Journal of Sport and Exercise Physiology
2026, 19(3): 71-95

Orginal 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 strategy for 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, this study aimed 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 consisting of 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, muscular strength, power, muscular endurance, and the maximal relative amplitude 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 indices did not differ significantly between groups ($P > 0.05$). Additionally, low-intensity

* 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/).

resistance training resulted in significantly greater changes in training volume compared with high-intensity training ($P > 0.001$). In contrast, no significant differences were observed between high - and low-intensity training in EMG variables ($P > 0.05$), muscular strength ($P > 0.05$), power ($P > 0.05$), or muscular endurance ($P > 0.05$).

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 participants to perform more repetitions and achieve a 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 efficacy 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):71-95.

نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی
۱۴۰۵، دوره ۱۹، شماره ۳، صفحه‌های ۷۱-۹۵

مقاله پژوهشی

تأثیر هشت هفته تمرین مقاومتی با شدت بالا و پایین به شیوهٔ تکرار تا خستگی به همراه دریافت مکمل بتاآلانین بر الکترومایوگرافی و عملکرد ماهیچهٔ دوسر بازویی افراد جوان ورزشکار

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

[1] گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
[2] گروه بیومکانیک و آسیب‌شناسی ورزش، دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: مکمل بتاآلانین عاملی مؤثر در عملکرد ورزشی و تأخیر در بروز خستگی، به‌ویژه در تمرینات یا ورزش‌های لاکتیکی است؛ اما اثر ترکیب آن با تمرینات مقاومتی با شدت‌های متفاوت بر سازگاری‌های عصبی - ماهیچه‌ای به‌خوبی مشخص نشده است. هدف از انجام این پژوهش، تعیین تأثیر هشت هفته تمرین مقاومتی با شدت‌های بالا و پایین به شیوهٔ تکرار تا خستگی همراه با دریافت مکمل بتاآلانین بر فعالیت الکترومایوگرافی و عوامل عملکردی ماهیچهٔ دوسر بازویی در افراد جوان تمرین‌کرده بود.

مواد و روش‌ها: ۱۶ مرد جوان با سابقهٔ تمرین مقاومتی (سن: ۲/۰ ± ۲۳ سال و نمایهٔ تودهٔ بدنی: ۴/۸۹ ± ۲۵/۸۱ کیلوگرم بر متر مربع) در دو گروه «تمرین + مکمل بتاآلانین» و «تمرین + دارونما» قرار گرفتند. تمرین با دو شیوه (شدت بالا و پایین) و به مدت هشت هفته (۲۴ جلسه) با اندام متقارن دست اجرا شد؛ به گونه‌ای که در هر نوبت، یک دست با شدت بالا (۷۵ تا ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه) و دست دیگر با شدت پایین (۶۰ تا ۶۵ درصد یک تکرار بیشینه) تا رسیدن به خستگی تمرین می‌کرد. نشانگرهای عملکردی، شامل حجم تمرین، قدرت، توان و استقامت ماهیچه‌ای و میزان بیشینهٔ دامنهٔ نسبی فعالیت ماهیچه‌ای ماهیچهٔ دوسر بازویی، پیش و پس از دورهٔ تمرین ارزیابی شدند. تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون تی همبسته و تحلیل کوواریانس از طریق نرم‌افزار SPSS ویراست ۲۷ صورت گرفت.

نتایج: دریافت مکمل بتاآلانین همراه با تمرین مقاومتی، منجر به افزایش معنادار حجم تمرین (P=۰/۰۰۱)، قدرت (P=۰/۰۰۱)، توان (P=۰/۰۳۷) و استقامت (P=۰/۰۱۳) ماهیچه‌ای نسبت به گروه‌های تمرین مقاومتی و دارونما شد؛ در حالی که تغییرات نشانگرهای عصبی - ماهیچه‌ای مبتنی بر EMG، تفاوت معناداری را در بین گروه‌ها نشان نداد (P=۰/۹۲۸). تغییرات شیوهٔ تمرین با شدت پایین‌تر نسبت به شدت بالاتر در عامل حجم تمرین (P=۰/۰۰۱) افزایش معناداری داشت. در مقابل، تغییرات شیوهٔ تمرین بین شدت بالا و پایین در عوامل EMG (P=۰/۸۲۲)، قدرت (P=۰/۵۵۳)، توان (P=۰/۶۰۳) و استقامت (P=۰/۲۳۲)، معنادار نبود.

نتیجه‌گیری: ترکیب مکمل بتاآلانین با تمرین مقاومتی می‌تواند راهکاری مؤثر برای بهبود عملکرد قدرتی، توانی و استقامت ماهیچه‌ای باشد؛ هرچند تأثیر معناداری بر سازگاری‌های عصبی نشان نداد. دریافت مکمل بتاآلانین در تمرینات با شدت پایین‌تر، امکان انجام تکرارهای بیشتر و افزایش حجم تمرین را فراهم می‌کند؛ اما منجر به برتری سازگاری عملکردی نسبت به تمرین با شدت بالاتر نمی‌شود. با این همه، با توجه به اهمیت حجم تمرین در سازگاری‌های ساختاری، اثربخشی افزایش حجم تمرین ناشی از مصرف مکمل بتاآلانین، باید در دوره‌های طولانی‌تر تمرین بررسی شود.

* رایانامه نویسنده مسئول: hrajabi@khu.ac.ir

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

واژه‌های کلیدی: تمرین مقاومتی، خستگی ماهیچه‌ای، الکترومایوگرافی، قدرت ماهیچه‌ای، بتاآلانین.

نحوه استناد به این مقاله: رجبی ح، صفی‌خانلو ه، ناصرپور ح ر، احمدی ا، جعفری‌پور اسمعیلی ج. تأثیر هشت هفته تمرین مقاومتی با شدت بالا و پایین به شیوهٔ تکرار تا خستگی به همراه دریافت مکمل بتاآلانین بر الکترومایوگرافی و عملکرد ماهیچهٔ دوسر بازویی افراد جوان تمرین‌کرده. نشریهٔ فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۵؛۱۹(۳):۷۱-۹۵.

مقدمه

مکمل‌های تغذیه‌ای همواره به عنوان عاملی تأثیرگذار در بهبود عملکرد ورزشکاران در جوامع علمی و تجربی مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این میان، مکمل بتاآلانین به عنوان یکی از ترکیبات مؤثر در بهبود عملکرد ماهیچه‌ای شناخته می‌شود که از طریق افزایش غلظت کارنوزین درون ماهیچه، ظرفیت بافری ماهیچه‌ای را تقویت می‌کند (۱). افزایش کارنوزین ماهیچه‌ای موجب کاهش انباشت یون‌های هیدروژن (H^+) به هنگام فعالیت و درنتیجه، تأخیر در بروز خستگی می‌شود. این ویژگی سبب شده است که بتاآلانین، به‌ویژه در تمرینات بی‌هوازی و مقاومتی، به عنوان مکملی مؤثر بر عملکرد ماهیچه‌ای و حفظ خروجی عصبی - ماهیچه‌ای، در فعالیت‌های شدید، طولانی‌مدت و تکراری مورد استفاده قرار گیرد (۲). بسیاری از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که دریافت مستمر و پیوستهٔ این مکمل (با مقادیر معمول ۳/۲ تا ۶/۴ گرم در روز، به مدت دست‌کم چهار هفته) به همراه تمرین، می‌تواند غلظت کارنوزین ماهیچه‌ای را در حدود ۲۰ تا ۸۰ درصد افزایش دهد و به طور میانگین، ظرفیت بافری در برابر یون‌های (H^+) را ۶ تا ۷ درصد بهبود بخشد (۳-۵). اگرچه افزایش ظرفیت بافری به تنهایی نمی‌تواند خستگی هنگام فعالیت‌های ورزشی را به طور کامل از بین ببرد؛ اما یافته‌های پژوهشی بی‌شماری نشان داده‌اند که دریافت مکمل بتاآلانین می‌تواند اثرات مثبتی، از جمله تأخیر در بروز خستگی عصبی - ماهیچه‌ای، افزایش زمان تا رسیدن به خستگی و بهبود حجم کل کار انجام‌شده، به‌ویژه در تمرینات مقاومتی را به دنبال داشته باشد (۶-۹). از آنجایی که حجم تمرین یکی از متغیرهای کلیدی در تمرین مقاومتی است و نقش مهمی در ایجاد سازگاری‌های عصبی - ماهیچه‌ای دارد (۱۰)، افزایش حجم تمرین و قرار گرفتن طولانی‌تر ماهیچه تحت تنش، می‌تواند موجب بهبود عملکرد، افزایش توده و استقامت ماهیچه‌ای شود. در واقع، زمان تحت تنش، محرکی قوی برای بهبود توان استقامتی و کارایی ماهیچه به شمار می‌رود؛ به این معنا که هرچه مدت‌زمان قرارگیری ماهیچه در وضعیت تنش بیشتر باشد، چالش بیشتری برای عصب و ماهیچه ایجاد می‌شود و در صورت توجه به ظرفیت بازیافت ورزشکار، سازگاری‌های عملکردی نیز به طور مؤثرتری شکل می‌گیرد (۱۱). شدت تمرین مقاومتی نیز از دیگر عوامل تعیین‌کننده در نوع سازگاری‌های عصبی و ماهیچه‌ای محسوب می‌شود. تمرین با شدت بالا (تنش مکانیکی) معمولاً با فعال‌سازی بیشتر واحدهای حرکتی با آستانهٔ بالا، افزایش قدرت بیشینه و بهبود هماهنگی عصبی همراه است؛ در حالی که تمرین با شدت پایین (تنش سوخت‌وسازی) که با حجم بیشتری تا خستگی انجام می‌شود، با فراخوانی بیشتر تارهای کندانقباض، می‌تواند باعث بهبود استقامت ماهیچه‌ای شود (۱۲)؛ بنابراین، تفاوت در شدت تمرین می‌تواند پاسخ‌های سوخت‌وسازی و عصبی متمایزی ایجاد کند و اثر مکمل‌یاری بتاآلانین نیز ممکن است بسته به شدت تمرین، تا حدی متفاوت باشد (۱۳).

