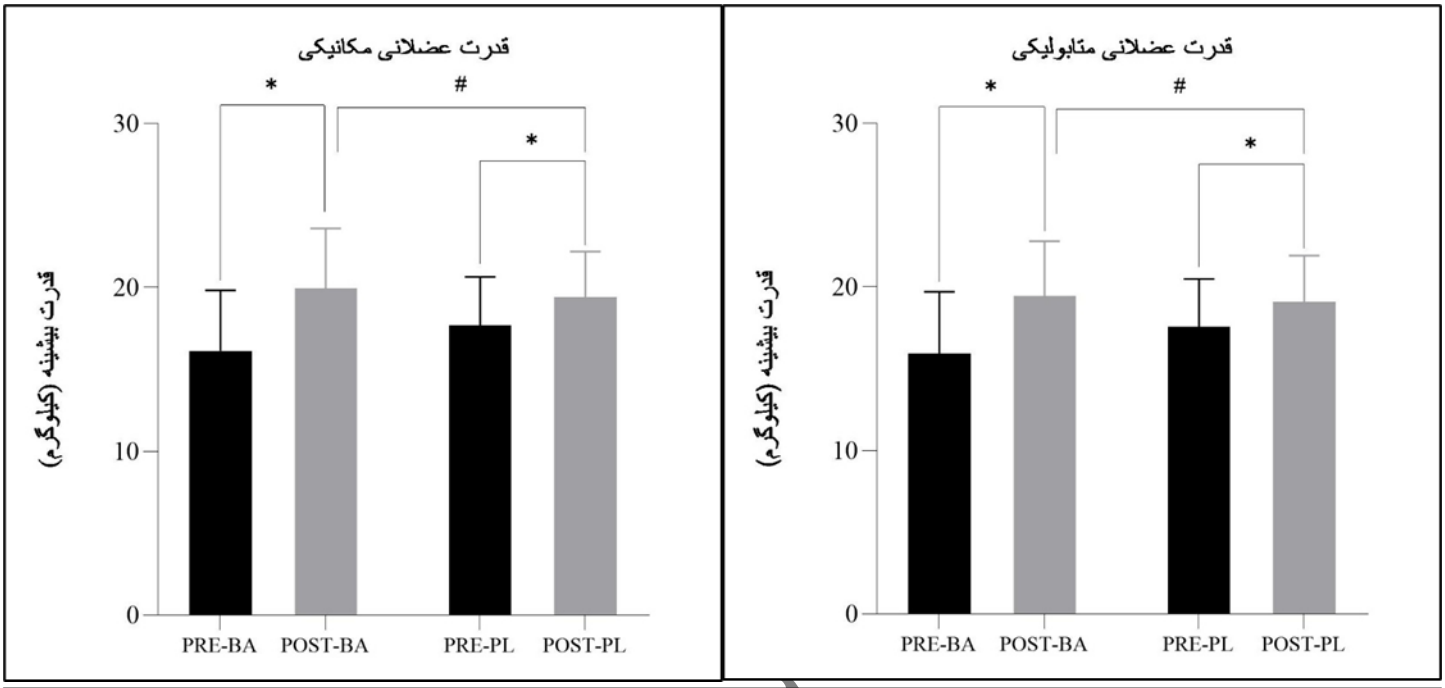


شکل ۵. فعالیت الکتریکی نسبی عضلانی (درصدی از حداکثر انقباض ارادی)

قدرت:

در آزمون تی همبسته، در مقایسه درون‌گروهی افراد در مکمل بتاآلانین با شیوه تمرینی مکانیکی نتایج تفاوت معناداری نشان داد (P=۰/۰۰۱). این نتایج در مکمل بتاآلانین شیوه تمرینی متابولیکی نیز بعد از هشت هفته پروتکل اعمالی معنادار بود (P=۰/۰۰۱). همچنین نتایج در دو گروه دارونما شیوه تمرینی مکانیکی (P=۰/۰۰۳) و دارونما شیوه تمرینی متابولیکی (P=۰/۰۰۳) نیز معنادار یافت شد.

بر اساس نتایج تحلیل کوواریانس بین گروه‌های مکمل و دارونما و همچنین شیوه‌های تمرینی متابولیکی و مکانیکی، پس از کنترل اثر پیش‌آزمون به‌عنوان متغیر کنترل (کووریت)، تفاوت معناداری در پس‌آزمون قدرت عضله دوسربازویی گروه مکمل بتاآلانین نسبت به گروه دارونما مشاهده شد (η^2=۰/۳۷۱، P=۰/۰۰۱، F(۱,۲۷)= ۱۵/۹۲۵)، درحالی‌که بین دو شیوه تمرینی با شدت بالا و شدت پایین اختلاف معناداری به دست نیامد (P=۰/۵۵۳، F(۱,۲۷)= ۰/۳۶۱). همچنین اثر متقابل تمرین و مکمل نیز غیرمعنادار گزارش شد (P=۰/۸۸۸، F(۱,۲۷)= ۰/۰۲۰). میانگین و انحراف استاندارد قدرت عضلانی عضله دوسربازویی در گروه‌های یادشده قبل و بعد هشت هفته تمرین در شکل ۶ ارائه شده است.



* تفاوت درون گروهی (P<۰/۰۵) # تفاوت بین گروهی (P<۰/۰۵)

