

Original Article

The Effects of Low-Intensity Eccentric Quasi-Isometric Training with Blood Flow Restriction on Serum levels of Testosterone, Cortisol, Muscular Hypertrophy, and Power in Male Athletes

Seyed ali Seyedi¹ , Kazem Khodaei^{2*} , Dustin Oranchuk³ 

1. Master's Student in Sports Physiology, Faculty of Sports Sciences, Urmia University, Urmia, Iran.
2. Associate Professor of Sports Physiology, Faculty of Sports Sciences, Urmia University, Urmia, Iran.
3. Morphology, Mechanics, and Muscle Function Laboratory, Department of Physical Medicine and Rehabilitation, University of Colorado Anschutz Medical Campus, Aurora, Colorado, USA.

Abstract

Background and Purpose: Achieving high efficiency in athletic training and maximizing muscular output relative to the effort expended is of critical importance to both coaches and athletes. Therefore, the purpose of this study was to investigate the effects of six weeks of low-intensity eccentric quasi-isometric training (EQI) with blood flow restriction (BFR) on serum levels of testosterone, cortisol, muscular hypertrophy, and power in male athletes.

Materials and Methods: Thirty-six young male athletes were selected and randomly divided into three groups, including EQI group, the low-intensity EQI+BFR group (EQI + BFR), and the control group (CON). The training groups performed EQI resistance training in addition to their routine training for 6 weeks, 2 sessions per week. The EQI group performed weight training using the eccentric quasi-isometric method, 3-4 repetitions with an intensity range of 60-85% of one repetition maximum (1RM) and a duration under tension of 15-90 seconds per repetition for 5 lower and upper body exercises, and the EQI + BFR group performed weight training using the eccentric quasi-isometric method, 3-4 repetitions with an intensity range of 20-35% of 1RM and a duration under tension of 15-90 seconds per repetitions for 5 lower and upper body exercises. The control group performed their routine exercise activities. Fasting blood samples were taken 48 hours before the first training session and 48 hours after the last training session. Serum testosterone and cortisol levels were measured with human ELISA kits. Upper and lower body hypertrophy was measured anthropometrically. Foot grip strength was also assessed based on vertical jump. Two-way ANOVA with dummy measurements and Bonferroni post hoc test were used to analyze the data, and paired t-test was used to examine within-group changes.

Results: : a significant time in group interaction observed after six weeks of both EQI and EQI + BFR training on serum levels of testosterone ($P=0.014$), cortisol ($P=0.007$), testosterone to cortisol ratio ($P=0.005$), thigh hypertrophy ($P=0.001$), arm hypertrophy ($P=0.001$), mean ($P=0.009$) and peak leg power ($P=0.009$). Between-group results showed that both EQI and EQI + BFR training significantly increased testosterone levels (P values 0.03 and 0.02, respectively), testosterone to cortisol ratio (P values 0.023 and 0.007, respectively), arm muscle hypertrophy (P values 0.011 and 0.001, respectively), and thigh hypertrophy (P values 0.001 and 0.002, respectively), compared to the control group. The EQI + BFR group had a significant decrease in cortisol relative to the control group ($P = 0.005$), and the EQI group had a significant increase in peak ($P = 0.007$) and average leg power ($P = 0.007$) compared to the control group. There was no significant difference between the EQI and EQI + BFR training groups in all variables ($P > 0.05$).

Conclusion: The results of the present study showed that both high-intensity EQI and low-intensity EQI+BFR training can improve testosterone serum levels, testosterone to cortisol ratio, arm and thigh hypertrophy, and there was no difference between the two training methods. However, the role of EQI+BFR was more prominent in reducing cortisol level and high-intensity EQI in improving leg muscle power. It seems that performing low-intensity EQI training with BFR can replace EQI training.

Keywords: Eccentric quasi-isometric training, Blood flow restriction, Testosterone, Cortisol, Muscle hypertrophy

How to cite this article: Seyedi SA, Khodaei k, Oranchuk D. The Effects of Low-Intensity Eccentric Quasi-Isometric Training with Blood Flow Restriction on Serum levels of Testosterone, Cortisol, Muscular

Hypertrophy, and Power in Male Athletes. J Sport Exerc Physiol. 2025;18(4):?-?.

*Corresponding Author's E-mail: K.khodaei@urmia.ac.ir

<https://doi.org/10.48308/joeppa.2025.239468.1352>

Received: 13/04/2025

Revised: 06/06/2025

Accepted: 27/06/2025

Copyright: © 2025 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

تاثیر تمرینات شبه ایزومتریک برونگرا کم شدت با محدودیت جریان خون بر سطوح سرمی تستوسترون، کورتیزول، هایپرتروفی عضلانی و توان در مردان ورزشکار

سید علی سیدی^۱ ID، کاظم خدائی^۲ ID*، داستین اورانچوک^۳ ID

۱. کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲. دانشیار فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۳. آزمایشگاه مورفولوژی، مکانیک و عملکرد عضلانی، گروه طب فیزیکی و توانبخشی، پردیس پزشکی دانشگاه کلرادو-آنشوتز، آرورا، کلرادو، ایالات متحده آمریکا

چکیده

زمینه و هدف: بهره‌وری بالا در تمرینات ورزشی و دستیابی به حداکثر بازدهی عضلانی با توجه به میزان تلاش انجام شده، برای مربیان و ورزشکاران از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر بررسی تاثیر شش هفته تمرینات شبه ایزومتریک برونگرا (EQI) کم شدت با محدودیت جریان خون (BFR) بر سطوح سرمی تستوسترون، کورتیزول، هایپرتروفی عضلانی و توان در مردان ورزشکار بود.