با توجه به اینکه اجرای تمرین تا خستگی کامل، باعث به‌کارگیری گستردهٔ واحدهای حرکتی و ایجاد تنش سوخت‌وسازی بالاتر می‌شود، گمان می‌رود که مکمل بتاآلانین بتواند اثر هم‌افزایی در سازگاری‌های ناشی از این نوع تمرین ایجاد کند. شونفلد و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی نشان دادند که اگر تنش سوخت‌وسازی به صورت تکرار تا خستگی انجام شود، می‌تواند تأثیری مشابه با تمرینات مبتنی بر تنش مکانیکی داشته باشد. این پژوهشگران فراخوانی بیشتر واحدهای حرکتی با آستانهٔ بالا را به عنوان سازوکار این سازگاری پیشنهاد کردند (۱۴). از طرفی، خستگی، به‌ویژه اگر در تارهای تندانقباض رخ دهد، می‌تواند مسیر فشار را در حرکات پایانی از تارهای کندانقباض به تندانقباض تغییر دهد. همچنین، با توجه به اینکه در تنش مکانیکی نیز حرکات

به صورت تکرار تا خستگی انجام می‌شوند، احتمال می‌رود که افزایش تکرارها باعث افزایش زمان تحت تنش ماهیچه شوند و مکمل‌یاری با بتاآلانین نیز بتواند بروز خستگی را در این شدت به تأخیر اندازد. با این همه، سازوکار دقیق این روش به درستی بیان نشده است و بر همین اساس، گمان می‌رود که این عوامل در کل منجر به افزایش قدرت می‌شوند. برای تأیید این ادعا می‌توان از الکترومایوگرافی به عنوان ابزاری دقیق برای ارزیابی فعالیت واحدهای حرکتی و الگوهای فعال‌سازی ماهیچه‌ای استفاده کرد که نقشی کلیدی در پژوهش‌های مربوط به عملکرد مستقیم ماهیچه‌ای دارد. در پژوهش‌های مختلفی که از ابزار مذکور پس از یک دوره تمرین مقاومتی استفاده کرده‌اند، سازگاری‌هایی، از جمله تغییر در دامنه و الگوی فعالیت الکترومایوگرافی، بهبود هماهنگی عصبی - ماهیچه‌ای، افزایش کارایی فعال‌سازی واحدهای حرکتی و در برخی موارد، نبود تغییر معنادار در نشانگرهای الکترومایوگرافی (با وجود بهبود عملکرد ماهیچه‌ای) گزارش شده است (۱۵ و ۱۶). بنابراین، بررسی تغییرات الکترومایوگرافی در کنار سازگاری‌های عملکردی ماهیچه‌ای، می‌تواند با دقت بیشتری نشان دهد که چگونه شدت و حجم تمرین به همراه دریافت بتاآلانین، بر پاسخ‌های عصبی - ماهیچه‌ای، نحوه و شدت فعال‌سازی عضلات، زمان‌بندی آغاز فعالیت و خستگی ماهیچه‌ای اثر می‌گذارند.

تاکنون مقالات کمی به بررسی اثر مکمل‌ها، به‌ویژه بتاآلانین، بر سازگاری‌های عصبی - عضلاتی پرداخته‌اند؛ علاوه بر این، وجود تفاوت‌های فردی در گروه‌های مورد بررسی، موضوعی مهم در تفسیر یافته‌هاست که هرگونه نتیجه‌گیری را با ابهام همراه می‌کند. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر هشت هفته تمرین مقاومتی با شدت‌های بالا و پایین تا حد خستگی در اندام متقارن، همراه با مکمل بتاآلانین، بر فعالیت الکترومایوگرافی و عوامل عملکردی ماهیچهٔ دوسر بازویی طراحی شد تا وابستگی بین شدت تمرین مقاومتی، مکمل و سازگاری عصبی - ماهیچه‌ای را با دقت بیشتری تبیین کند.

روش پژوهش

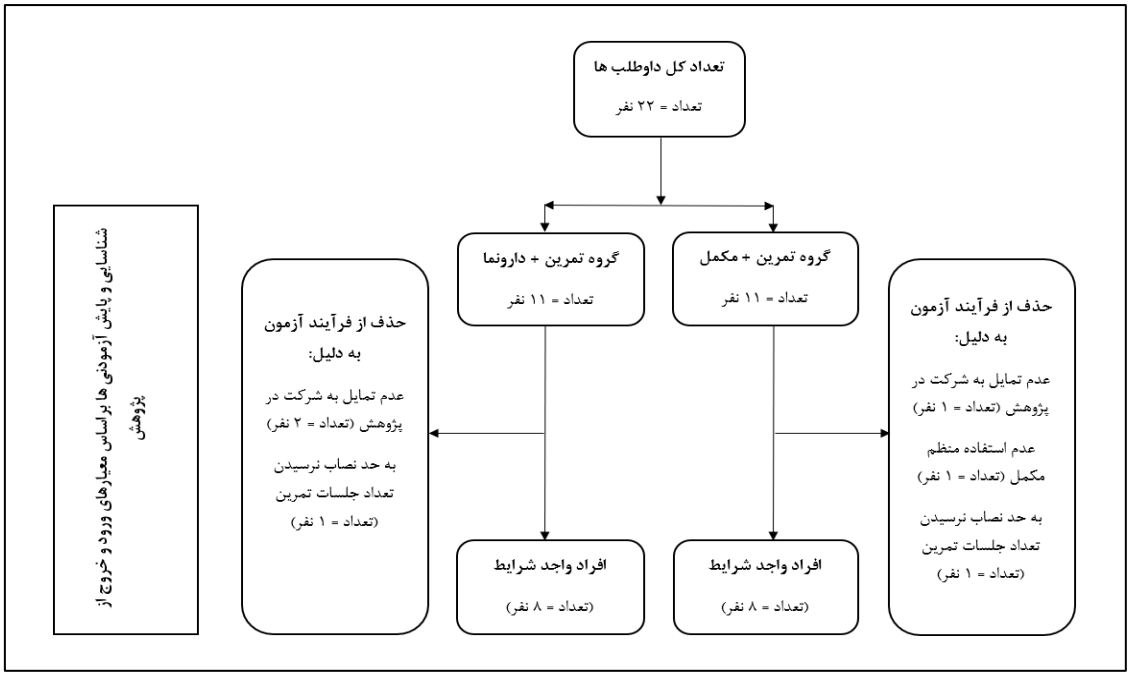
نمونه‌های پژوهش: این پژوهش از نوع کاربردی است و با روش نیمه‌تجربی و در قالب طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون، در دو گروه تمرینی با دریافت مکمل و بدون مکمل (گروه کنترل مکمل) انجام شد. تمامی ملاحظات اخلاقی بر پایهٔ آخرین اعلامیهٔ هلسینکی (۱۷) رعایت گردید و پروتکل پژوهش با کد اخلاق IR.KHU.REC.1404.098، در تاریخ ۱۴۰۴/۰۶/۰۱ در دانشگاه خوارزمی تأیید شد. آزمودنی‌ها نیز مجاز بودند در هر مرحله از پژوهش، به صورت آزادانه و بدون پرداخت هیچ‌گونه هزینهٔ مالی و معنوی، از پژوهش خارج شوند.

جامعهٔ آماری این پژوهش را دانشجویان مرد ساکن خوابگاه پسرانهٔ دانشگاه خوارزمی در بازهٔ سنی ۱۹ تا ۲۶ سال تشکیل دادند. معیارهای ورود به پژوهش عبارت بودند از: داشتن حداقل یک سال پیشینهٔ تمرین منظم مقاومتی، سلامت بدنی کامل، عدم استفاده از هرگونه مکمل غذایی، دارویی یا محرک‌های ورزشی و نداشتن پیشینهٔ آسیب‌دیدگی ماهیچه‌ای - اسکلتی. بر پایهٔ تحلیل نرم‌افزار G-Power (ویراست ۳) و با در نظر گرفتن پژوهش‌های پیشین با توان آماری ۰/۸۲، اندازهٔ اثر ۰/۵ و خطاهای آلفا و بتا برابر با ۰/۱۷، تعداد ۲۲ شرکت‌کننده برای پژوهش تعیین شده بود که در نهایت ۱۶ نفر از آنها (جدول ۱) پژوهش را به اتمام رساندند (۱۸ و ۱۹). دست آزمودنی‌ها مبنای اجرای تمرین با شدت بالا و پایین بود. آنها براساس قدرت ماهیچه‌ای در اندام فوقانی و به صورت تصادفی؛ به طوری که شانس قرار گرفتن در هر گروه یکسان باشد، در دو گروه ۱۱ نفره «تمرین + مکمل بتاآلانین» و «تمرین + دارونما» جای‌گذاری شدند. همهٔ آزمودنی‌ها با توجه به پرسشنامهٔ دست برتری، در گروه دست غالب (راست‌دست) قرار داشتند (۲۰).

جدول ۱. توصیف ویژگی‌های شرکت‌کنندگان

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

معیارهای ورود به پژوهش، شامل سلامت جسمانی، داشتن دست‌کم یک سال پیشینهٔ تمرین مقاومتی (بین ۱ تا ۴ سال)، نداشتن تمرین منظم و برنامه‌ریزی‌شده در شش ماه گذشته و عدم دریافت مکمل‌های غذایی یا دارویی در شش ماه اخیر بود (۲۱ و ۲۲). علت استفاده از افراد با سابقهٔ تمرین، اطمینان از آمادگی جسمانی نسبی آنها برای اجرای تمرین بود که به صورت تک‌طرفه و تا رسیدن به خستگی انجام می‌شد. پیش از شروع پژوهش، آزمودنی‌ها پرسشنامهٔ سلامت پزشکی را تکمیل و برگهٔ رضایت‌نامه را امضا کردند. بر پایهٔ نتایج پرسشنامه‌ها، هیچ‌یک از شرکت‌کنندگان، پیشینهٔ آسیب‌دیدگی یا اختلالات بدنی مؤثر بر عملکرد ورزشی نداشتند. معیارهای خروج از پژوهش نیز عبارت بودند از: نداشتن تمایل به ادامهٔ همکاری در پژوهش، دریافت نامنظم مکمل، به حد نصاب نرساندن جلسات تمرینی، همکاری نکردن در مراحل آزمون، دریافت همزمان مکمل‌های دیگر یا داروهای تأثیرگذار بر ماهیچه و بروز هرگونه آسیب به هنگام پژوهش (۲۳). طرح‌واره (فلوچارت) فرایند گزینش و به‌کارگیری آزمودنی‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱. طرح‌وارهٔ فرایند گزینش و پایش آزمودنی‌ها

روش اجرای پژوهش: در جلسهٔ توجیهی و آشناسازی، همهٔ آزمودنی‌ها از عوارض و خطرات احتمالی تمرین مقاومتی آگاه شدند و با اهداف پژوهش، جزئیات پروتکل تمرینی، شیوهٔ صحیح اجرای حرکات و نحوهٔ انجام آزمون‌ها آشنا شدند. آنها متعهد شدند که در طول دورهٔ پژوهش، در هیچ‌گونه فعالیت ورزشی دیگری شرکت نکنند، الگوی تغذیه (از غذای دانشگاه استفاده می‌کردند) و خواب خود را ثابت نگه دارند و از دریافت هرگونه مکمل غذایی یا محرک ورزشی پرهیز کنند؛ هرچند کنترل دقیق این موضوع توسط تیم پژوهش امکان‌پذیر نبود. به منظور پایش و اطمینان از همسان‌بودن الگوی تغذیه‌ای آزمودنی‌ها، از پرسشنامهٔ بسامد خوراکی ۲۴ ساعته در سه نوبت (یک روز فرد، یک روز زوج و یک روز تعطیل) استفاده شد. آزمون‌های عملکردی و ثبت الکترومایوگرافی نیز ۴۸ ساعت پیش از آغاز دورهٔ تمرینی و ۴۸ ساعت پس از پایان آن انجام گرفت.