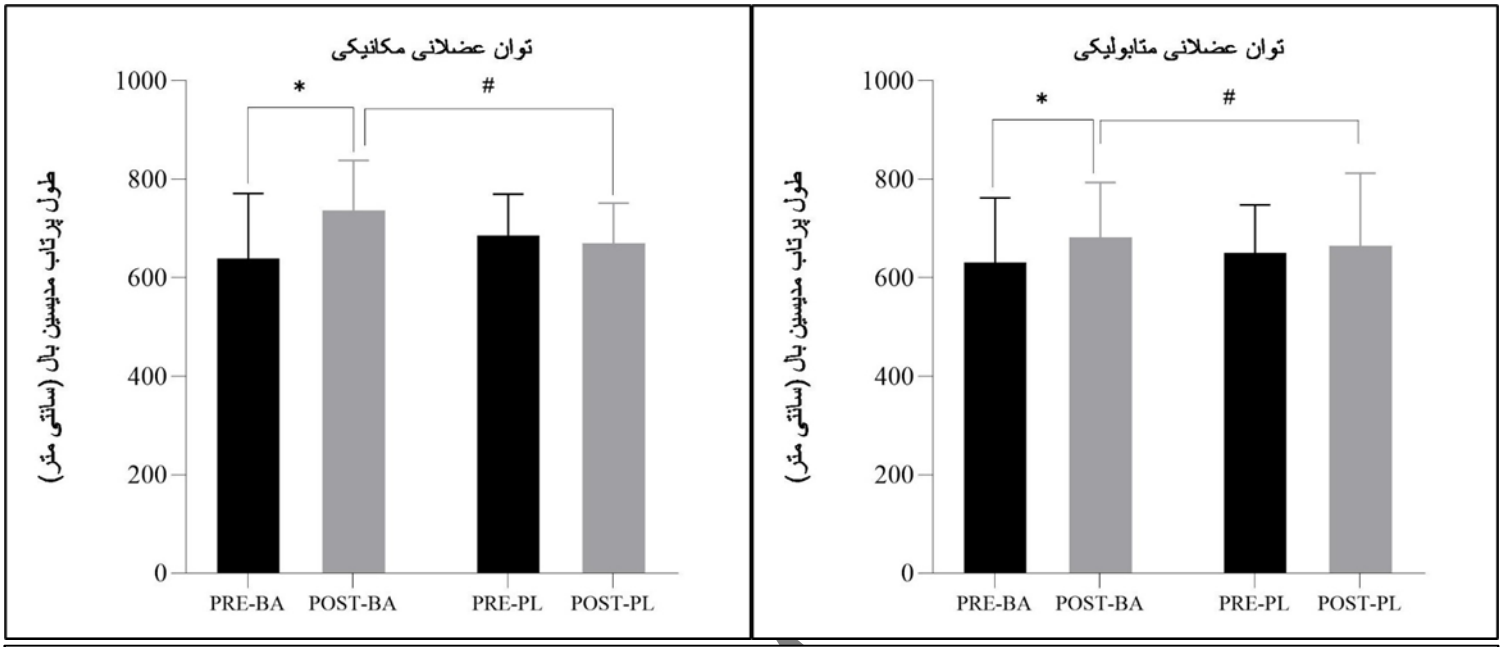
پیش آزمون :PRE پس آزمون :POST بتاآلانین :BA پلاسیبو یا دارونما :PL

شکل ۶. قدرت عضلانی بالاتنه

توان:

در آزمون تی همبسته نیز در مقایسه درون‌گروهی افراد در گروه مکمل بتاآلانین با شیوه تمرینی مکانیکی نتایج تفاوت معناداری نشان داد (P=۰/۰۰۱). این نتایج در گروه مکمل بتاآلانین شیوه تمرینی متابولیکی نیز بعد از هشت هفته پروتکل اعمالی معنادار بود (P=۰/۰۴۵)؛ اما این نتایج در دو گروه دارونما شیوه تمرینی مکانیکی (P=۰/۷۲۵) و دارونما شیوه تمرینی متابولیکی (P=۰/۷۲۳) معنادار یافت نشد.

نتایج تحلیل کوواریانس بین گروه‌های مکمل و دارونما و نیز شیوه‌های تمرینی متابولیکی و مکانیکی، پس از کنترل اثر پیش‌آزمون به‌عنوان متغیر کنترل (کووریت)، نشان داد که در پس‌آزمون توان عضله دوسربازویی گروه مکمل بتاآلانین نسبت به گروه دارونما تفاوت معناداری وجود دارد (η^2=۰/۱۵۲، P=۰/۰۳۷، F(۱,۲۷)= ۴/۸۲۷)؛ اما بین دو شیوه تمرینی شدت بالا و شدت پایین اختلاف معناداری مشاهده نشد (P=۰/۶۰۳، F(۱,۲۷)= ۰/۲۷۷). همچنین اثر متقابل تمرین و مکمل نیز غیر معنادار گزارش شد (P=۰/۲۵۱، F(۱,۲۷)= ۱/۳۷۴). میانگین و انحراف استاندارد توان عضلانی عضله دوسربازویی در گروه‌های یاد شده قبل و بعد هشت هفته تمرین در شکل ۷ ارائه شده است.



* تفاوت درون گروهی (P<۰/۰۵) # تفاوت بین گروهی (P<۰/۰۵)

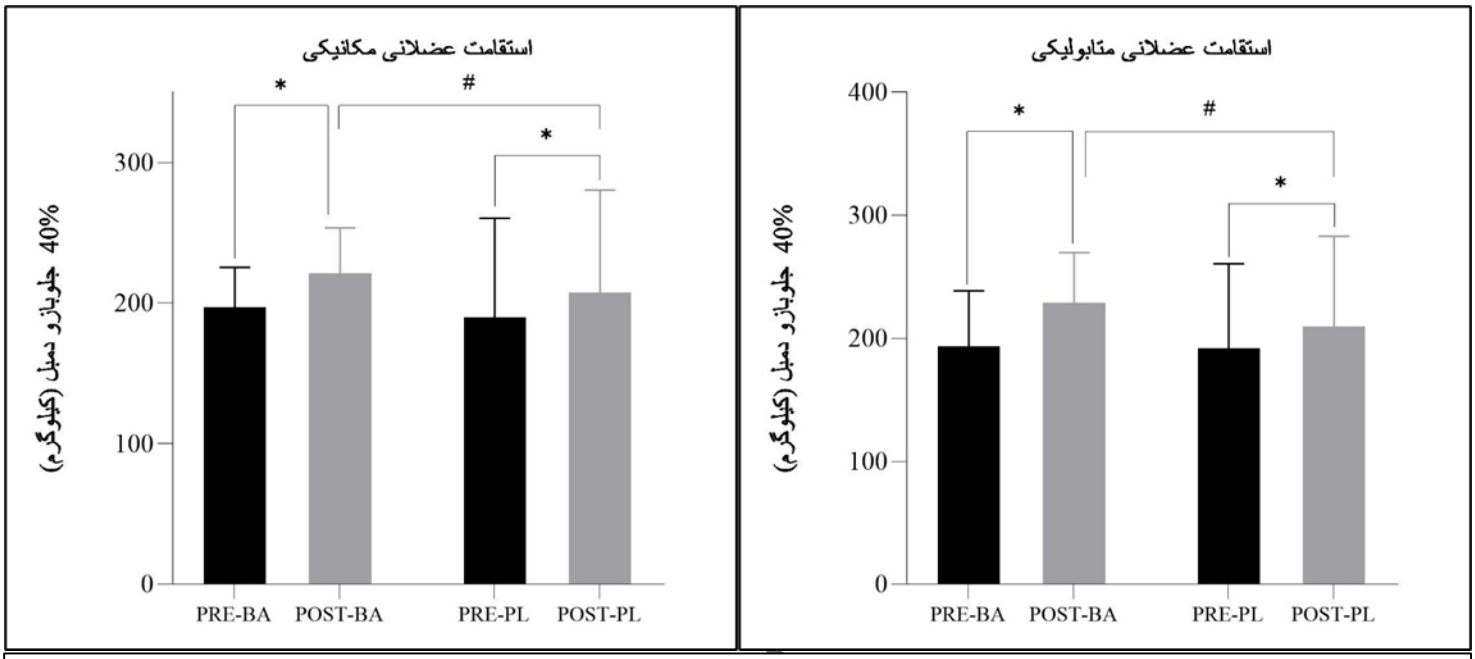
پیش آزمون :PRE پس آزمون :POST بتاآلانین :BA پلاسیبو یا دارونما :PL