مواد و روش‌ها: ۳۶ مرد جوان ورزشکار انتخاب شده و به صورت تصادفی به سه گروه شامل گروه EQI، گروه تمرین EQI با شدت کم و محدودیت جریان خون (EQI + BFR) و گروه کنترل (CON) تقسیم شدند. گروه‌های تمرین به مدت ۶ هفته و ۲ جلسه در هر هفته تمرینات مقاومتی EQI را علاوه بر تمرینات روتین خود انجام دادند. گروه EQI تمرینات با وزنه به روش شبه ایزومتریک برونگرا، ۳-۴ تکرار با دامنه شدت ۸۵-۶۰٪ یک تکرار بیشینه (RM۱) و مدت تحت تنش ۹۰-۱۵ ثانیه در هر تکرار برای ۵ حرکت پایین تنه و بالاتنه انجام دادند و گروه EQI+BFR تمرینات با وزنه به روش شبه ایزومتریک برونگرا با محدودیت جریان خون، ۳-۴ تکرار با دامنه شدت ۳۵-۲۰٪ RM۱ و مدت تحت تنش ۹۰-۱۵ ثانیه در هر تکرار برای ۵ حرکت پایین تنه و بالاتنه انجام دادند. گروه کنترل فعالیت های ورزشی روتین خود را انجام دادند. ۴۸ ساعت قبل از اولین جلسه تمرین و ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه تمرین خونگیری در حالت ناشتا انجام شد. میزان سرمی هورمون‌های تستوسترون و کورتیزول با کیت‌های انسانی الیزا اندازه‌گیری شدند. هایپرتروفی عضلات بالاتنه و پایین تنه به روش آنتروپومتریکی اندازه‌گیری شد. توان عضلات پا نیز بر اساس پرش عمودی برآورد شد. برای آنالیز داده‌ها، از آنوای دواره با اندازه‌گیری مکرر و آزمون تعقیبی بونفرونی و برای بررسی تغییرات درون گروهی از آزمون T زوجی استفاده گردید.

نتایج: اثر تعاملی زمان در گروه معناداری پس از شش هفته تمرینات EQI و EQI + BFR بر مقادیر سرمی تستوسترون ($P=0/014$)، کورتیزول ($P=0/007$)، نسبت تستوسترون به کورتیزول ($P=0/005$)، هایپرتروفی ران ($P=0/001$)، هایپرتروفی بازو ($P=0/001$)، میانگین ($P=0/009$) و اوج توان عضلات پا ($P=0/009$) مشاهده شد. نتایج بین گروهی نشان داد که هر دو تمرین EQI + BFR افزایش معناداری در میزان تستوسترون (مقادیر P به ترتیب ۰/۰۳ و ۰/۰۲)، نسبت تستوسترون به کورتیزول (مقادیر P به ترتیب ۰/۰۲۳ و ۰/۰۰۷)، هایپرتروفی عضلات بازو (مقادیر P به ترتیب ۰/۰۱۱ و ۰/۰۰۱) و هایپرتروفی ران (مقادیر P به ترتیب

۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۲)، نسبت به گروه کنترل داشتند. گروه EQI+BFR کاهش معناداری در کورتیزول نسبت گروه کنترل داشت (P=۰/۰۰۵) و گروه EQI افزایش معناداری در اوج (P=۰/۰۰۷) و میانگین توان پا (P=۰/۰۰۸) نسبت به گروه کنترل داشت. بین دو گروه تمرین EQI و EQI+BFR در همه متغیرها تفاوت معناداری وجود نداشت (P>۰/۰۵). **نتیجه گیری:** نتایج مطالعه حاضر نشان داد که هر دو تمرین EQI با شدت بالا و EQI+BFR با شدت کم می تواند باعث بهبود مسزان تستوسترون سرمی، نسبت تستوسترون به کورتیزول و هایپرتروفی عضلات ران و باز شوند و تفاوتی بین دو شیوه تمرینی وجود نداشت. با این حال، در کاهش کورتیزول نقش EQI+BFR و در بهبود توان عضلات پا نقش EQI با شدت بالا پررنگ تر بود. به نظر می رسد انجام تمرین EQI با شدت کم به همراه BFR جایگزین تمرینات EQI شود.

واژه های کلیدی: تمرینات شبه ایزومتریک برونگرا، محدودیت جریان خون، تستوسترون، کورتیزول، هایپرتروفی عضلانی.

نحوه استناد به این مقاله: سیدی س ع، خدائی ک، اورانچوک د. تاثیر تمرینات شبه ایزومتریک برونگرا کم شدت با محدودیت جریان خون بر سطوح سرمی تستوسترون، کورتیزول، هایپرتروفی عضلانی و توان در مردان ورزشکار. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۴؛ ۱۸(۴): ۹-۹.

* رایانامه نویسنده مسئول: k.khodaei@urmia.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۶