تمرینات مقاومتی، شامل حرکات «جلوبازو تک‌دست دمبل» و «جلوبازو سیم‌کش از بالا تک‌دست» با تمرکز بر ماهیچهٔ دوسر بازویی 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 به صورت تصادفی و با توزیع برابر انجام شد. پیش از هر جلسهٔ تمرینی، پروتکل گرم‌کردن شامل ۱۵ دقیقه فعالیت بود: ۵ دقیقه فعالیت قلبی - عروقی و کشش اندام بالاتنهٔ سبک (گرم‌کردن عمومی) و به دنبال آن، گرم‌کردن تخصصی به صورت دو نوبت جلوبازو دمبل (۱۰ تکرار با شدت ۳۰-۴۰ درصد یک تکرار بیشینه و ۱ دقیقه استراحت بین نوبت‌ها) (۲۴ و ۲۵). شدت بالا برای تمرینات در دامنهٔ ۷۵ تا ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه One-Repetition maximum (1RM) و شدت پایین در دامنهٔ ۶۰ تا ۶۵ درصد یک تکرار بیشینه تعیین شد. هر حرکت در سه نوبت تا رسیدن به خستگی ماهیچه‌ای کامل اجرا گردید. زمان استراحت بین نوبت‌ها ۱ دقیقه و بین حرکات ۲ دقیقه در نظر گرفته شد (جزئیات تمرین در جدول ۲ ارائه شده است). جهت آشناکردن آزمودنی‌ها با روش تمرین، تمرینات در هفتهٔ اول با شدت پایین‌تر (۳۰ و ۴۰ درصد یک تکرار بیشینه) و از هفتهٔ دوم به بعد با هدف هایپرتروفی و روش مشخص اجرا شدند. آزمون یک تکرار بیشینه، در هر دو هفته انجام می‌شد و در صورت لزوم، بار تمرینی افزایش می‌یافت (جزئیات ارزیابی قدرت، به تفصیل در بخش مربوطه شرح داده شده است). جلسات تمرینی در روزهای غیرپیاپی برگزار شدند تا زمان کافی برای بازیابی ماهیچه‌ای فراهم شود.

جدول ۲. روش تمرین مقاومتی

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

در طول دورهٔ مداخلهٔ هشت هفته‌ای (۵۶ روز)، مقدار دریافت مکمل به صورت مرحله‌ای افزایش یافت (جدول ۳) تا ضمن هم‌خوانی با مقالات گذشته، عوارض جانبی به پایین‌ترین اندازه برسد. طبق این پروتکل، میزان دریافت روزانهٔ بتاآلانین در دو هفتهٔ اول ۳ گرم، در دو هفتهٔ دوم ۴ گرم، در دو هفتهٔ سوم ۵ گرم و در دو هفتهٔ پایانی ۶ گرم بود که همگی به همراه وعدهٔ غذایی مصرف می‌شدند (۲۶). در هر دو هفته نیز آزمودنی‌ها پرسشنامهٔ ارزیابی عوارض جانبی مکمل را تکمیل می‌کردند تا در صورت بروز هرگونه عارضهٔ جدی، دریافت مکمل قطع و آزمودنی از ادامهٔ پژوهش کنار گذاشته شود. از میان ۱۶ آزمودنی که پژوهش را به پایان رساندند، ۷ نفر عارضهٔ جانبی مصرف مکمل، شامل احساس گزگز یا مورمور شدن را گزارش کردند؛ از این میان، ۵ نفر شدت عارضه را خفیف و ۲ نفر شدت آن را متوسط توصیف نمودند. با توجه به اینکه هیچ‌گونه عارضهٔ جانبی دیگری (جز احساس گزگز یا مورمور شدن) گزارش نگردید، هیچ‌کدام از آزمودنی‌ها از چرخهٔ پژوهش کنار گذاشته نشدند. دریافت روزانهٔ مکمل در وعده‌های مساوی انجام می‌شد. از دکستروز با همان مقدار و روش مصرف مکمل بتاآلانین استفاده گردید تا اثر روانی مکمل (دارونما) کنترل شود. مکمل بتاآلانین مورد استفاده در این پژوهش، به صورت پودر خالص و بدون هرگونه افزودنی نظیر کافئین، کراتین یا شکر، محصول شرکت صنایع غذایی و دارویی ایلیاپارس (دارای نشان دوبیس) در کشور ایران بود. این محصول، گواهینامهٔ GMP و تأییدیهٔ سازمان غذا و دارو (سیب سلامت) دارد. پژوهش حاضر به صورت یک‌سوکور انجام شد؛ به گونه‌ای که هیچ‌یک از آزمودنی‌ها از نوع مکمل دریافتی (واقعی یا دارونما) آگاه نبودند.

جدول ۳. روش و مقدار مکمل

هفته	دوز مصرفی	زمان مصرف
۲ هفتهٔ اول	۳ گرم در روز	**۳ وعدهٔ ۱ گرمی**
۲ هفتهٔ دوم	۴ گرم در روز	**۴ وعدهٔ ۱ گرمی**
۲ هفتهٔ سوم	۵ گرم در روز	**۵ وعدهٔ ۱ گرمی**
۲ هفتهٔ چهارم	۶ گرم در روز	**۶ وعدهٔ ۱ گرمی**

روش‌های اندازه‌گیری: برای بررسی فعالیت ماهیچه‌ای ماهیچهٔ منتخب و ثبت داده‌های الکترومایوگرافی از دستگاه ۱۰ کاناله با نشان تجاری بایومتریکس ساخت کشور انگلستان با بسامد ۱۰۰۰ هرتز استفاده شد. جهت آماده‌سازی سطح پوست، ابتدا موهای زائد ناحیهٔ بازو با استفاده از تیغ‌های یکبارمصرف اصلاح و سپس با پدهای الکلی حاوی اتانول ۷۰ درصد، چربی‌ها و آلودگی‌های سطحی پاکسازی گردید؛ در ادامه با سمبادهٔ نرم سطح پوست تراشیده شد تا مقاومت سطحی پوست به پایین‌ترین اندازه برسد و سطح پوست به رنگ صورتی روشن درآید (۲۷). پس از آن، جهت انجام الکترومایوگرافی سطحی، الکترودهای سطحی بر پایهٔ روش‌های SENIAM، بر روی ماهیچهٔ دوسر بازویی قرار داده شدند (۲۸). در ابتدا، آزمون‌های بیشینهٔ انقباض ارادی ایزومتریک برای ماهیچهٔ دوسر بازویی در هر دو سمت انجام پذیرفت. برای تعیین این مقدار، از فرد خواسته شد تا در حالت نشسته بر روی صندلی، ساعد خود را با زاویهٔ ۹۰ درجه نسبت به شانهٔ خم‌شده، بر روی میز قرار دهد؛ سپس با اعمال مقاومت خارجی ثابت بر قسمت انتهایی ساعد در جهت بازشدن آرنج،

عمل خم‌شدن بازو را انجام دهد. هر آزمون در سه تکرار و با فواصل ۵ دقیقه‌ای انجام گرفت و میانگین مقادیر به‌دست‌آمده به عنوان سطح نصاب الکترومایوگرافی جهت هنجارسازی نتایج در نظر گرفته شد (۲۷). در مرحلهٔ بعد، فعالیت الکتریکی ماهیچهٔ دوسر بازویی به هنگام اجرای حرکت «جلو بازو دمبل تک‌دست» (برآوردشده از طریق فرمول برزیکی) بر پایهٔ ۷۰ درصد نصاب بیشینه، به عنوان تکلیف حرکتی زیر بیشینه ثبت گردید. میزان فعالیت ماهیچه به هنگام حرکت و در آزمون بیشینهٔ انقباض ارادی ایزومتریک Maximum Voluntary Contraction (MVC)، با استفاده از نمایهٔ Root Mean Square (RMS)و با میانگین متحرک ۲۵ میلی ثانیه در نرم‌افزار متلب (ویراست ۲۰۲۴) محاسبه شد. در نهایت، جهت هنجارسازی، مقادیر محاسبه‌شده بر بیشترین مقدار به‌دست‌آمده در آزمون MVC تقسیم گردید (۲۹).

هفتهٔ اول تمرین، به آشناکردن آزمودنی‌ها با روش تمرین اختصاص یافت؛ لذا برآورد حجم تمرین در هفتهٔ دوم تا پایان هفتهٔ هشتم (شامل مراحل پیش‌آزمون و چندین نوبت پس‌آزمون) انجام گرفت. حجم تمرین به عنوان میانگین مجموع تکرارهای انجام‌شده در یک هفتهٔ تمرینی (شامل سه جلسه تمرین) برآورد و تحلیل شد. به منظور کنترل آهنگ حرکت، در هفتهٔ آشناسازی، به آزمودنی‌ها آموزش داده شد تا حرکات را با آهنگ ثابت و معینی اجرا کنند؛ همچنین، پژوهشگران به صورت تصادفی بر اجرای صحیح حرکات توسط آزمودنی‌ها نظارت داشتند.

جهت سنجش توان ماهیچه‌ای آزمودنی‌ها، آزمون پرتاب مدیسین بال (توپ طبی) تک‌دست اجرا شد. در این آزمون، آزمودنی در پشت خط مشخص‌شده ایستاد، پاها را به اندازهٔ عرض شانه باز کرد و توپ را در کنار سر قرار داد. پرتاب باید با حرکت انفجاری و تنها با استفاده از یک دست و بدون تماس توپ با سر، به سمت جلو انجام می‌شد. در صورتی که آزمودنی از خط مشخص‌شده جلوتر می‌رفت، پای وی از زمین جدا می‌شد یا دست غیر پرتاب‌کننده و سر در مسیر حرکت توپ دخالت می‌کردند، پرتاب معتبر به شمار نمی‌رفت و آزمون دوباره تکرار می‌شد. هر آزمودنی سه بار با هر دست، با فواصل استراحتی ۵ دقیقه‌ای تمرین کرد و بیشترین مسافت پرتاب در هر دست به عنوان شاخص توان ماهیچه‌ای نهایی در نظر گرفته شد (۳۰ و ۳۱).