شکل ۷. توان عضلانی بالاتنه

استقامت:

در آزمون تی همبسته در مقایسه درون‌گروهی افراد گروه مکمل بتاآلانین با شیوه تمرینی مکانیکی (P=۰/۰۰۱)، گروه مکمل بتاآلانین شیوه تمرینی متابولیکی (P=۰/۰۰۱)، گروه دارونما شیوه تمرینی مکانیکی (P=۰/۰۰۱) و گروه دارونما شیوه تمرینی متابولیکی (P=۰/۰۰۵) معنادار یافت شد.

نتایج تحلیل کوواریانس بین گروه‌های مکمل و دارونما و همچنین شیوه‌های تمرینی متابولیکی و مکانیکی، پس از کنترل اثر پیش‌آزمون به‌عنوان متغیر کنترل (کووریت)، نشان داد که در پس‌آزمون استقامت عضله دوسربازویی گروه مکمل بتاآلانین نسبت به گروه دارونما تفاوت معناداری وجود دارد (η^2=۰/۲۰۶، P=۰/۰۱۳، F(۱,۲۷)= ۷/۰۰۹)، درحالی‌که بین دو شیوه تمرینی شدت بالا و شدت پایین اختلاف معنادار مشاهده نشد (P=۰/۲۳۲، F(۱,۲۷)= ۱/۴۹۵). اثر متقابل تمرین و مکمل نیز غیر معنادار گزارش شد (P=۰/۲۲۶، F(۱,۲۷)= ۱/۵۳۴). میانگین و انحراف استاندارد استقامت عضلانی عضله دوسربازویی در گروه‌های یادشده قبل و بعد هشت هفته تمرین در شکل ۸ ارائه‌شده است.



* تفاوت درون گروهی (P<۰/۰۵) # تفاوت بین گروهی (P<۰/۰۵)

واحد بر اساس (تکرار * وزنه)= کیلوگرم بیان شده است.

PRE: پیش آزمون POST: پس آزمون BA: بتاآلانین PL: پلاسیبو یا دارونما

شکل ۸. استقامت عضلانی بالاتنه

در جدول ۵، درصد تغییرات متغیرهای پژوهش در دو شدت بالا و پایین در گروه مکمل و دارونما ارائه شده است.

جدول ۵. درصد تغییرات متغیرها

گروه و روش تمرینی / متغیر ها	گروه تمرین + مکمل		گروه تمرین + دارونما	
	شدت بالا	شدت پایین	شدت بالا	شدت پایین
۷۰ درصد قدرت بیشینه	۲۳,۷۲ درصد	٪ ۲۲,۱۵	٪ ۹,۸۳	٪ ۸,۸۲
حداکثر فعالیت عضلانی	۹۳,۸۶ درصد	٪ ۳۵,۸۶	٪ ۹,۹۵	٪ ۱۸,۸۰
فعالیت الکتریکی نسبی عضلانی	٪ -۱۴,۸۸	٪ -۱۶,۱۶	٪ -۱۱,۷۱	٪ -۱۴,۵۸
حجم تمرین	٪ ۲۸,۵۵	٪ ۳۴,۵	٪ ۱۶,۶۸	٪ ۲۱,۲۲
قدرت	٪ ۲۳,۷۲	٪ ۲۲,۱۵	٪ ۹,۸۳	٪ ۸,۸۲
توان	٪ ۱۵,۳۲	٪ ۷,۹۷	٪ -۲,۱۸	٪ ۲,۱۷
استقامت	٪ ۱۲,۳۸	٪ ۱۸,۴۴	٪ ۹,۴۲	٪ ۹,۲۹