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۴

بهره‌وری بالا در تمرینات ورزشی و دستیابی به حداکثر بازدهی عضلانی با توجه به میزان تلاش انجام شده، برای مربیان و ورزشکاران از اهمیت بالایی برخوردار است (۱). بهبود سازگاری‌های ناشی از تمرینات قدرتی در سیستم‌های عصبی و عضلانی نیز یکی از دغدغه‌های اصلی محققان و کارشناسان در حوزه علوم ورزشی است. امروزه کاملاً ثابت شده است که انجام تمرینات قدرتی منجر به افزایش قدرت و حجم عضلات می‌شود (۲). تمرینات مقاومتی با شدت بالا که حدوداً معادل ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه (1RM) هستند، به طور موثری قدرت عضلانی را ارتقا می‌دهند. در واقع، هدف از ست‌هایی که با وزنه‌های سنگین (۱۰۰ - ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه) و تکرارهای پایین (۵ - ۱ تکرار) اجرا می‌شوند، توسعه قدرت عضلانی می‌باشد (۳). به طور کلی پیشنهاد می‌شود که سه ساز و کار فیزیولوژیکی در تمرین قدرتی باعث هایپرتروفی عضلانی می‌شوند (۴): ۱. استرس مکانیکی که در تمرین با وزنه‌های سنگین ایجاد می‌شود و با تنش ایجاد شده در تارهای عضلانی، مسیرهای پیامرسانی را فعال می‌کند که در نهایت موجب فعالسازی کمپلکس پروتئینی هدف را پامایسن در پستانداران (Mtor) و افزایش سنتز پروتئین عضلانی می‌شود (۵). ۲. استرس متابولیکی که با انجام ست‌هایی با وزنه سبک و تکرار بالا تا رسیدن به سوزش عضلانی ایجاد می‌گردد که محققان مهمترین عامل فعالسازی مسیرهای پیامرسانی هایپرتروفی را در این ساز و کار، تولید لاکتات می‌دانند (۶، ۷). ۳. ریز آسیب‌های عضلانی که به طور ویژه توسط انجام بخش برون‌گرای انقباض عضلانی ایجاد می‌شود (۸). تمرینات مقاومتی علاوه بر افزایش توان و قدرت عضلانی، بر ساختار و عملکرد بافت‌های همبند نیز تأثیر مثبت دارند (۹). همچنین، تمرینات قدرتی با توجه به شدت، حجم و مدت جلسه تمرینی باعث ایجاد پاسخ‌های هورمونی نیز می‌شوند. از مهمترین پاسخ‌های هورمونی می‌توان به افزایش کورتیزول که یک هورمون کاتابولیکی است و افزایش تستوسترون که یک هورمون آنابولیکی است اشاره کرد (۱۰). در ورزش‌های استقامتی طولانی مدت و همچنین در تمرینات مقاومتی یا تناوبی با شدت بسیار بالا، مقادیر هورمون کورتیزول برای کمک به تامین انرژی عضلات از طریق گلوکوکورتیکوئید و لیپوئید افزایش می‌یابد (۱۱). از طرفی دیگر، تمرینات قدرتی با شدت بالا باعث افزایش مقادیر تستوسترون نیز می‌شوند، این افزایش برای کمک به رشد و بازسازی عضلات صورت می‌گیرد (۱۲). در حالی که جلسات تمرینی طولانی می‌تواند حتی موجب کاهش سطح تستوسترون گردد (۱۳). نسبت تستوسترون به کورتیزول یک شاخص مناسب برای اندازه‌گیری وضعیت آنابولیکی و کاتابولیکی عضلات است (۱۴). با توجه به ساز و کارهای هایپرتروفی و کسب قدرت عضلانی که توضیح داده شد، ایجاد و توسعه تکنیک‌های تمرینی نوین برای حفظ و بهبود توانایی‌های عضلانی حائز اهمیت است. حفظ ساختار و کارایی عضلات نقش مهمی در ارتقاء کیفیت زندگی و عملکرد بهینه دارد؛ بنابراین، متخصصان توانبخشی و ورزشی به طور مستمر در جستجوی روش‌ها و تکنیک‌های جدیدی هستند که به بهبود خصوصیات فیزیولوژیک و آمادگی بدنی کمک کنند. یکی از این تکنیک‌ها که کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است، تمرین مقاومتی با شیوه انقباضات شبه‌ایزومتریک اکسنتریک (EQI) است که توسط یوری ورخوشانسکی پایه‌ریزی شده است. این روش ترکیبی از انقباض‌های ایزومتریک (انقباض عضلانی بدون تغییر در طول عضله) و اکسنتریک (انقباض برون‌گرا) است. در مرحله اول، ورزشکار باید یک انقباض ایزومتریک را تحت بار سنگین حفظ کند. این کار برای ایجاد تنش مکانیکی بالایی در عضله انجام می‌شود. در مرحله دوم، پس از حفظ انقباض ایزومتریک، ورزشکار به آرامی بار را پایین می‌آورد یا به عبارتی دیگر، عضله را به آرامی طویل می‌کند در حالی که مقاومت را حفظ کرده است. اجرای این مرحله اکسنتریک منجر به تنش مکانیکی و ایجاد ریزآسیب‌های بیشتری در عضلات می‌شود (۱۵). از لحاظ تئوری، بخش‌های شبه ایزومتریک و اکسنتریک طولانی‌مدت در تمرینات EQI می‌توانند باعث ایجاد تنش مکانیکی و متابولیکی قابل توجهی شوند که در نهایت به بهبود ظرفیت کاری، افزایش حجم عضلات و تقویت سلامت بافت‌های همبند کمک می‌کند (۱۶، ۱۷).