ده دقیقه پس از آزمون توان، آزمون یک تکرار بیشینه در حرکت جلو بازو دمبل تک‌دست، برای هر دست به صورت جداگانه انجام شد. آزمون با وزنهٔ پیش‌بینی‌شده بر اساس پیشینهٔ تمرینی فرد آغاز شد؛ به گونه‌ای که انتظار می‌رفت آزمودنی کمتر از ۵ تکرار با آن وزنه انجام دهد. در صورت زیاد شدن تکرارها، ۵ تا ۱۰ درصد به وزنه‌ها اضافه می‌شد و این کار تا جایی ادامه می‌یافت که توانایی انجام تکرار به زیر ۵ برسد. زمان استراحت بین تلاش‌ها ۵ دقیقه در نظر گرفته شد. یک تکرار بیشینه با استفاده از فرمول برزیکی (۳۲) برآورد شد:

$$1RM = W \times (1 + 0/0333 \times r)$$

که W: وزنه و r: شمارش تکرار بود.

ده دقیقه پس از آزمون قدرت، استقامت ماهیچه‌ای آزمودنی‌ها با حرکت جلو بازو دمبل تک‌دست، با شدت ۴۰ درصد یک تکرار بیشینه (بر مبنای آزمون برآورد قدرت) و با ریتم معین (با استفاده از مترونوم) سنجیده شد. آزمون تا زمانی ادامه یافت که آزمودنی قادر به انجام یک انقباض درون‌گرای کامل نبود. بین هر نوبت تمرین برای هر دست، ۵ دقیقه استراحت در نظر گرفته شد. با توجه به تغییر قدرت بیشینه از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون و انجام آزمون استقامت با ۴۰ درصد یک تکرار بیشینهٔ جدید در پیش‌آزمون و پس‌آزمون، از واحد کیلوگرم (وزنه * تکرار) استفاده گردید (۳۳).

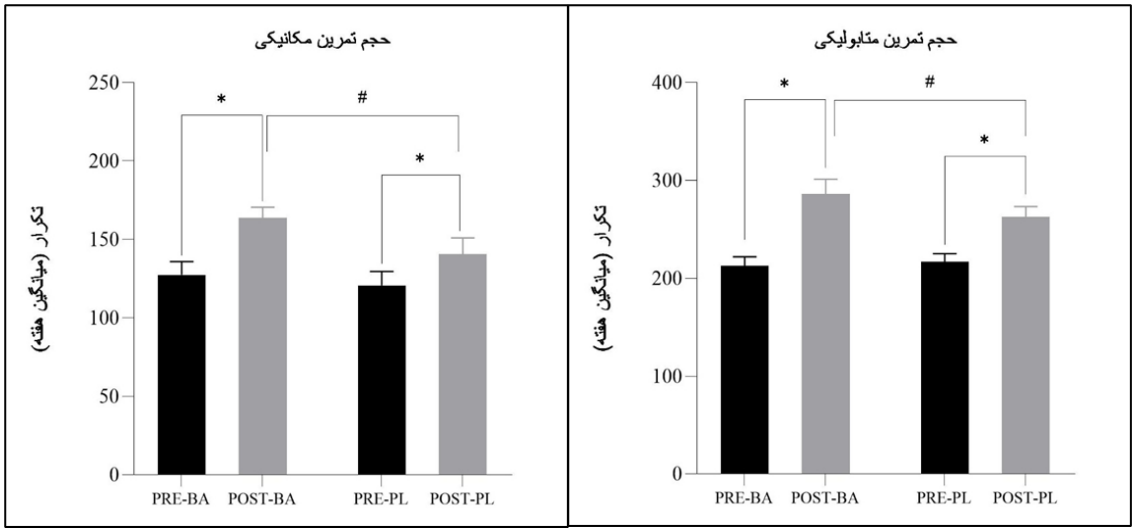
تحلیل آماری: داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS (ویراست ۲۷) تجزیه و تحلیل و با استفاده از

نرم‌افزار PRISM (ویراست ۱۰) ترسیم شدند. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو ویلک بررسی گردید. برای تعیین و تشخیص تفاوت‌های بین گروه‌های تمرین و مکمل از آزمون کوواریانس و برای تعیین تفاوت‌های پیشین و پسین درون‌گروهی از آزمون تی زوجی با سطح معناداری ۰/۰۵ استفاده شد. همچنین برای بررسی شمار تکرارهای اجراشده در هر گروه به تفکیک هفته‌ها، از آزمون واریانس با اندازه‌های تکراری و برای بررسی بین گروهی این متغیر از آزمون تی مستقل بهره گرفته شد. ابتدا، پیش‌فرض‌های اولیهٔ آزمون کوواریانس، مانند بهنجار بودن توزیع متغیرها، استقلال متغیرهای کووریت و مستقل، همبستگی معنادار بین متغیرهای کووریت و وابسته و در نهایت، همگنی واریانس‌های بین گروهی بررسی گردید. نتایج نشان داد که همهٔ پیش‌فرض‌های مذکور برقرار است.

نتایج

حجم تمرین: در آزمون تی همبسته، مقایسهٔ درون‌گروهی افراد در گروه مکمل بتاآلانین، در شیوهٔ تمرین تنش مکانیکی، تفاوت معناداری را نشان داد (P=۰/۰۰۱). این نتایج در گروه مکمل بتاآلانین تحت شیوهٔ تمرین تنش سوخت‌وسازی نیز پس از هشت هفته روش اعمالی مشاهده شد (P=۰/۰۰۱). در گروه دارونما نیز تفاوت در شیوهٔ تمرین تنش مکانیکی (P=۰/۰۰۶) و تنش سوخت‌وسازی (P=۰/۰۰۱) معنادار بود.

بر پایهٔ نتایج تحلیل کوواریانس بین گروه‌های مکمل و دارونما؛ همچنین شیوه‌های تمرین تنش سوخت‌وسازی و مکانیکی، پس از کنترل اثر پیش‌آزمون به عنوان متغیر کنترل (کووریت)، تفاوت معناداری در پس‌آزمون حجم تمرین در گروه مکمل بتاآلانین نسبت به گروه دارونما دیده شد (η^2=۰/۵۷۵، P=۰/۰۰۱، F(۱/۲۷)= ۳۶/۵۷۵). همچنین بین دو شیوهٔ تمرینی در حجم تمرین، به نفع تمرین با شدت پایین نسبت به شدت بالا، تفاوت معناداری مشاهده گردید (η^2=۰/۵۰۶، P=۰/۰۰۱، F(۱/۲۷)= ۲۷/۶۸۹). در مقابل، اثر متقابل تمرین و مکمل معنادار نبود (P=۰/۱، F(۱/۲۷)= ۲/۸۹۹). میانگین و انحراف استاندارد حجم تمرین در گروه‌های مورد بررسی، پیش و پس از هشت هفته تمرین، در شکل ۲ ارائه شده است.



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

پیش‌آزمون: PRE پس‌آزمون: POST بتاآلانین: BA پلاسیبو یا دارونما:PL

شکل ۲. حجم تمرین

نتایج آزمون واریانس با اندازه‌های تکراری نشان داد که در روش تمرین تنش سوخت‌وسازی، بین هفتهٔ چهارم و هفتهٔ دوم (P=۰/۰۰۱)، بین هفتهٔ ششم و هفتهٔ دوم (P=۰/۰۰۱) و بین هفتهٔ هشتم و هفتهٔ دوم (P=۰/۰۰۱)، تفاوت معناداری وجود دارد.

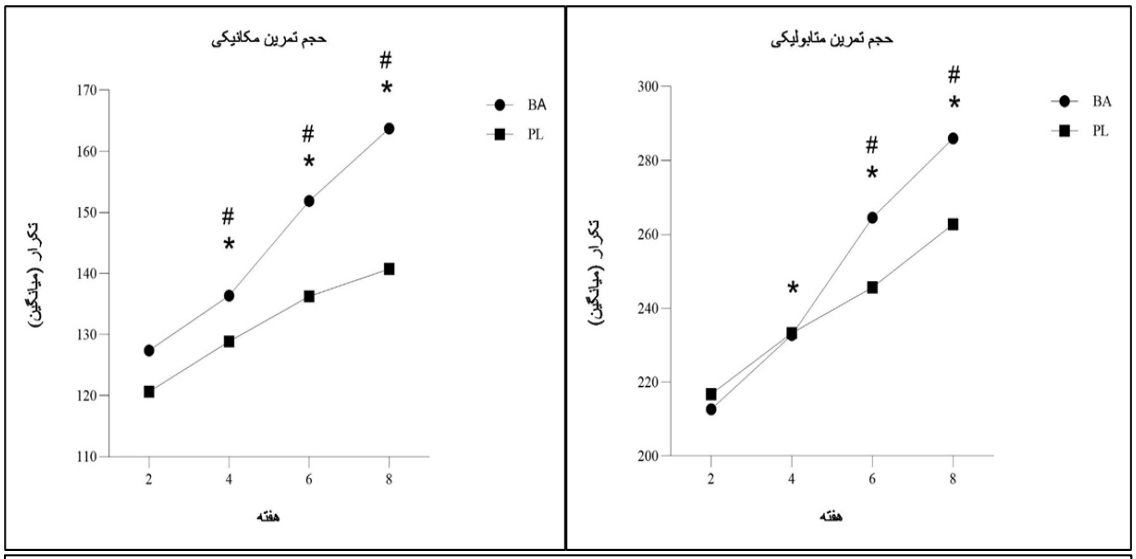
نتایج مقایسهٔ بین‌گروهی (مکمل بتاآلانین در مقابل دارونما) با استفاده از آزمون تی مستقل در روش تمرین تنش سوخت‌وسازی، برای هفتهٔ دوم (P=۰/۳۶۱) و هفتهٔ چهارم (P=۰/۹۳۶)، تفاوت معناداری را نشان نداد؛ در مقابل، این نتایج در هفتهٔ ششم (P=۰/۰۰۲) و هفتهٔ هشتم (P=۰/۰۰۳)، معنادار بود.

در آزمون واریانس با اندازه‌های تکراری در روش تمرین تنش مکانیکی، بین هفته‌های چهارم و دوم (P=۰/۰۰۵)، ششم و دوم (P=۰/۰۰۱) و هشتم و دوم (P=۰/۰۰۱)، تفاوت معناداری مشاهده شد.