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هشت هفته تمرین مقاومتی منجر به بهبود معنادار قدرت عضلانی در هر دو گروه مکمل و دارونما شد. اما تفاوت معناداری بین دو پروتکل تمرینی شدت بالا و پایین از نظر میزان بهبود قدرت وجود نداشت. با این حال، میزان افزایش قدرت در گروه مکمل نسبت به دارونما به‌طور معناداری بیشتر بود (۲۳,۷۲٪ به ۹,۸۳٪ در بار با شدت بالا و ۲۲,۱۵٪ به ۸,۸۲٪ در بار با شدت پایین). این یافته نشان می‌دهد که اگرچه تمرین مقاومتی می‌تواند به‌تنهایی باعث بهبود عملکرد عضلانی شود، اما مصرف مکمل بتاآلانین می‌تواند اثرات تمرین را تقویت کرده و موجب سازگاری‌های عملکردی بیشتری شود. از طرفی، عدم مشاهده تفاوت معنادار بین دو شیوه تمرینی (مکانیکی و متابولیکی) نشان‌دهنده آن است که در شرایط تمرینی مشابه در افراد نسبتا تمرین کرده که بار تمرین بیش از ۶۰ درصد یک تکرار بیشینه باشد، شدت تمرین در دوره های کوتاه مدت تمرینی نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش قدرت نداشته و عامل اصلی، تمرین مقاومتی، صرف نظر از فشار متابولیکی یا فشار مکانیکی، می باشد. البته با توجه به نقش سازگاری‌های عصبی و سازگاری های ساختاری در افزایش قدرت، می‌توان این احتمال را داد که نقش این دو نوع سازگاری در افزایش قدرت حاصل از فشار مکانیکی و متابولیکی یکسان نبوده است. در همین راستا، تحقیقات نشان داده‌اند که تمرین مقاومتی با بار مکانیکی بالا، منجر به تغییرات قابل‌توجه در سیستم عصبی مرکزی، از جمله افزایش در درایو عصبی، بهبود هماهنگی واحدهای حرکتی و کاهش مهار عصبی می‌شود، که همه این سازگاری‌ها درنهایت به بهبود عملکرد منتهی می‌شوند (۳۴). در تایید این موضوع، یافته های تحقیق حاضر نشان داد که در گروه مکمل با بار با شدت بالا، افزایش معنادار قدرت بیشینه با افزایش معنادار حداکثر فعالیت الکتریکی عضله همراه شد. همراهی این دو یافته نشان می‌دهد که بهبود قدرت تا حد زیادی ناشی از افزایش فعال‌سازی عصبی و بهبود هماهنگی واحدهای حرکتی در گروه فشار مکانیکی بوده است. با این حال، فعال‌سازی نسبی عضله در ۷۰٪ MVC، علی رغم بهبود نسبی (کاهش ۱۴,۸۸٪) که می‌تواند نشان‌دهنده بهبود کارایی عصبی-عضلانی و صرفه‌جویی در هزینه عصبی برای تولید نیروی نسبی می‌باشد (۳۴)، اما معنادار نبود. یافته ها در مورد گروه دیگر نیز تقریبا مشابه بود. درگروه مکمل با بار با شدت پایین و گروه دارونما با بار شدت بالا و پایین، نیز هرچند افزایش قدرت با افزایش حداکثر فعالیت الکتریکی عضله همراه بود (غیر معنادار)، اما تغییرات در شاخص فعال‌سازی نسبی عضله در ۷۰٪ قدرت بیشینه کاهش یافت (به ترتیب کاهش ۱۶,۱۶٪، ۱۱,۷۱٪ و ۱۴,۵۸٪)که البته معنادار نبود. به هرحال این نتایج (هرچند جزئی) نشان‌دهنده بهبود کارایی عصبی-عضلانی درمدت هشت هفته تمرین مقاومتی می‌باشد. به عبارتی دیگر، برای تولید قدرت زیر بیشینه، سیستم عصبی می‌تواند با صرفه‌جویی در فعال‌سازی عضلانی و بهینه‌سازی الگوی واحدهای حرکتی، همان خروجی نیرو را با میزان کمتر سیگنال عصبی فراهم کند (۳۵). به هرحال، نقش مکمل بتاآلانین در تقویت بهبود عملکرد عضلانی نیز در تحقیق حاضر قابل توجه است. اگرچه بتاآلانین تأثیر چشمگیری بر شاخص‌های EMG نداشت، اما مکانیسم آن از طریق افزایش غلظت کارنوزین عضلانی و بهبود ظرفیت بافری است که می‌تواند خستگی عضلانی را به تأخیر انداخته و امکان اجرای تمرین با کیفیت بالاتر را فراهم آورد (۳۶). این مکانیسم می‌تواند به‌صورت غیرمستقیم موجب افزایش قدرت عضلانی شود. یافته‌های ما در این خصوص، با یافته‌های عسکری و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد (۳۷). عسکری و همکاران گزارش کردند که مصرف روزانه ۴/۸ گرم بتاآلانین به مدت هشت هفته در کنار تمرین مقاومتی، منجر به افزایش معنادار قدرت عضلانی می‌شود. با این حال، این افزایش قدرت به‌طور مستقیم ناشی از اثرات آنابولیک مکمل نبوده، بلکه به‌صورت غیرمستقیم و از طریق افزایش غلظت کارنوزین عضلانی، کاهش تجمع یون‌های هیدروژن و تأخیر در بروز خستگی عضلانی و احتمالا بهبود کیفیت تمرین میانجی‌گری می‌شود. به هر حال، یافته‌های ما با یافته‌های دی کامارگو و همکاران (۲۰۲۳) مغایرت دارد (۲). دی کامارگو و همکاران

گزارش کردند مصرف ۶,۴ گرم روزانه بتاآلانین به مدت هشت هفته باعث افزایش بیشتر قدرت پس از تمرین مقاومتی نمی‌شود. این اختلاف می‌تواند ناشی از تفاوت در ویژگی آزمودنی‌ها، از جمله سطح تمرین‌دیدگی، نوع و حجم تمرین مقاومتی، مدت زمان مداخله و همچنین پروتکل مصرف مکمل بتاآلانین باشد. در مطالعه حاضر استفاده از سیستم تمرین تا حد خستگی و حجم تمرینی بالاتر ممکن است نقش مؤثرتری در بروز سازگاری‌های عملکردی ایفا کرده باشد.

در کنار قدرت عضلانی، توان عضلانی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌ها برای موفقیت در ورزش است و به ورزشکاران امکان موفقیت در رشته‌های ورزشی خود را می‌دهد (۲). یافته‌های این پژوهش نشان داد که توان عضلانی دوسربازویی پس از هشت هفته تمرین مقاومتی، در گروه مکمل بتاآلانین به‌طور معناداری افزایش یافت، در حالی‌که در گروه دارونما چنین افزایشی مشاهده نشد (۱۵,۳۲٪ به ۷,۹۷٪ در بار با شدت بالا و ۲,۱۸-٪ به ۲,۱۷٪ در بار با شدت پایین). همچنین، علی‌رغم تفاوت در شدت تمرین (مکانیکی در برابر متابولیکی)، اختلاف معناداری بین این دو شیوه تمرینی از نظر بهبود توان عضلانی مشاهده نشد. این نتایج حاکی از آن است که افزایش توان عضلانی در این مطالعه بیش از آنکه وابسته به نوع پروتکل تمرینی یا حجم تمرین باشد، تحت تأثیر عوامل فیزیولوژیکی مرتبط با مصرف مکمل بتاآلانین قرار داشته است. از نظر فیزیولوژیکی، توان عضلانی تابعی از تولید نیرو در واحد زمان است و علاوه بر مؤلفه‌های عصبی، به توانایی سیستم عضلانی در حفظ سرعت انقباض در شرایط خستگی وابسته است (۳۸). بتاآلانین با افزایش غلظت کارنوزین عضلانی، ظرفیت بافری داخل‌سلولی را افزایش می‌دهد و از افت pH در طی فعالیت‌های با شدت بالا جلوگیری می‌کند. این مکانیسم به حفظ سرعت انقباض و در نتیجه توان خروجی در فعالیت‌های تکراری کمک می‌کند (۱). از این‌رو، مشاهده بهبود توان عضلانی در گروه مکمل، حتی بدون تفاوت معنادار بین شیوه‌های تمرینی، با مبانی فیزیولوژیک سازگار است. یافته‌های تحقیق حاضر با مطالعات قبلی همسو است که نشان داده‌اند مصرف مکمل بتاآلانین در افزایش توان اوج هنگامی‌که با تمرین مقاومتی ترکیب شود، مؤثر است .(39)