اگرچه مطالعات محدودی درباره EQI انجام شده است، اما گزارش‌هایی از افزایش ضخامت و قدرت عضلانی، بهبود محدوده حرکتی (ROM)، تغییر در ساختار عضلانی از جمله افزایش طول فاشیا، ایجاد تنش متابولیکی و پاسخ‌های هورمونی در عضلات و افزایش استحکام تاندون‌ها بعد از استفاده از تمرینات EQI وجود دارد (۱۵، ۲۱-۱۸). اورانچوک و همکاران در پژوهشی که روی پروفایل کینماتیک تمرینات EQI انجام دادند به این نتیجه رسیدند که این تمرینات باعث تنش مکانیکی قابل توجهی به خصوص در بخش آغازین دامنه حرکتی می‌شوند (۲۲). در پژوهشی دیگر هندرسون و همکاران که تأثیر تمرینات مقاومتی

ایزوتونیک و EQI را بر قدرت و هایپرتروفی عضلانی بررسی کرده بودند، گزارش کردند که اثر تمرینات ایزوتونیک بیشتر بوده ولی تمرینات EQI نیز در افراد تمرین نکرده باعث هایپرتروفی و افزایش قدرت معنی داری شده بودند (۱۸). تمرینات EQI به ویژه برای ورزشکارانی که در معرض آسیب‌های مکرر قرار دارند، سودمند است، زیرا ورزشکار در این شیوه تمرینی با کنترل بیشتری حرکات را انجام می‌دهد و خطر آسیب مفصلی و عضلانی ناشی از حرکات سریع و انفجاری به حداقل می‌رسد. همچنین نشان داده شده است که انقباضات استریک مقاومت عضلات را در مقابل صدمات افزایش می‌دهند (۲۳، ۲۴). از آنجایی که تمرینات EQI با شدت بالایی انجام می‌شوند، می‌توانند به صرفه جویی در زمان نیز کمک کنند و جلسات تمرینی EQI نسبت به سایر شیوه‌ها معمولاً کوتاه‌تر می‌باشد (۲۵). این موضوع در افرادی که به دلیل کمبود زمان از مزایای تمرینات قدرتی محروم می‌مانند بیشتر حائز اهمیت می‌باشد. همچنین، شدت بالا تاوم با مدت زمان پایین جلسات این تمرینات ممکن است باعث افزایش نسبت تستوسترون به کورتیزول شود که در این صورت وضعیت آنابولیکی و سنتز پروتئین در عضلات ایجاد خواهد شد. دلتیاری و همکاران در مطالعه‌ای نشان دادند که تمرینات EQI به اندازه تمرینات متداول می‌توانند باعث بهبود تولید هورمون‌های گلوبولین متصل به هورمون جنسی، دهیدرواپی آندروسترون، دهیدرواپی آندروسترون-سولفات استروئیدی شوند، بنابراین در صورت لزوم می‌توانند جایگزین تمرینات متداول شوند (۲۶). با این حال، تاثیر تمرینات EQI با شدت کم به همراه محدودیت جریان خون (BFR) که روش نوین در بهبود اثر بخشی تمرین با شدت کم است در هورمون‌های مرتبط با وضعیت آنابولیکی مانند تستوسترون و کورتیزول، هایپرتروفی عضلانی و توان بررسی نشده است.

یافته‌ها مطالعات قبلی نشان داده است که تمرینات مقاومتی با BFR برای بهبود قدرت، توان و هایپرتروفی با سازوکارهایی که احتمالاً شامل ایجاد استرس متابولیک و تورم سلولی و افزایش تغییر به تارهای تند انقباض است، موثر می‌باشد (۲۷، ۲۸). با این حال، تأثیر آن بر سطح هورمون‌ها کمتر شناخته شده است. برخی مطالعات نشان داده‌اند که تمرینات مقاومتی مختلف با شدت کم به همراه BFR باعث افزایش میزان سرمی تستوسترون، کاهش کورتیزول و بهبود نسبت تستوسترون به کورتیزول در زنان و مردان می‌شود (۲۹، ۳۰) مطالعات دیگر نشان دادند که روی سطح سرمی تستوسترون یا کورتیزول تأثیر معناداری ندارد که ممکن است نشان دهنده وجود مسیرهای دیگری است که باعث سازگاری عضلانی می‌شود (۳۱). بیشتر یافته‌های قبلی از BFR به‌عنوان یک روش تمرینی مناسب، به‌ویژه برای تمرینات با وزنه سبک پشتیبانی می‌کنند، اما نیاز به تحقیقات بیشتری در مورد اثرات هورمونی تمرینات BFR، به‌ویژه با توجه به اثرات بالقوه مرتبط با استرس ناشی از افزایش کورتیزول، می‌باشد.

با توجه به پتانسیل‌های موجود در تمرینات EQI به دلیل استفاده از هر دو نوع انقباض ایزومتریک و اکسنتریک در کنار می‌تواند مسیرهای سیگنالینگ، هورمونی و تنش مکانیکی بیشتری نسبت به انقباضات ایزومتریک یا پویا به تنهایی داشته باشد. با این حال، طبق مطالعات قبلی کسب هایپرتروفی و قدرت و توان نیاز به انجام تمرینات با شدت بالاست که امکان اجرای آن برای افراد مبتدی، مسن یا افرادی که وزنه تمرینی نداشتند میسر نباشد. همچنین، در مطالعه‌ای نشان داده شده است که تمرینات برون‌گرا با محدودیت جریان خون بهتر از تمرینات درون‌گرا با محدودیت خون باعث افزایش قدرت می‌شود (۳۲). بنابراین، این مطالعه برای اولین بار تأثیر همزمان تمرینات مقاومتی با انقباضات شبه ایزومتریک برون‌گرا با شدت کم را به همراه محدودیت جریان خون بر هایپرتروفی عضلانی، توان عضلات و هورمون‌های مرتبط با وضعیت آنابولیکی بررسی کند تا در صورت اثر بخش بودن جایگزین تمرینات انقباضات شبه ایزومتریک برون‌گرا با شدت بالا در ورزشکاران، افراد مبتدی و توانبخشی ورزشکاران شود.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: برای این پژوهش ۳۶ نفر به صورت داوطلبانه از مردان فوتسالیست شهرستان تکاب با دامنه سنی ۳۰-۱۸ سال انتخاب شدند. روش نمونه‌گیری به صورت همدمند از بین فوتسالیست‌های شهرستان تکاب بود. تقسیم بندی افراد در گروه‌ها به صورت تصادفی ساده بود. تعداد نمونه با استفاده از نرم افزار نرم افزار جی.پاور نسخه ۳/۱، با اندازه اثر ۰/۴۰، سطح آلفای ۰/۰۵ و توان ۰/۹۵/۳۰ نفر برآورد شد که برای ریزش احتمالی آزمودنی‌ها ۳۶ نفر در نظر گرفته شد. برای انتخاب آزمودنی‌ها ابتدا فرم مشخصات فردی و پرسشنامه آمادگی برای انجام فعالیت بدنی توزیع شد و پس از بررسی فرم‌ها، افراد واجد شرایط انتخاب