نتایج مقایسهٔ بین‌گروهی (مکمل بتاآلانین با دارونما) با استفاده از آزمون تی مستقل در روش تمرین تنش مکانیکی، برای هفتهٔ دوم، تفاوت معناداری را نشان نداد (P=۰/۱۴۴). در مقابل، این نتایج در هفته‌های چهارم (P=۰/۰۳۸)، ششم (P=۰/۰۰۱) و هشتم (P=۰/۰۰۱)، معنادار بود. شمار تکرارهای اجراشده برای هر گروه، به تفکیک هفته، در شکل ۳ نمایش داده شده است.

EMG: جدول ۴ میانگین وزنه‌های جابه‌جا شده با ۷۰ درصد قدرت بیشینه در هر گروه را در پیش‌آزمون و پس‌آزمون نشان می‌دهد.

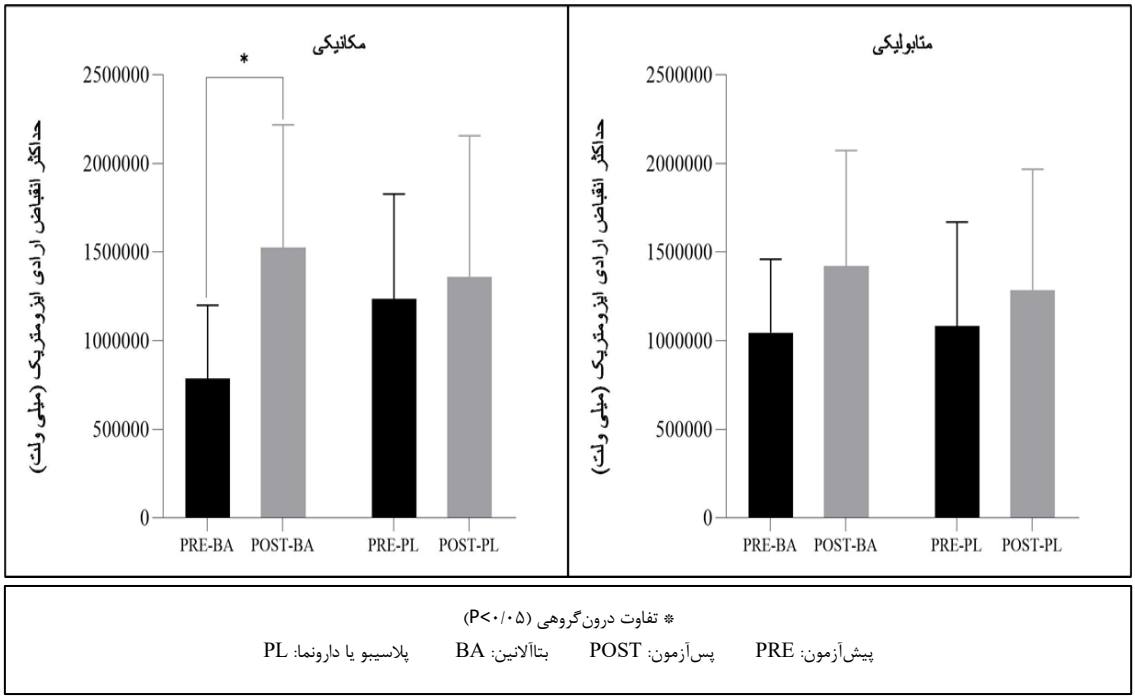
بر اساس نتایج آزمون تی همبسته در مقایسهٔ درون‌گروهی افراد، بیشترین فعالیت ماهیچه‌ای ماهیچهٔ دوسر بازویی در گروه مکمل با شیوهٔ تمرین تنش مکانیکی، تفاوت معناداری را نشان داد (P=۰/۰۲۳). در مقابل، این تغییرات (افزایش معنادار و تا اندازه‌ای چشمگیر) در گروه‌های مکمل با شیوهٔ تمرین تنش سوخت‌وسازی (P=۰/۱۰۷)، دارونما با شیوهٔ تمرین تنش مکانیکی (P=۰/۷۱۰) و دارونما با شیوهٔ تمرین تنش سوخت‌وسازی (P=۰/۴۶۷)، معنادار نبود. میانگین و انحراف استاندارد بیشترین فعالیت ماهیچه‌ای ماهیچهٔ دوسر بازویی در گروه‌های مکمل و دارونما، پیش و پس از هشت هفته تمرین، در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۳. شمار تکرارهای اجراشده هر گروه به تفکیک هفته

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

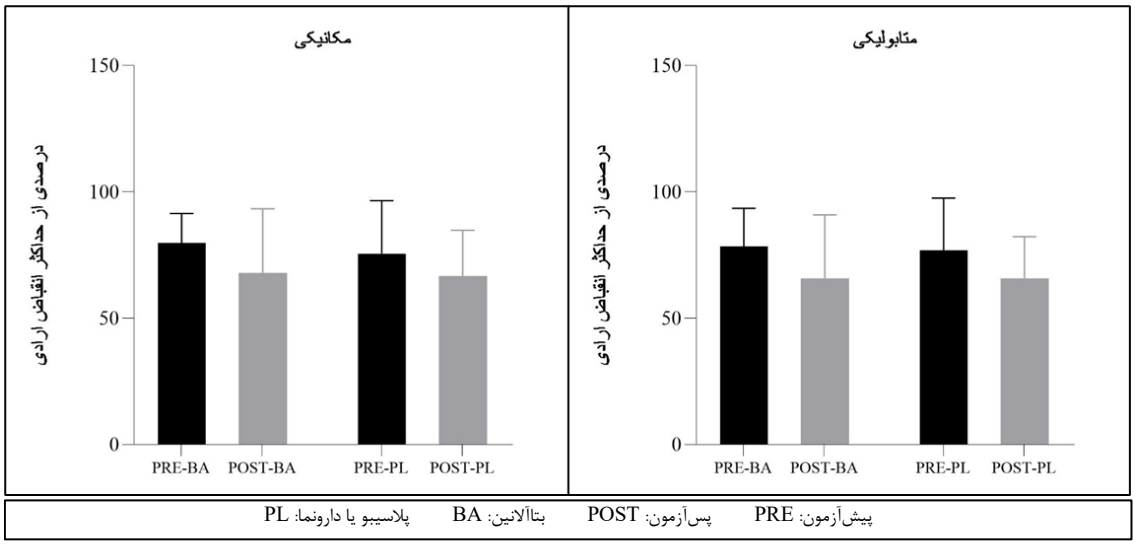
روش تمرین / گروه‌ها	تمرین با شدت بالا		تمرین با شدت پایین	
	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون
تمرین + مکمل	۲۹/۱۱ ± ۵۹/۲	۹۶/۱۳ ± ۵۵/۲	۱۴/۱۱ ± ۶۶/۲	۶۰/۱۳ ± ۳۵/۲
تمرین + دارونما	۳۷/۱۲ ± ۰۸/۲	۵۸/۱۳ ± ۹۴/۱	۲۹/۱۲ ± ۰۵/۲	۳۷/۱۳ ± ۹۶/۱



شکل ۴. بیشترین فعالیت ماهیچه‌ای دوسربازوئی

همچنین با توجه به نتایج تحلیل کوواریانس برای متغیر فعالیت الکتریکی ماهیچه‌ای، پس از ورود متغیر پیش‌آزمون به عنوان متغیر کنترل (کووریت)، تفاوت معناداری در پس‌آزمون در گروه‌های مکمل - دارونما (P=۰/۹۲۸، F(۱/۳۵)= ۰/۰۰۸) و شیوهٔ تمرین تنش سوخت‌وسازی و مکانیکی (P=۰/۸۲۲، F(۱/۳۵)= ۰/۰۵۱) در ماهیچهٔ دوسر بازویی یافت نشد. نتایج همچنین اثر متقابل تمرین و مکمل را غیرمعنادار نشان داد (P=۰/۹۳۴، F(۱/۳۵)= ۰/۰۰۷). میانگین و انحراف استاندارد فعالیت ماهیچه‌ای نسبی ماهیچهٔ دوسر بازویی در گروه‌های یادشده، پیش و پس از هشت هفته تمرین، در شکل ۵ ارائه شده است.

بر اساس نتایج آزمون تی همبسته، در مقایسهٔ درون‌گروهی، تغییرات در گروه مکمل با شیوهٔ تمرین تنش مکانیکی (P=۰/۱۸)، در گروه مکمل با شیوهٔ تمرین تنش سوخت‌وسازی، پس از هشت هفته روش اعمالی (P=۰/۲۵۶) و در گروه‌های دارونما با شیوهٔ تمرین تنش مکانیکی (P=۰/۳۲۲) و دارونما با شیوهٔ تمرین تنش سوخت‌وسازی (P=۰/۱۸۶)، معنادار نبود.

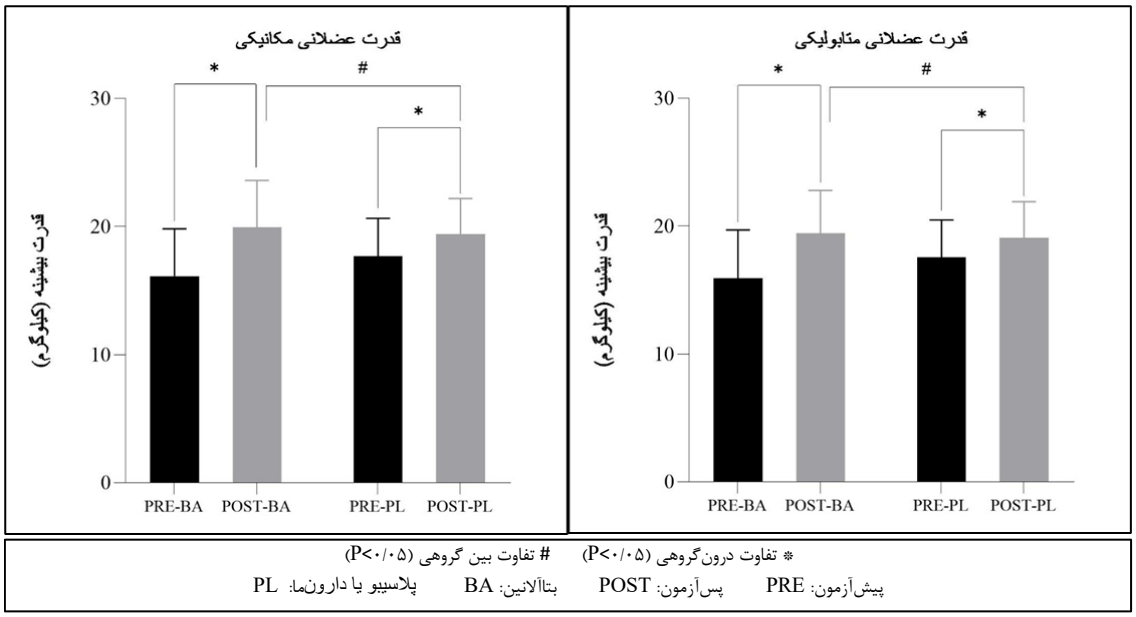


شکل ۵. فعالیت الکتریکی نسبی ماهیچه‌ای (درصدی از بیشینهٔ انقباض ارادی)