با افزایش قدرت، به نظر می‌رسد استقامت عضلانی هم باید افزایش یابد. در راستای همین موضوع، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که استقامت عضلانی در گروه مکمل بتاآلانین به‌طور معناداری افزایش یافته است، در حالی‌که این بهبود در هر دو شیوه تمرینی مکانیکی و متابولیکی مشاهده شد و تفاوت معناداری میان آن‌ها وجود نداشت (۱۲,۳۸٪ به ۹,۴۲٪ در بار با شدت بالا و ۱۸,۴۴٪ به ۹,۲۹٪ در بار با شدت پایین). این نتایج نشان می‌دهند افزایش استقامت عضلانی را می‌توان به بهبود ظرفیت بافری عضله، کاهش تجمع یون‌های هیدروژن و تأخیر در بروز خستگی نسبت داد که به‌طور مستقیم و ویژه تحت تأثیر افزایش غلظت کارنوزین عضلانی ناشی از مصرف بتاآلانین قرار دارند (۷, ۹). این سازوکار موجب می‌شود عضله بتواند برای مدت طولانی‌تری انقباض مؤثر را حفظ کند و تعداد تکرارهای بیشتری را پیش از رسیدن به خستگی کامل انجام دهد (۳۹). نتایج ما در این خصوص، با نتایج سیل و همکاران (۲۰۱۲) و اوتلاو و همکاران (۲۰۱۶) همسو است که نتیجه اضافی بتاآلانین را بر استقامت عضلانی گزارش کرده‌اند (۴۰, ۴۱). نتایج مطالعه سیل و همکاران نشان داد مصرف ۴ هفته و به میزان ۶,۴ گرم روزانه مکمل بتاآلانین باعث افزایش استقامت عضلانی می‌شود که دلیل آن بهبود تنظیم ph درون سلول عضلانی به دلیل افزایش سطح کارنوزین عضلانی عنوان شد. همچنین در مطالعه اوتلا و همکاران، ۱۶ زن تمرین نکرده پس از ۸ هفته تمرین مقاومتی و مصرف ۳,۴ گرم روزانه مکمل بتاآلانین، بهبود استقامت عضلانی را نشان دادند. برخلاف نتایج مطالعه ما، کندریک و همکاران (۲۰۰۸) با مطالعه روی ۲۶ دانشجوی دانشگاهی پس از ۱۰ هفته تمرین مقاومتی به همراه ۶,۴ گرم روزانه مکمل بتاآلانین برتری معناداری در استقامت عضلانی مشاهده نکردند (۴۲). همچنین بازینلو و همکاران (۲۰۱۹) با مطالعه روی ۲۰ نفر مرد تمرین کرده پس از ۴ هفته تمرین به همراه مکمل بتاآلانین به این نتیجه رسیدند که مکمل بتاآلانین بر روی استقامت عضلانی ایستا (که بیشتر باعث محدودیت جریان خون و هیپوکسی می‌شود) اثر مثبت و معنادار دارد ولی بر روی استقامت ایزوکینتیک یا ایزوتونیک تأثیر معنادار ندارد

(۱۶). دلیل این تفاوت‌ها می‌تواند ویژگی شرکت‌کنندگان (تجربه تمرینی و جنسیت) و پروتکل تمرینی استفاده شده در تحقیقات باشد. از آنجا که استقامت عضلانی به توانایی عضله در حفظ تولید نیرو طی تکرارهای مداوم وابسته است، به نظر می‌رسد افزایش استقامت تحت تأثیر حجم تمرین و تعداد تکرارهای انجام‌شده قرار می‌گیرد. در تحقیق حاضر حجم تمرین در گروه مکمل بتاآلانین به‌طور معناداری بیشتر از گروه دارونما بود (۲۸,۵۵٪ به ۱۶,۶۸٪ در بار با شدت بالا و ۳۴,۵٪ به ۲۱,۲۲٪ در بار با شدت پایین). همچنین تمرین با شدت پایین نسبت به تمرین با شدت بالا منجر به حجم تمرینی بالاتری شد (۳۴,۵٪ به ۲۸,۵۵٪ در گروه مکمل و ۲۱,۲۲٪ به ۱۶,۶۸٪ در گروه دارونما). این نتایج بیانگر آن است که حجم تمرین به توانایی فرد در حفظ عملکرد طی تکرارهای متوالی وابسته است، عاملی که به‌طور مستقیم تحت تأثیر ظرفیت متابولیکی عضله قرار دارد. بنابراین، افزایش حجم تمرین در گروه مکمل بتاآلانین را می‌توان به نقش این مکمل در افزایش ظرفیت بافری عضله و کاهش تجمع یون‌های هیدروژن نسبت داد. بتاآلانین از طریق افزایش غلظت کارنوزین عضلانی، موجب تأخیر در بروز خستگی و حفظ توان تولید نیرو در طول نوبت‌های متوالی می‌شود، که این امر امکان اجرای تعداد تکرار بیشتر و در نتیجه افزایش حجم تمرین را فراهم می‌کند (۳۸). همچنین احتمالا بتاآلانین می‌تواند با تاخیر در خستگی، باعث فراخوانی بیشتر تارهای باآستانه بالا در نتیجه افزایش حجم تمرین در بار با شدت بالا و پایین، موجب افزایش عملکرد عضله دوسربازویی شود. از سوی دیگر، مشاهده حجم تمرین بالاتر در شیوه تمرینی با شدت پایین نسبت به شدت بالا، نشان می‌دهد که انجام تعداد تکرار بیشتر با بارهای سبک‌تر فرصت بیشتری برای تجمع حجم کلی تمرین فراهم می‌کند. این یافته‌ها با شواهد پیشین هم‌راستاست که نشان می‌دهند حجم تمرین عامل کلیدی در تحریک سازگاری‌های عضلانی بوده و تمرین با بارهای متوسط تا سبک، در صورت افزایش تعداد تکرارها، می‌تواند محرک مؤثری برای افزایش ظرفیت کاری عضله باشد (۴۳, ۴۴). نتایج مطالعات ما با مطالعات هافمن و همکاران (۲۰۰۶) همسو بود که نشان داد ۱۰ هفته تمرین مقاومتی به همراه مکمل بتاآلانین باعث افزایش حجم تمرینی می‌شود که علت آن به تعویق افتادن خستگی در نتیجه افزایش ظرفیت بافری می‌باشد که می‌تواند باعث بهبود توانایی ورزشکار شود (۴۵). اما این نتایج برخلاف مطالعات دیکامارگو و همکاران (۲۰۲۳) می‌باشد که افزایش حجم تمرین بین گروه بتاآلانین و دارونما مشاهده نشد (۲). این تفاوت می‌تواند به این دلیل باشد که تمرینات دی کامارگو و همکاران شامل تمرینات کل بدن بود ولی تحقیق حاضر با تمرکز بر یک عضله خاص و با دو تمرین تخصصی انجام شده بود. بنابراین یک عضله خاص، ممکن است بیشتر تحت تأثیر مکمل قرار گیرد. در مجموع، نتایج حاضر تأیید می‌کند که حجم تمرین متأثر از تعامل بین شدت تمرین، ظرفیت متابولیکی عضله و توانایی حفظ تکرارها در طول هر ست است. به‌نظر می‌رسد مصرف بتاآلانین با بهبود شرایط متابولیکی، امکان اجرای حجم تمرینی بالاتر را فراهم کرده و بدین‌ترتیب می‌تواند نقش مؤثری در بهبود سازگاری‌های عملکردی ناشی از تمرین مقاومتی ایفا کند.