شدند. میانگین شاخص توده بدنی (BMI) آزمودنی‌ها ۲۴/۰۵ بود. بعد از یک جلسه آشناسازی با تمرین و آزمون گیری، آزمودنی‌ها آگاهانه فرم رضایت کتبی برای شرکت در پژوهش را امضا کردند. معیارهای ورود برای شرکت در این پژوهش، داشتن سلامت جسمانی، داشتن سابقه فعالیت منظم ورزشی، عدم مصرف دخانیات و داروها و مکمل‌های ورزشی بود. سلامت جسمانی این افراد توسط پزشک تأیید شد، به طوری که فاقد هرگونه محدودیت جسمی و حرکتی از جمله چاقی، بیماری‌های قلبی عروقی و بیماری‌های متابولیک بودند. مکان و ابزار مورد استفاده برای آزمودنی‌ها نیز یکسان بود. معیارهای خروج از مطالعه شامل غیبت بیش از ۳ جلسه و آسیب ورزشی در حین پژوهش بود. در هر گروه ۲ نفر به دلیل آسیب و یا موارد شخصی از مطالعه خارج شدند و جمعاً ۳۰ نفر و هر گروه ۱۰ نفر توانستند تا انتهای مطالعه همکاری کنند. پژوهش حاضر در کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه ارومیه با کد IR.URMIA.REC.1403.005 به تصویب رسید.

روش اجرای پژوهش: پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی با طرح آزمایشی پیش آزمون و پس آزمون، در دو گروه تجربی و یک گروه کنترل به اجرا گردید. ۳۶ فرد انتخاب شده به صورت تصادفی به ۳ گروه ۱۲ نفره شامل گروه تمرین EQI، گروه تمرین EQI با شدت کم و محدودیت جریان خون (EQI + BFR) و گروه کنترل تقسیم شدند. قبل از شروع برنامه تمرینی، به مدت یک هفته آشناسازی آزمودنی‌ها با پروتکل و فضای تمرین و نحوه اجرای تمرینات انجام شد. وزن آزمودنی‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال SECA (ساخت آلمان) با دقت ۰/۰۱ کیلوگرم و قد آن‌ها با استفاده از قد سنج SECA با دقت ۰/۱ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. هایپرتروفی ران توسط اندازه‌گیری آنتروپومتریکی تغییرات در سطح مقطع عرضی (CSA) و بر اساس مطالعه ناپیک و همکاران انجام شد؛ ابتدا محیط ران توسط متر نواری اندازه‌گیری شد، سپس از کالیپر برای اندازه‌گیری چربی زیر پوستی ران در قسمت میانی و از کولیس برای اندازه‌گیری فاصله بین اپی کندیل داخلی و خارجی استخوان ران استفاده شد. داده‌های محاسباتی در فرمول زیر وارد شدند (۳۳):

$$\text{Thigh}^{\text{CSA}} = 0.649 \times ((\text{CT}/\pi - \text{SQ})^2 - (0.3 \times d_E)^2)$$

که در آن $\text{Thigh}^{\text{CSA}}$ سطح مقطع عضله ران (cm^2)، CT محیط ران (cm)، SQ چربی زیر پوستی چهار سر ران بر حسب (cm) و d_E فاصله بین اپی کندیل داخلی و خارجی ران (cm) است.

حجم عضلات دو سر بازویی با ارزیابی سطح مقطع عرضی عضله جلو بازو به وسیله کولیس و متر نواری و چربی زیر پوستی دو سر بازو با استفاده از کالیپر اندازه‌گیری گردید. سپس اعداد به دست آمده در فرمول بروش قرار داده شدند:

$$\text{ARM}^{\text{CSA}} = \pi ((\text{CA}/2\pi) - (\text{TA}/2))^2 - 5.5$$

که در آن CA محیط دور بازو و TA چین پوستی بازو است.

ارزیابی توان پا توسط آزمون پرش عمودی صورت گرفته و با استناد به معادله جانسون- بهاموند تخمین زده شد (۳۴):

$$\text{Peak power (W)} = 78.5 \times \text{VJ (cm)} + 60.6 \times \text{mass (kg)} - 15.3 \times \text{height (cm)} - 1308$$

$$\text{Average power (W)} = 41.4 \times \text{VJ (cm)} + 31.2 \times \text{mass (kg)} - 13.9 \times \text{height (cm)} + 431$$

که در این فرمول‌ها، peak power توان اوج، Average power توان میانگین، VJ پرش عمودی، mass وزن شخص و height قد فرد می‌باشد.

از آزمودنی‌ها آزمون یک تکرار بیشینه (1RM) براساس فرمول بریزکی برای تعیین وزنه مناسب برای اجرای حرکات برنامه تمرینی، گرفته شد.