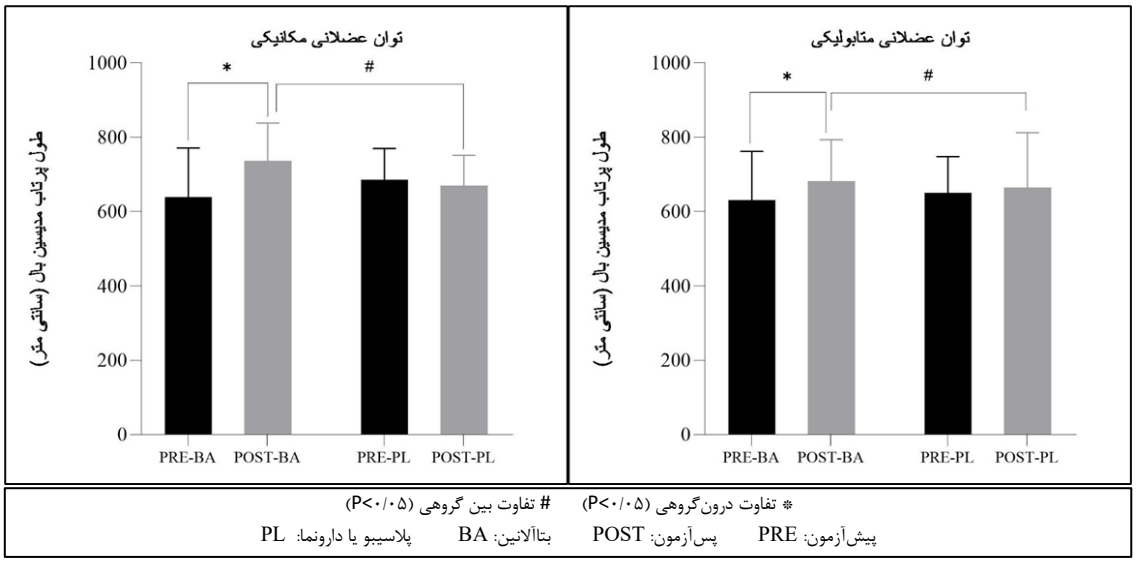
قدرت: نتایج آزمون تی همبسته، در مقایسهٔ درون‌گروهی، در گروه مکمل بتاآلانین با شیوهٔ تمرین تنش مکانیکی، تفاوت معناداری را نشان داد (P=۰/۰۰۱). این نتایج در گروه مکمل بتاآلانین با شیوهٔ تمرین تنش سوخت‌وسازی، پس از هشت هفته روش اعمالی (P=۰/۰۰۱) و در گروه‌های دارونما با شیوهٔ تمرین تنش مکانیکی (P=۰/۰۰۳) و دارونما با شیوهٔ تمرین تنش سوخت‌وسازی (P=۰/۰۰۳) نیز معنادار بود. بر پایهٔ نتایج تحلیل کوواریانس برای متغیر قدرت، بین گروه‌های مکمل و دارونما و شیوه‌های تمرین تنش سوخت‌وسازی و مکانیکی، پس از کنترل اثر پیش‌آزمون به عنوان متغیر کووریت، تفاوت معناداری در پس‌آزمون ماهیچهٔ دوسر بازویی، بین گروه‌های مکمل بتاآلانین و دارونما دیده شد (η²=۰/۳۷۱، P=۰/۰۰۱، ۱۵/۹۲۵ =F(۱/۲۷)؛ در حالی که بین دو شیوهٔ تمرین با شدت بالا و شدت پایین، اختلاف معناداری به دست نیامد (P=۰/۵۵۳، ۰/۳۶۱ =F(۱/۲۷). اثر متقابل تمرین و مکمل نیز غیرمعنادار گزارش شد (P=۰/۸۸۸، ۰/۰۲۰ =F(۱/۲۷). میانگین و انحراف استاندارد قدرت ماهیچه‌ای ماهیچهٔ دوسر بازویی در گروه‌های یادشده، پیش و پس از هشت هفته تمرین، در شکل ۶ ارائه شده است.

توان: بر اساس نتایج آزمون تی همبسته، در مقایسهٔ درون‌گروهی، تفاوت معناداری در گروه مکمل بتاآلانین با شیوهٔ تمرین تنش مکانیکی، مشاهده شد (P=۰/۰۰۱). این نتایج در گروه مکمل بتاآلانین با شیوهٔ تمرین تنش سوخت‌وسازی نیز پس از هشت هفته روش اعمالی، معنادار بود (P=۰/۰۴۵)؛ اما در گروه‌های دارونما با شیوهٔ تمرین تنش مکانیکی (P=۰/۷۲۵) و دارونما با شیوهٔ تمرین تنش سوخت‌وسازی (P=۰/۷۲۳)، تفاوت معناداری یافت نشد.

نتایج تحلیل کوواریانس نشان داد که بین گروه‌های مکمل و دارونما و شیوه‌های تمرین تنش سوخت‌وسازی و مکانیکی، پس از کنترل اثر پیش‌آزمون به عنوان متغیر کووریت (کنترل)، در پس‌آزمون توان ماهیچهٔ دوسر بازویی گروه‌های مکمل بتاآلانین و دارونما، تفاوت معناداری وجود دارد (η²=۰/۱۵۲، P=۰/۰۳۷، ۴/۸۲۷ =F(۱/۲۷)؛ اما بین شیوهای تمرینی با شدت بالا و با شدت پایین، اختلاف معناداری دیده نشد (P=۰/۶۰۳، ۰/۲۷۷ =F(۱/۲۷). اثر متقابل تمرین و مکمل نیز غیر معنادار گزارش شد (P=۰/۲۵۱، ۱/۳۷۴ =F(۱/۲۷). میانگین و انحراف استاندارد توان ماهیچه‌ای ماهیچهٔ دوسر بازویی در گروه‌های یاد شده، پیش و پس از هشت هفته تمرین، در شکل ۷ ارائه شده است.



شکل ۶. قدرت ماهیچه‌ای بالاتنه



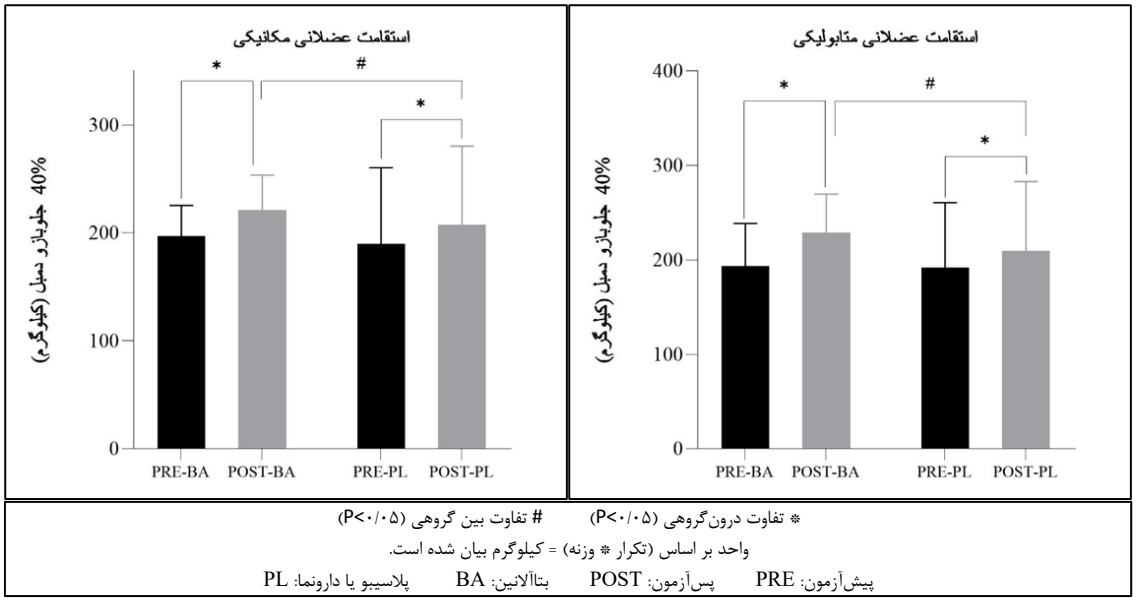
شکل ۷. توان ماهیچه‌ای بالاتنه

استقامت: بر اساس نتایج آزمون تی همبسته، در مقایسهٔ درون‌گروهی، تفاوت معناداری در گروه‌های مکمل بتاآلانین با شیوهٔ تمرین تنش مکانیکی (P=۰/۰۰۱)، مکمل بتاآلانین با شیوهٔ تمرین تنش سوخت‌وسازی (P=۰/۰۰۱)، دارونما با شیوهٔ تمرین تنش مکانیکی (P=۰/۰۰۱) و دارونما با شیوهٔ تمرین تنش سوخت‌وسازی (P=۰/۰۰۵) مشاهده شد.

نتایج تحلیل کوواریانس نشان داد که بین گروه‌های مکمل و دارونما و شیوه‌های تمرین تنش سوخت‌وسازی و مکانیکی، پس از کنترل اثر پیش‌آزمون به عنوان متغیر کووریت (کنترل)، در پس‌آزمون استقامت ماهیچهٔ دوسر بازویی، بین گروه‌های مکمل بتاآلانین و دارونما، تفاوت معناداری وجود دارد (η^2=۰/۲۰۶، P=۰/۰۱۳، ۷/۰۰۹ =F(۱/۲۷)؛ در حالی که بین شیوه‌های تمرینی با شدت بالا و با شدت پایین، اختلاف معناداری دیده نشد (P=۰/۲۳۲، ۱/۴۹۵ =F(۱/۲۷). اثر متقابل تمرین و

مکمل نیز غیر معنادار گزارش گردید (P=۰/۲۲۶، F(۱/۲۷)= ۱/۵۳۴). میانگین و انحراف استاندارد استقامت ماهیچه‌ای ماهیچهٔ دوسر بازویی در گروه‌های یادشده، پیش و پس از هشت هفته تمرین، در شکل ۸ ارائه شده است.