با وجود یافته‌های قابل توجه، این مطالعه با برخی محدودیت‌ها همراه بود که باید در تفسیر نتایج و طراحی مطالعات آینده در نظر گرفته شوند. نخست، تعداد نمونه محدود بود، به طوری که تنها ۱۶ نفر در گروه‌های مکمل و دارونما شرکت داشتند. این موضوع محدودیت در توان آماری مطالعه ایجاد کرده و تعمیم نتایج به جمعیت وسیع‌تر یا افرادی با ویژگی‌های فیزیولوژیکی و سطح تمرینی متفاوت را با احتیاط همراه می‌کند. بنابراین، مطالعات آینده با نمونه‌های بزرگ‌تر و متنوع‌تر می‌توانند دقت نتایج و قابلیت تعمیم آن‌ها را افزایش دهند. دوم، سطح مقطع عضلانی (muscle cross-sectional area) در آزمودنی‌ها اندازه‌گیری نشد. این متغیر می‌توانست به توضیح دقیق‌تر مکانیسم افزایش قدرت و توان عضلانی کمک کند، زیرا تغییرات عملکردی ممکن است ناشی از ترکیبی از سازگاری‌های عصبی و افزایش حجم عضلانی باشد. اندازه‌گیری ضخامت یا حجم عضله در مطالعات آینده می‌تواند امکان بررسی رابطه بین افزایش کارنوزین، حجم عضلانی و بهبود عملکرد را فراهم کند. سوم، غلظت کارنوزین عضلانی آزمودنی‌ها مورد ارزیابی قرار نگرفت. ازآنجاکه بتاآلانین با

افزایش کارنوزین عضلانی موجب بهبود ظرفیت بافری و تأخیر در خستگی می‌شود، ارزیابی مستقیم این شاخص می‌توانست مکانیسم اثر مکمل را دقیق‌تر روشن کند و ارتباط بین تغییرات فیزیولوژیکی و عملکردی را اثبات کند. در نهایت، محدودیت‌های فوق نشان می‌دهند که مطالعات آینده لازم است با نمونه‌های بزرگ‌تر، اندازه‌گیری دقیق شاخص‌های عضلانی و فیزیولوژیکی و طراحی طولانی‌تر انجام شوند تا بتوانند سازوکارهای مکمل بتاآلانین و پاسخ‌های عصبی-عضلانی و محیطی عضله را به شکل جامع‌تری بررسی کنند. همچنین، بررسی تفاوت‌های جنسیتی، تجربه تمرینی و نوع عضله مورد تمرین می‌تواند درک عمیق‌تری از پاسخ‌های عضلانی به بتاآلانین ارائه دهد.

در مجموع، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هشت هفته تمرین مقاومتی موجب بهبود معنادار عملکرد عضلانی عضله دوسربازویی می‌شود و مصرف مکمل بتاآلانین اثر افزایشی قابل‌توجهی بر قدرت بیشینه، توان، استقامت عضلانی و حجم تمرین نسبت به دارونما دارد. بهبود قدرت عضلانی عمدتاً می‌تواند ناشی از سازگاری‌های عصبی-عضلانی و افزایش کارایی سیستم عصبی در تولید نیرو باشد، چراکه کاهش فعال‌سازی نسبی عضله در شدت‌های زیر بیشینه بیانگر افزایش کارایی عصبی-عضلانی است. همچنین، بهبود توان و استقامت عضلانی در گروه مکمل بدون وابستگی معنادار به شیوه تمرینی مشاهده شد که نشان‌دهنده نقش غالب مکانیسم‌های متابولیکی، به‌ویژه افزایش ظرفیت بافری عضله و تأخیر در بروز خستگی است. در مجموع، مصرف بتاآلانین در کنار تمرین مقاومتی می‌تواند با فراهم‌کردن امکان اجرای تمرین با کیفیت و حجم بالاتر، به ارتقای برخی سازگاری‌های عملکردی عضله منجر شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بدین‌وسیله از تمامی شرکت‌کنندگان در این پژوهش که با صرف وقت و همکاری صمیمانه خود در انجام این مطالعه مشارکت داشتند، صمیمانه قدردانی می‌کنند.