پروتکل تمرینی

در گروه‌های تمرینی EQI ورزشکاران حرکت را در مرحله اکسنتریک با زاویه ۳۰ درجه آغاز کرده و سعی می‌کردند موقعیت مفصل را تا زمانی که ممکن بود در انقباض ایزومتریک حفظ نمایند، یا برای مدت معینی، قبل از حرکت ارادی یا غیر ارادی به یک زاویه مفصل دیگر یا توقف حرکت انجام دهد. تنش عضلانی ایزومتریک و افزایش زاویه مفصل تا انتهای دامنه حرکتی در فاز اسنتریک ادامه می‌یافت. مدت تحت تنش بودن عضله در هر ست ۳۰ الی ۹۰ ثانیه طول می‌کشید. هر ست شامل یک تکرار بود و آزمودنی‌ها بین ست‌ها دو برابر زمانی که عضلات تحت تنش بودند استراحت داشتند. آزمودنی‌ها با شدت کمتری نسبت به گروه EQI حرکات را اجرا می‌کردند. گروه کنترل نیز به فعالیت عادی خود که تمرینات رشته فوتسال بود، انجام می‌دادند. تمرین دو روز در هفته و به مدت شش هفته انجام شد. در جلسه اول پس از گرم کردن عمومی و تخصصی، ۵ حرکت ورزشی شامل پرس پا دستگاه، پشت ران خوابیده دستگاه، جلو بازو رو میز لاری، پشت بازو ایستاده سیمکش، جلو بازو ایستاده با هالتر انجام شد. و در جلسه دوم ۵ حرکت ورزشی جلو ران دستگاه، هاگ پا دستگاه، جلو بازو با دمبل، پشت بازو سیمکش از بالای سر، جلو بازو چکشی بعد از گرم کردن استاندارد انجام شد. خلاصه پروتکل‌های تمرینی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. برنامه تمرینی گروه شبه ایزومتریک برونرا (EQI) و گروه شبه ایزومتریک برونرا کم شدت با محدودیت جریان خون (EQI+BFR)

روز دوم	روز اول	نوع تمرین	
۴x۶۰-۹۰ S	۳x۶۰-۹۰ S	EQI	هفته اول
۶۵-۶۰% 1RM	۶۵-۶۰% 1RM	EQI+BFR	
۴x۶۰-۹۰ S	۳x۶۰-۹۰ S	EQI	هفته دوم
۶۵-۶۰% 1RM	۶۵-۶۰% 1RM	EQI+BFR	
۴x۶۰-۹۰ S	۳x۶۰-۹۰ S	EQI	هفته سوم
۶۵-۶۰% 1RM	۶۵-۶۰% 1RM	EQI+BFR	
۴x۶۰-۹۰ S	۳x۶۰-۹۰ S	EQI	هفته چهارم
۶۵-۶۰% 1RM	۶۵-۶۰% 1RM	EQI+BFR	
۴x۶۰-۹۰ S	۳x۶۰-۹۰ S	EQI	هفته پنجم
۶۵-۶۰% 1RM	۶۵-۶۰% 1RM	EQI+BFR	

		۳۰-۳۵% 1RM	۳۰-۳۵% 1RM
هفته ششم	EQI	۳x۱۵-۳۰ S	۳x۱۵-۳۰ S
		۸۰-۸۵% 1RM	۸۰-۸۵% 1RM
	EQI+BFR	۳x۱۵-۳۰ S	۳x۱۵-۳۰ S
		۳۰-۳۵% 1RM	۳۰-۳۵% 1RM

S: ثانیه، 1RM: یک تکرار بیشینه، EQI: شبه ایزومتریک برونگرا، EQI+BFR: شبه ایزومتریک برونگرا با محدودیت جریان خون.

نحوه اعمال محدودیت جریان خون

در گروه تمرینی EQI + BFR محدودیت جریان خون بر اساس روش ویلسون و همکاران (۲۰۱۳) به صورت کاربردی انجام شد که در این روش با استفاده از بستن زانوبند کشی در ناحیه دیستال ران و بازو محدودیت جریان خون اعمال می‌شد و شدت بستن باند کشی با مقیاس درک فشار درد برابر ۷ از ۱۰ اعمال می‌گردید (۳۵). با توجه به این که از زانوبندهای کشی استفاده کردیم که یک روش کاربردی نسبت به کاف هابیت عوارض جانبی گزارش نشده است.

روش های آزمایشگاهی: نمونه‌های خونی به صورت ۱۲ ساعت ناشتایی در ۴۸ ساعت پیش از اولین جلسه تمرینی و پس از آخرین جلسه تمرینی از جمع آوری شد. برای نمونه‌گیری در بین ساعات ۸ تا ۹ صبح در آزمایشگاه از سیاهرگ دست چپ هر آزمودنی ۵ میلی لیتر خون در وضعیت نشسته و دو حالت استراحت خون‌گیری شد. سپس، نمونه خونی با سرعت ۳۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه و در دمای ۴ درجه سانتیگراد در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه سانتریفیوژ شدند و سرم حاصل تا زمان استخراج داده‌ها در دمای ۲۴- درجه سانتیگراد نگهداری شدند. برای سنجش سطح سرمی کورتیزول و تستوسترون از روش الایزا و با استفاده از کیت‌های انسانی الایزا، به ترتیب با شماره کاتالوگ DKO001 و DKO002 متعلق به شرکت DiaMetra (ساخت کشور ایتالیا) استفاده شد.