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



شکل ۸. استقامت ماهیچه‌ای بالاتنه

جدول ۵. درصد تغییرات متغیرها

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

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هشت هفته تمرین مقاومتی منجر به بهبود معنادار قدرت ماهیچه‌ای در هر دو گروه مکمل و دارونما شد. اگرچه بین روش‌های تمرینی با شدت بالا و پایین، در میزان بهبود قدرت، تفاوت معناداری وجود نداشت؛ اما میزان افزایش قدرت در گروه مکمل نسبت به گروه دارونما، به طور معناداری بیشتر بود (۷۲/۲۳ درصد به ۸۳/۹ درصد در بار با شدت بالا و ۱۵/۲۲ درصد به ۸۲/۸ درصد در بار با شدت پایین). این یافته نشان می‌دهد که اگرچه تمرین مقاومتی به تنهایی می‌تواند باعث بهبود عملکرد ماهیچه‌ای شود؛ اما دریافت مکمل بتاآلانین می‌تواند

اثرات تمرین را تقویت کند و موجب سازگاری‌های عملکردی بیشتری شود. از طرفی، نبود تفاوت معنادار بین دو شیوهٔ تمرینی مکانیکی و سوخت‌وسازی نشان می‌دهد که در شرایط تمرینی مشابه برای افراد کم‌وبیش تمرین‌کرده (با بار تمرینی بیش از ۶۰ درصد یک تکرار بیشینه)، شدت تمرین در دوره‌های کوتاه‌مدت، نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش قدرت ندارد؛ بلکه عامل اصلی، جدا از تنش سوخت‌وسازی یا تنش مکانیکی، خود تمرین مقاومتی است؛ البته با توجه به نقش سازگاری‌های عصبی و ساختاری در افزایش قدرت، این‌گونه گمان می‌رود که نقش این دو نوع سازگاری در افزایش قدرت ناشی از تنش مکانیکی و سوخت‌وسازی، یکسان نبوده است. در همین راستا، یافته‌های پژوهشی نشان داده‌اند که تمرین مقاومتی با بار مکانیکی بالا، منجر به تغییرات چشمگیری در سیستم عصبی مرکزی؛ از جمله افزایش درایو عصبی، بهبود هماهنگی واحدهای حرکتی و کاهش مهار عصبی می‌شود که همهٔ این سازگاری‌ها در نهایت به بهبود عملکرد منتهی می‌شوند (۳۴). در تأیید این موضوع، یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که در گروه مکمل با بار با شدت بالا، افزایش معنادار قدرت بیشینه با افزایش معنادار بیشترین فعالیت الکتریکی ماهیچه همراه بود. همراهی این دو یافته نشان می‌دهد که بهبود قدرت تا حد زیادی ناشی از افزایش فعال‌سازی عصبی و بهبود هماهنگی واحدهای حرکتی در گروه تنش مکانیکی بوده است. با این همه، فعال‌سازی نسبی ماهیچه در ۷۰ درصد MVC، با وجود بهبود نسبی (کاهش ۸۸/۱۴ درصد) که می‌تواند نشان‌دهندهٔ بهبود کارایی عصبی - ماهیچه‌ای و صرفه‌جویی در هزینهٔ عصبی برای تولید نیروی نسبی باشد (۳۴)، معنادار نبود. یافته‌ها در مورد گروه دیگر نیز کم‌وبیش مشابه بود؛ در گروه مکمل با بار با شدت پایین و در گروه دارونما با بار با شدت بالا و پایین نیز هرچند افزایش قدرت با افزایش بیشترین فعالیت الکتریکی ماهیچه همراه بود (که البته معنادار نبود)؛ اما تغییرات در نشانگر فعال‌سازی نسبی ماهیچه در ۷۰ درصد قدرت بیشینه کاهش یافت (به ترتیب ۱۶/۱۶، ۷۱/۱۱ و ۵۸/۱۴ درصد) که این تغییرات نیز معنادار نبودند. با این همه، این نتایج (هرچند جزئی) نشان‌دهندهٔ بهبود کارایی عصبی - ماهیچه‌ای در طول هشت هفته تمرین مقاومتی است. به عبارتی دیگر، برای تولید قدرت کمتر از سطح بیشینه، دستگاه عصبی می‌تواند با صرفه‌جویی در فعال‌سازی ماهیچه‌ای و بهینه‌سازی الگوی واحدهای حرکتی، همان خروجی نیرو را با میزان کمتری از سیگنال‌ها و پیام‌های عصبی فراهم کند (۳۵). علاوه بر این، نقش مکمل بتاآلانین در تقویت بهبود عملکرد ماهیچه‌ای نیز در این پژوهش قابل توجه است. اگرچه بتاآلانین تأثیر چشمگیری بر نشانگرهای EMG نداشت؛ اما سازوکار آن از طریق افزایش غلظت کارنوزین ماهیچه‌ای و بهبود ظرفیت بافری عمل می‌کند که می‌تواند خستگی ماهیچه‌ای را به تأخیر اندازد و امکان اجرای تمرین با کیفیت بالاتر را فراهم آورد (۳۶). این سازوکار می‌تواند به صورت غیرمستقیم موجب افزایش قدرت ماهیچه‌ای شود. یافته‌های پژوهش حاضر در این زمینه، با یافته‌های عسکری و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد (۳۷)؛ آنان گزارش کردند که دریافت روزانه ۸/۴ گرم بتاآلانین به مدت هشت هفته در کنار تمرین مقاومتی، منجر به افزایش معنادار قدرت ماهیچه‌ای می‌شود. با این همه، این افزایش قدرت به طور مستقیم ناشی از اثرات آنابولیک مکمل نیست؛ بلکه به صورت غیرمستقیم و از طریق افزایش غلظت کارنوزین ماهیچه‌ای، کاهش انباشت یون‌های هیدروژن، تأخیر در بروز خستگی ماهیچه‌ای و شاید بهبود کیفیت تمرین، میانجی‌گری می‌شود. با این همه، یافته‌های مطالعهٔ حاضر، با یافته‌های دی کامارگو و همکاران (۲۰۲۳) ناهمسو است (۲)؛ آنان گزارش کردند که دریافت روزانه ۴/۶ گرم

بتاآلانین به مدت هشت هفته، باعث افزایش بیشتر قدرت پس از تمرین مقاومتی نمی‌شود. این ناهمسویی می‌تواند ناشی از تفاوت در ویژگی‌های آزمودنی‌ها؛ از جمله سطح تمرین‌دیدگی، نوع و حجم تمرین مقاومتی، مدت‌زمان مداخله و روش دریافت مکمل بتاآلانین باشد. در پژوهش حاضر، استفاده از دستگاه تمرین تا حد خستگی و حجم تمرینی بالاتر، احتمالاً نقش مؤثرتری در بروز سازگاری‌های عملکردی ایفا کرده باشد.

در کنار قدرت ماهیچه‌ای، توان ماهیچه‌ای یکی از مهمترین ویژگی‌ها برای موفقیت در فعالیت‌های ورزشی است و توانایی موفقیت در رشته‌های ورزشی را به ورزشکاران می‌دهد (۲). یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که توان ماهیچه‌ای دوسر بازویی پس از هشت هفته تمرین مقاومتی، در گروه مکمل بتاآلانین، به طور معناداری افزایش یافت؛ در حالی که در گروه دارونما چنین افزایشی دیده نشد (۳۲/۱۵ درصد به ۹۷/۷ درصد در بار با شدت بالا و ۱۸/۲- درصد به ۱۷/۲ درصد در بار با شدت پایین)؛ همچنین، با وجود تفاوت در شدت تمرین، اختلاف معناداری بین دو شیوهٔ تمرینی تنش مکانیکی در برابر سوخت‌وسازی، از نظر بهبود توان ماهیچه‌ای مشاهده نگردید. این نتایج حاکی از آن است که افزایش توان ماهیچه‌ای در این پژوهش، بیش از آنکه وابسته به نوع یا حجم تمرین باشد، تحت تأثیر عوامل فیزیولوژیک مرتبط با دریافت مکمل بتاآلانین قرار داشته است. از دید فیزیولوژیک، توان ماهیچه‌ای تابعی از میزان تولید نیرو در واحد زمان است که افزون بر مؤلفه‌های عصبی، به توانایی دستگاه ماهیچه‌ای در حفظ سرعت انقباض در شرایط خستگی نیز وابسته است (۳۸). بتاآلانین با افزایش غلظت کارنوزین ماهیچه‌ای، ظرفیت بافری داخل سلولی را افزایش می‌دهد و از افت pHدر طی فعالیت‌های با شدت بالا جلوگیری می‌کند. این سازوکار از طریق حفظ سرعت انقباض، توان خروجی را در فعالیت‌های تکراری بهبود می‌بخشد (۱)؛ از این رو، مشاهدهٔ بهبود توان ماهیچه‌ای در گروه مکمل، حتی بدون وجود تفاوت معنادار بین شیوه‌های تمرینی، با مبانی فیزیولوژیک سازگار است. یافته‌های این پژوهش با پژوهش‌های پیشین نیز همسو است که نشان داده‌اند دریافت مکمل بتاآلانین در ترکیب با تمرین مقاومتی، در افزایش توان اوج مؤثر است .(39) گمان می‌رود با افزایش قدرت، استقامت ماهیچه‌ای هم افزایش یابد. در همین راستا، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که استقامت ماهیچه‌ای در گروه مکمل بتاآلانین، به طور معناداری افزایش یافته است. این بهبود در هر دو شیوهٔ تمرین تنش مکانیکی و سوخت‌وسازی نیز دیده شد و تفاوت معناداری میان آنها وجود نداشت (افزایش از ۳۸/۱۲ درصد به ۴۲/۹ درصد در بار با شدت بالا و از ۴۴/۱۸ درصد به ۲۹/۹ درصد در بار با شدت پایین). این نتایج نشان می‌دهند که افزایش استقامت ماهیچه‌ای را می‌توان به بهبود ظرفیت بافری ماهیچه، کاهش انباشت یون‌های هیدروژن و تأخیر در بروز خستگی نسبت داد که به طور مستقیم و ویژه تحت تأثیر افزایش غلظت کارنوزین ماهیچه‌ای ناشی از دریافت بتاآلانین قرار دارند (۷ و ۹). این سازوکار موجب می‌شود ماهیچه بتواند انقباض مؤثر را برای مدت طولانی‌تری حفظ کند و تکرارهای بیشتری را پیش از رسیدن به خستگی کامل انجام دهد (۳۹). نتایج پژوهش حاضر در این مورد، با نتایج سیل و همکاران (۲۰۱۲) و اوتلاو و همکاران (۲۰۱۶) همسوست که نتیجهٔ اضافی بتاآلانین را بر استقامت ماهیچه‌ای گزارش کرده‌اند (۴۰ و ۴۱). نتایج پژوهش سیل و همکاران نشان داد که دریافت ۴/۶ گرم مکمل بتاآلانین به صورت روزانه به مدت چهار هفته، باعث افزایش استقامت ماهیچه‌ای می‌شود که این امر ناشی از بهبود تنظیم ph درون‌سلولی به دلیل افزایش سطح کارنوزین ماهیچه‌ای است. در پژوهش اوتلا و همکاران نیز ۱۶