حمایت مالی

پژوهش حاضر برگرفته از طرح پژوهشی مصوب در دانشگاه خوارزمی می‌باشد و با حمایت مالی دانشگاه خوارزمی انجام گرفت.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان به‌طور یکسان در این پژوهش مشارکت داشتند.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله تأکید می‌نمایند که هیچ‌گونه تعارض منافع در اجرای این پژوهش وجود نداشته است.

منابع

1. Saunders B, Elliott-Sale K, Artioli GG, Swinton PA, Dolan E, Roschel H, et al. β-alanine supplementation to improve exercise capacity and performance: a systematic review and meta-analysis. British journal of sports medicine. 2017;51(8):658–69. https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096396

نسخه پیش انتشار

2. de Camargo JBB, Brigatto F, Zaroni R, Germano M, Souza D, Bacurau R, et al. Does beta-alanine supplementation enhance adaptations to resistance training? A randomized, placebo-controlled, double-blind study. Biology of sport. 2023;40(1):217–24. https://doi.org/10.5114/biolsport.2023.112967

3. Culbertson JY, Kreider RB, Greenwood M, Cooke M. Effects of beta-alanine on muscle carnosine and exercise performance: a review of the current literature. Nutrients. 2010;2(1):75–98. https://doi.org/10.3390/nu2010075

4. Harris RC, Tallon M, Dunnett M, Boobis L, Coakley J, Kim HJ, et al. The absorption of orally supplied β-alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. Amino acids. 2006;30(3):279–89. https://doi.org/10.1007/s00726-006-0299-9

5. Hill CA, Harris RC, Kim HJ, Harris BD, Sale C, Boobis LH, et al. Influence of β-alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. Amino acids. 2007;32(2):225–33. https://doi.org/10.1007/s00726-006-0364-4

6. Derave W, Özdemir MS, Harris RC, Pottier A, Reyngoudt H, Koppo K, et al. β-Alanine supplementation augments muscle carnosine content and attenuates fatigue during repeated isokinetic contraction bouts in trained sprinters. Journal of applied physiology. 2007. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00397.2007

7. Smith AE, Walter AA, Graef JL, Kendall KL, Moon JR, Lockwood CM, et al. Effects of β-alanine supplementation and high-intensity interval training on endurance performance and body composition in men; a double-blind trial. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2009;6(1):5. https://doi.org/10.1186/1550-2783-6-5

8. Stout J, Cramer J, Zoeller R, Torok D, Costa P, Hoffman J, et al. Effects of β-alanine supplementation on the onset of neuromuscular fatigue and ventilatory threshold in women. Amino acids. 2007;32(3):381–6. https://doi.org/10.1007/s00726-006-0474-z

9. Marko D, Snarr RL, Bahenský P, Bunc V, Krajcigr M, Malý T. Beta-alanine supplementation improves time to exhaustion, but not aerobic capacity, in competitive middle-and long-distance runners. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2025;22(1):2521336. https://doi.org/10.1080/15502783.2025.2521336

10. Amirthalingam T, Mavros Y, Wilson GC, Clarke JL, Mitchell L, Hackett DA. Effects of a modified German volume training program on muscular hypertrophy and strength. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2017;31(11):3109–19. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001747

11. Holm L, Reitelseder S, Pedersen TG, Doessing S, Petersen SG, Flyvbjerg A, et al. Changes in muscle size and MHC composition in response to resistance exercise with heavy and light loading intensity. Journal of applied physiology. 2008;105(5):1454–61. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.90538.2008

12. Grgic J, Schoenfeld BJ, Orazem J, Sabol F. Effects of resistance training performed to repetition failure or non-failure on muscular strength and hypertrophy: A systematic review and meta-analysis. Journal of sport and health science. 2022;11(2):202–11. https://doi.org/10.1016/j.jshs.2021.01.007

13. Fernandez-Fernandez J, Loturco I, Pereira LA, Del Coso J, Areces F, Gallo-Salazar C, et al. Change of direction performance in young tennis players: A comparative study between sexes and age categories. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2022;36(5):1426–30. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003484

14. Schoenfeld BJ, Grgic J, Ogborn D, Krieger JW. Strength and hypertrophy adaptations between low- vs. high-load resistance training: a systematic review and meta-analysis. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2017;31(12):3508–23. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002200

15. Perim P, Gobbi N, Duarte B, Oliveira LFd, Costa LAR, Sale C, et al. Beta-alanine did not improve high-intensity performance throughout simulated road cycling. European journal of sport science. 2022;22(8):1240–9. https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1940304

16. Bassinello D, de Salles Painelli V, Dolan E, Lixandrão M, Cajueiro M, de Capitani M, et al. Beta-alanine supplementation improves isometric, but not isotonic or isokinetic strength endurance in recreationally strength-trained young men. Amino Acids. 2019;51(1):27–37. https://doi.org/10.1007/s00726-018-2593-8

17. Association W. World medical association declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human participants. Jama. 2025;333(1):71–4. https://doi.org/10.1001/jama.2024.21972

18. Furst T, Massaro A, Miller C, Williams BT, LaMacchia ZM, Horvath PJ. β-Alanine supplementation increased physical performance and improved executive function following endurance exercise in middle aged individuals. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2018;15(1):32. https://doi.org/10.1186/s12970-018-0238-7

19. Faul F, Erdfelder E, Buchner A, Lang A-G. Statistical power analyses using G* Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. Behavior research methods. 2009;41(4):1149–60. https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149

20. Veale JF. Edinburgh handedness inventory–short form: a revised version based on confirmatory factor analysis. Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition. 2014;19(2):164–77. https://doi.org/10.1080/1357650X.2013.783045

21. Connors BR, Camic CL, Jagim AR, Hill CM, Sebastião E, Chomentowski PJ, et al. Acute Effects of a Multi-Ingredient Preworkout Supplement on Peak Torque and Muscle Excitation During an Isokinetic Fatigue Protocol. Sports. 2025;13(11):404. https://doi.org/10.3390/sports13110404

22. Herda AA, Smith-Ryan AE, Kendall KL, Cramer JT, Stout JR. Evaluation of high-intensity interval training and beta-alanine supplementation on efficiency of electrical activity and electromyographic fatigue threshold. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2021;35(6):1535–41. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004038