تحلیل آماری: به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم SPSS نسخه ۲۴ استفاده گردید. ابتدا برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو ویلک و همگنی واریانس‌ها از آزمون لون استفاده شد. پس از تایید طبیعی بودن داده‌ها، برای تحلیل کلی فرضیه‌ها، تعامل زمان در گروه، از آزمون آنوای دو راهه ترکیبی با اندازه‌گیری مکرر (۳ گروه در ۲ زمان) و برای بررسی تفاوت بین گروهی از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد. تفاوت درون گروهی نیز با استفاده از آزمون T زوجی بررسی شد. سطح معنی‌داری برای تمام روش‌های آماری $p \leq 0.05$ در نظر گرفته شد.

نتایج

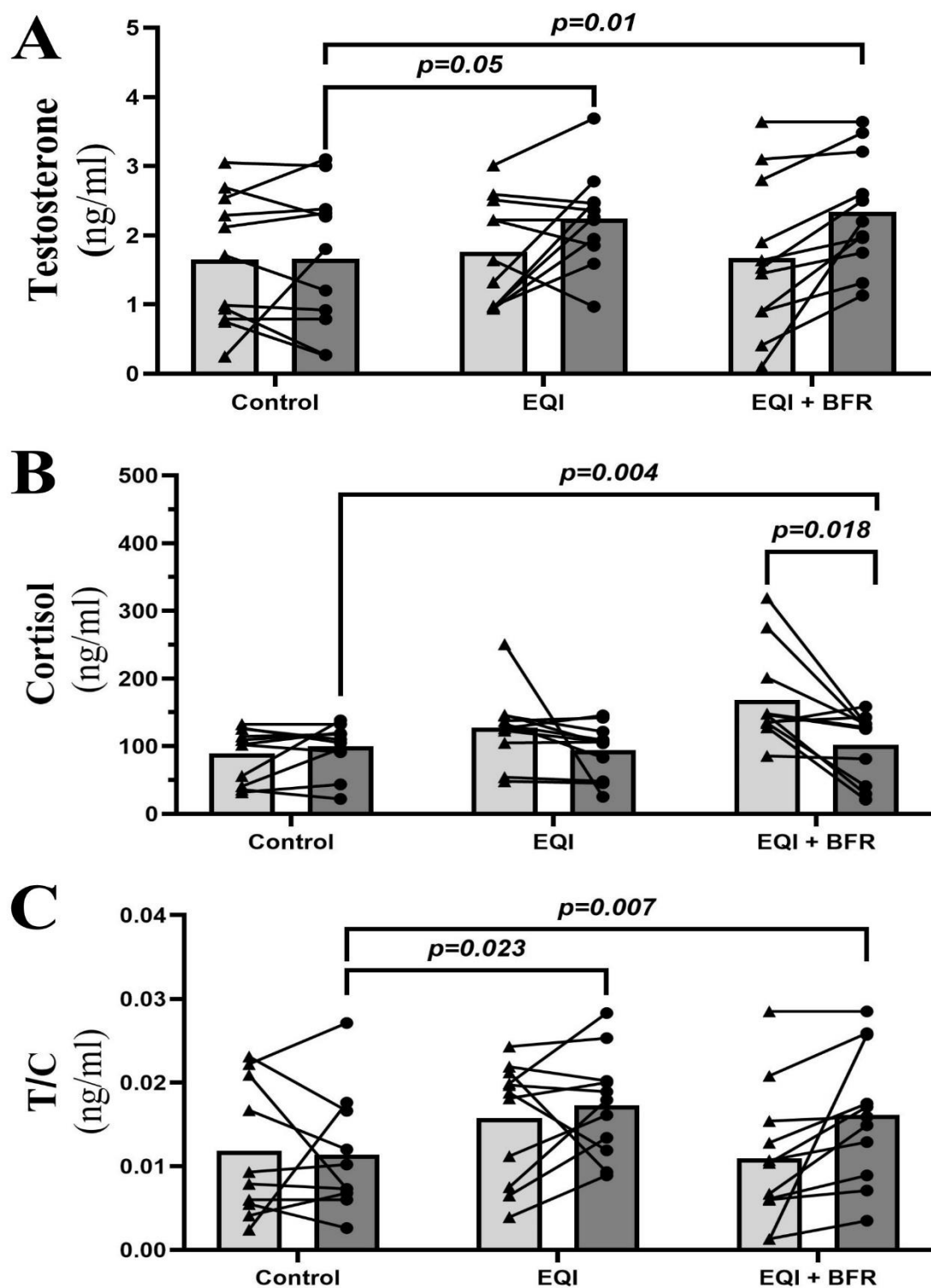
ویژگی‌های آنتروپومتریکی و توصیفی آزمودنی‌ها در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به نتایج آزمون آنوای ترکیبی (جدول ۳) اثر تعاملی زمان در گروه نشان داد که هر دوی تمرینات EQI و EQI + BFR بر مقادیر سرمی تستوسترون ($P=0.014$)، کورتیزول ($P=0.007$)، نسبت تستوسترون به کورتیزول ($P=0.005$) در مردان ورزشکار تاثیر معناداری داشت. نتایج آزمون تعقیبی نیز نشان داد که دوی تمرینات EQI و EQI + BFR باعث افزایش معنادار میزان تستوسترون (مقادیر P به ترتیب ۰/۰۳ و ۰/۰۲)، نسبت تستوسترون به کورتیزول (مقادیر P به ترتیب ۰/۰۲۳ و ۰/۰۰۷) نسبت به گروه کنترل شدند. گروه EQI+BFR کاهش معناداری در کورتیزول نسبت گروه کنترل داشت ($P=0.005$). در مقایسه درون گروهی فقط در شاخص کورتیزول و در گروه EQI + BFR + تغییرات معنی‌دار بود و نتایج نشان داد ۶ هفته تمرینات EQI + BFR می‌تواند سطح کورتیزول سرم را نسبت به قبل از مداخله تمرینی کاهش دهد ($P=0.018$) (نتایج در شکل ۱۱ ارائه شده است).