زن غیرورزشکار پس از هشت هفته تمرین مقاومتی و دریافت روزانه ۴/۳ گرم مکمل بتاآلانین، بهبود استقامت ماهیچه‌ای را نشان دادند. علاوه بر این، بازینلو و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی ۲۰ نفر مرد ورزشکار پس از چهار هفته تمرین و دریافت مکمل بتاآلانین به این نتیجه رسیدند که این مکمل بر استقامت ماهیچه‌ای ایستا (که بیشتر باعث محدودیت جریان خون و هیپوکسی می‌شود) اثر مثبت و معناداری دارد؛ ولی بر روی استقامت ایزوکینتیک یا ایزوتونیک تأثیر معناداری ندارد (۱۶). دلیل این تفاوت‌ها می‌تواند ویژگی‌های شرکت‌کنندگان (مانند تجربهٔ تمرینی و جنسیت) و روش‌های تمرینی استفاده‌شده در پژوهش‌ها باشد. از آنجا که استقامت ماهیچه‌ای به توانایی ماهیچه در حفظ تولید نیرو طی تکرارهای مداوم وابسته است، گمان می‌رود افزایش استقامت، تحت تأثیر حجم تمرین و شمار تکرارهای انجام‌شده قرار گیرد. در پژوهش حاضر، حجم تمرین در گروه مکمل بتاآلانین به طور معناداری بیشتر از گروه دارونما بود (۵۵/۲۸ درصد به ۶۸/۱۶ درصد در بار با شدت بالا و ۵/۳۴ درصد به ۲۲/۲۱ درصد در بار با شدت پایین). همچنین، تمرین با شدت پایین نسبت به تمرین با شدت بالا منجر به حجم تمرینی بالاتری شد (۵/۳۴ درصد به ۵۵/۲۸ درصد در گروه مکمل و ۲۲/۲۱ درصد به ۶۸/۱۶ درصد در گروه دارونما). این نتایج بیانگر آن است که حجم تمرین به توانایی فرد در حفظ عملکرد طی تکرارهای پیاپی وابسته است؛ عاملی که به طور مستقیم تحت تأثیر ظرفیت سوخت‌وسازی ماهیچه قرار دارد؛ بنابراین، افزایش حجم تمرین در گروه مکمل بتاآلانین را می‌توان به نقش این مکمل در افزایش ظرفیت بافری ماهیچه و کاهش انباشت یون‌های هیدروژن نسبت داد. بتاآلانین از طریق افزایش غلظت کارنوزین ماهیچه‌ای، موجب تأخیر در بروز خستگی و حفظ توان تولید نیرو در طول نوبت‌های پیاپی می‌شود که این امر امکان اجرای تکرارهای بیشتر و در نتیجه افزایش حجم تمرین را فراهم می‌کند (۳۸). همچنین، ممکن است بتاآلانین بتواند با تأخیر در خستگی، باعث فراخوانی بیشتر تارهای با آستانهٔ بالا و در نتیجه افزایش حجم تمرین در بار با شدت بالا و پایین شود و این امر، موجب افزایش عملکرد ماهیچهٔ دوسر بازویی گردد. از سوی دیگر، بالاتر بودن حجم تمرین در شیوهٔ تمرین با شدت پایین نسبت به شدت بالا، نشان می‌دهد که انجام تکرارهای بیشتر با بارهای سبک‌تر، فرصت بیشتری برای انباشت حجم کلی تمرین فراهم می‌کند. این یافته‌ها با شواهد پیشین هم‌راستا هستند و نشان می‌دهند که حجم تمرین، عامل کلیدی در تحریک سازگاری‌های ماهیچه‌ای است و تمرین با بارهای متوسط تا سبک، در صورت افزایش شمار تکرارها، می‌تواند محرک مؤثری برای افزایش ظرفیت کاری ماهیچه باشد (۴۳ و ۴۴). نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های پژوهش هافمن و همکاران (۲۰۰۶) همسو بود. آنها نشان دادند که ۱۰ هفته تمرین مقاومتی به همراه مصرف مکمل بتاآلانین، حجم تمرین را افزایش می‌دهد که علت آن، به تعویق افتادن خستگی در نتیجهٔ افزایش ظرفیت بافری است که می‌تواند باعث بهبود توانایی ورزشکار شود (۴۵)؛ اما این نتایج برخلاف پژوهش‌های دیکامارگو و همکاران (۲۰۲۳) است که افزایش حجم تمرین را بین گروه‌های بتاآلانین و دارونما معنادار ندیدند (۲). این تفاوت می‌تواند به این دلیل باشد که تمرینات دیکامارگو و همکاران، کل بدن را شامل می‌شد؛ در حالی که پژوهش حاضر بر یک ماهیچهٔ خاص و دو تمرین تخصصی تمرکز داشت. بنابراین، ممکن است یک ماهیچهٔ خاص، بیشتر تحت تأثیر مکمل قرار گیرد. روی هم رفته، یافته‌های این پژوهش تأیید می‌کند که حجم تمرین، متأثر از تعامل بین شدت تمرین، ظرفیت

سوخت‌وسازی ماهیچه و توانایی حفظ تکرارها در طول هر نوبت است. به نظر می‌رسد دریافت بتاآلانین با بهبود شرایط سوخت‌وسازی، امکان اجرای حجم تمرینی بالاتر را فراهم می‌آورد و بدین ترتیب، می‌تواند نقش مؤثری در بهبود سازگاری‌های عملکردی ناشی از تمرین مقاومتی ایفا کند.

با وجود یافته‌های قابل توجه، پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی مواجه بود که باید در تفسیر نتایج و طراحی پژوهش‌های آینده در نظر گرفته شوند. نخست، حجم نمونهٔ محدود بود؛ به طوری که تنها ۱۶ نفر در گروه‌های مکمل و دارونما شرکت داشتند. این موضوع باعث محدودیت در توان آماری پژوهش می‌شود و تعمیم نتایج به جمعیت‌های وسیع‌تر یا افرادی با ویژگی‌های فیزیولوژیک و سطوح تمرینی متفاوت را با احتیاط و دوراندیشی همراه می‌کند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، از نمونه‌های بزرگتر و متنوع‌تر، جهت ارتقای دقت و قابلیت تعمیم‌پذیری نتایج استفاده شود. دوم، سطح مقطع ماهیچه (Muscle cross-sectional area) در آزمودنی‌ها اندازه‌گیری نشد. این متغیر می‌توانست به توضیح دقیق‌تر سازوکارهای افزایش قدرت و توان ماهیچه‌ای کمک کند؛ زیرا تغییرات عملکردی ممکن است ناشی از ترکیب سازگاری‌های عصبی و افزایش حجم ماهیچه‌ای باشند. اندازه‌گیری ضخامت یا حجم ماهیچه در پژوهش‌های آینده می‌تواند امکان بررسی همبستگی بین افزایش کارنوزین، حجم ماهیچه و بهبود عملکرد را فراهم کند. سوم، غلظت کارنوزین ماهیچه‌ای آزمودنی‌ها مورد ارزیابی قرار نگرفت. از آنجایی که بتاآلانین با افزایش کارنوزین ماهیچه‌ای، موجب بهبود ظرفیت بافری و تأخیر در خستگی می‌شود، ارزیابی مستقیم این نشانگر می‌توانست سازوکار اثرگذاری مکمل را دقیق‌تر روشن نماید و همبستگی بین تغییرات فیزیولوژیک و عملکردی را اثبات کند. در نهایت، محدودیت‌های مذکور نشان می‌دهند که پژوهش‌های آینده لازم است با استفاده از حجم نمونهٔ بیشتر، اندازه‌گیری دقیق نشانگرهای ماهیچه‌ای و فیزیولوژیک و بازه‌های زمانی طولانی‌تر طراحی شوند تا بتوان سازوکارهای مکمل بتاآلانین و پاسخ‌های عصبی - ماهیچه‌ای و محیطی ماهیچه را به شکل جامع‌تری بررسی کرد. بررسی متغیرهایی نظیر جنسیت، تجربهٔ تمرینی و نوع ماهیچهٔ تحت تمرین نیز می‌تواند درک عمیق‌تری از پاسخ‌های ماهیچه‌ای به مصرف بتاآلانین ارائه دهد.

روی هم رفته، یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که هشت هفته تمرین مقاومتی، موجب بهبود معنادار عملکرد ماهیچه‌ای ماهیچهٔ دوسر بازویی می‌شود. دریافت مکمل بتاآلانین نیز در مقایسه با گروه دارونما، اثر افزایشی چشمگیری بر قدرت بیشینه، توان، استقامت ماهیچه‌ای و حجم تمرین دارد. بهبود قدرت ماهیچه‌ای بیشتر می‌تواند ناشی از سازگاری‌های عصبی - ماهیچه‌ای و افزایش کارایی دستگاه عصبی در تولید نیرو باشد؛ چراکه کاهش فعال‌سازی نسبی ماهیچه در شدت‌های زیر بیشینه، بیانگر افزایش کارایی عصبی - ماهیچه‌ای است. علاوه بر این، بهبود توان و استقامت ماهیچه‌ای در گروه مکمل، بدون وابستگی معنادار به شیوهٔ تمرین دیده شد که نشان‌دهندهٔ نقش برتر سازوکارهای سوخت‌وسازی، به‌ویژه افزایش ظرفیت بافری ماهیچه و تأخیر در بروز خستگی است. به طور کلی، دریافت مکمل بتاآلانین در ترکیب با تمرین مقاومتی می‌تواند با فراهم‌کردن امکان اجرای تمرین با کیفیت و حجم بالاتر، به بهبود برخی سازگاری‌های عملکردی ماهیچه منجر شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از همهٔ شرکت‌کنندگان در این پژوهش که با همکاری صمیمانهٔ خود در انجام این پژوهش مشارکت

داشتند، قدردانی می‌کنند.

حمایت مالی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه خوارزمی و در قالب طرح پژوهشی مصوب این دانشگاه انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان به طور یکسان در این پژوهش مشارکت داشتند.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تعارض منافعی در اجرای این پژوهش وجود ندارد.

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

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.[In Persian]. 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