23. Guo W, Wang S. Physiological and performance adaptations to beta alanine supplementation and short sprint interval training in volleyball players. Scientific Reports. 2024;14(1):16833. https://doi.org/10.1038/s41598-024-67974-y

24. Burke R, Hermann T, Pinero A, Mohan A, Augustin F, Sapuppo M, et al. Less time, same gains: Comparison of superset vs traditional set training on muscular adaptations. https://doi.org/10.1016/j.scispo.2025.07.011

25. Lasevicius T, Schoenfeld BJ, Silva-Batista C, de Souza Barros T, Aihara AY, Brendon H, et al. Muscle failure promotes greater muscle hypertrophy in low-load but not in high-load resistance training. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2022;36(2):346–51. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003454

26. Walter AA, Smith AE, Kendall KL, Stout JR, Cramer JT. Six weeks of high-intensity interval training with and without β-alanine supplementation for improving cardiovascular fitness in women. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2010;24(5):1199–207. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d82f8b

27. Konrad P. The abc of emg. A practical introduction to kinesiological electromyography. 2005;1(2005):30–5.
https://doctorchoice.cl/wp-content/uploads/2018/04/ABC-of-EMG-min.pdf

28. Shirzad Araghi E, Naserpour H, Khaleghi Tazji M, Letafatkar A. The comparison of timing electromyography activity of selected lumbar-pelvic muscles during a cross-cutting maneuver in soccer players with athletic groin pain and healthy ones. The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2021.
https://sid.ir/paper/1069013/en

29. Naserpour H, Khaleghi Tazji M, Letafatkar A, Angoorani H. Comparison of Electrical Activity in Selected Lumbopelvic-Hip Muscles during a Single Leg Jump-Cut Maneuver in Football Players with Long-Standing Groin Pain and Healthy Players. Journal of Gorgan University of Medical Sciences. 2023;25(1):54–63.
http://goums.ac.ir/journal/article-1-4203-en.html

30. Stockbrugger BA, Haennel RG. Validity and reliability of a medicine ball explosive power test. The Journal of strength & conditioning research. 2001;15(4):431–8.
PMID: 11726253

31. Tooth C, Schwartz C, Croisier J-L, Gofflot A, Bornheim S, Forthomme B. Upper limb functional testing: does age, gender, and sport influence performance? JSES international. 2024;8(6):1275–83.
https://doi.org/10.1016/j.jseint.2024.08.177

32. Brzycki M. Strength testing—predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. Journal of physical education, recreation & dance. 1993;64(1):88–90.
https://doi.org/10.1080/07303084.1993.10606684

33. Schoenfeld BJ, Peterson MD, Ogborn D, Contreras B, Sonmez GT. Effects of Low- vs. High-Load Resistance Training on Muscle Strength and Hypertrophy in Well-Trained Men. J Strength Cond Res. 2015;29(10):2954–63.
https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000958

34. Santos PD, Vaz JR, Correia J, Neto T, Pezarat-Correia P. Long-term neurophysiological adaptations to strength training: a systematic review with cross-sectional studies. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2023;37(10):2091–105.
https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004543

35. Rong W, Geok SK, Samsudin S, Zhao Y, Ma H, Zhang X. Effects of strength training on neuromuscular adaptations in the development of maximal strength: a systematic review and meta-analysis. Scientific Reports. 2025;15(1):19315.
https://doi.org/10.1038/s41598-025-03070-z

36. Varanoske AN, Hoffman JR, Church DD, Coker NA, Baker KM, Dodd SJ, et al. β-Alanine supplementation elevates intramuscular carnosine content and attenuates fatigue in men and women similarly but does not change muscle l-histidine content. Nutrition research. 2017;48:16–25.
https://doi.org/10.1016/j.nutres.2017.10.002

37. Askari F, Rahmaninia F. The effect of 8 weeks beta-alanine supplementation and resistance training on maximal-intensity exercise performance adaptations in young males. Physical education of students. 2019;23(1):4–8.
https://doi.org/10.15561/20755279.2019.0101

38. Hobson RM, Saunders B, Ball G, Harris R, Sale C. Effects of β-alanine supplementation on exercise performance: a meta-analysis. Amino acids. 2012;43(1):25–37.
https://doi.org/10.1007/s00726-011-1200-z

39. Georgiou GD, Antoniou K, Antoniou S, Michelekaki EA, Zare R, Redha AA, et al. Effect of beta-alanine supplementation on maximal intensity exercise in trained young male individuals: A systematic review and meta-analysis. International journal of sport nutrition and exercise metabolism. 2024;34(6):397–412. https://doi.org/10.1123/ijsnem.2024-0027

40. Sale C, Hill CA, Ponte J, Harris RC. β-alanine supplementation improves isometric endurance of the knee extensor muscles. Journal of the international society of sports nutrition. 2012;9(1):26. https://doi.org/10.1186/1550-2783-9-26

41. Outlaw JJ, Smith-Ryan AE, Buckley AL, Urbina SL, Hayward S, Wingfield HL, et al. Effects of β-alanine on body composition and performance measures in collegiate women. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2016;30(9):2627–37. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000665

42. Kendrick IP, Harris RC, Kim HJ, Kim CK, Dang VH, Lam TQ, et al. The effects of 10 weeks of resistance training combined with β-alanine supplementation on whole body strength, force production, muscular endurance and body composition. Amino acids. 2008;34(4):547–54. https://doi.org/10.1007/s00726-007-0008-3

43. Grgic J, Schoenfeld BJ, Davies TB, Lazinica B, Krieger JW, Pedisic Z. Effect of resistance training frequency on gains in muscular strength: a systematic review and meta-analysis. Sports Medicine. 2018;48(5):1207–20. https://doi.org/10.1007/s40279-018-0872-x

44. Schoenfeld BJ, Ogborn D, Krieger JW. Effects of resistance training frequency on measures of muscle hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. Sports medicine. 2016;46(11):1689–97. https://doi.org/10.1007/s40279-016-0543-8

45. Hoffman JR, Ratamess NA, Kang J, Mangine G, Faigenbaum AD, Stout JR. Effect of Creatine and β-Alanine Supplementation on Performance and Endocrine Responses in Strength/Power Athletes: 1120: 9: 45 AM–10: 00 AM. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2006;38(5):S126. https://doi.org/10.1123/ijsnem.16.4.430

نسخه پیش انتشار