جدول ۲. ویژگی‌های آنتروپومتریکی و توصیفی آزمودنی‌ها

متغیر	گروه	گروه کنترل n = ۱۰	گروه EQI n = ۱۱	گروه EQI + BFR n = ۱۰
سن (سال)		۲۵/۷±۴	۱۹/۹±۶	۲۳/۸±۵
قد (سانتی متر)		۱۷۶/۴±۲	۱۷۷/۵±۳	۱۷۷/۶±۳
وزن (کیلوگرم)		۷۴/۱±۲	۷۶/۱±۶	۷۶/۶±۶
BMI (kg/m2)		۲۳/۴۸±۲/۶۲	۲۴/۲۹±۳	۲۴/۳۹±۲

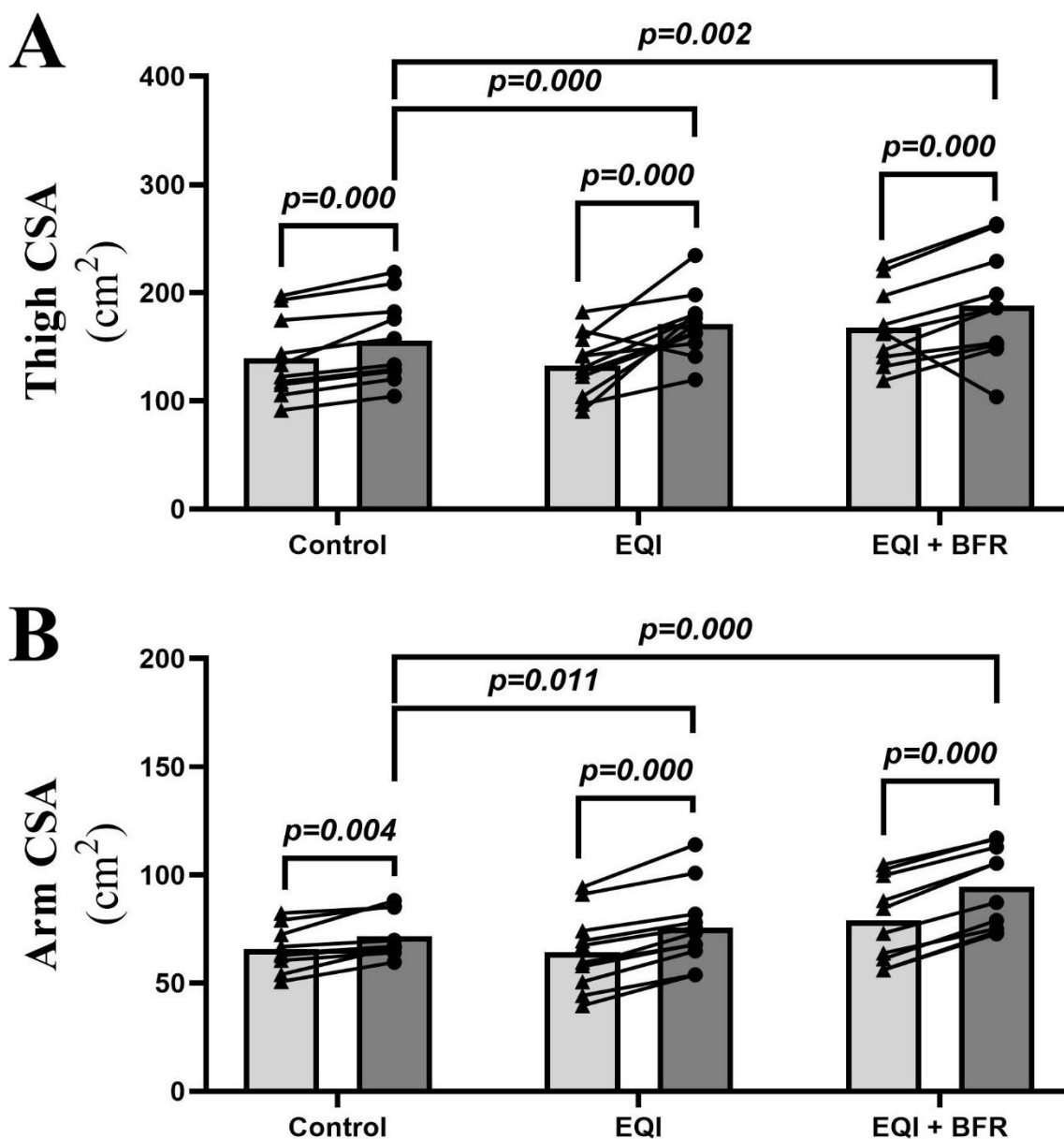
جدول ۳. نتایج کلی مربوط به آزمون آنوای دو راهه با اندازه گیری مکرر در متغیرهای وابسته پژوهش

متغیرها	ارزیابی	تعامل زمان		تعامل زمان در گروه		درجه آزادی (df)
		مقادیر P	اندازه اثر	مقادیر P	اندازه اثر	
تستوسترون		۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۲۵	۲
کورتیزول		۰/۰۳۸	۰/۱۳۶	۰/۰۰۵	۰/۲۹۶	۲
T/C		۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۰۵	۰/۲۹	۲
Thigh ^{CSA}		۰/۰۰۱	۰/۹۰	۰/۰۰۱	۰/۴۹	۲
ARM ^{CSA}		۰/۰۰۱	۰/۸۹	۰/۰۰۱	۰/۵۰	۲
توان میانگین پا		۰/۰۰۱	۰/۷۶	۰/۰۰۹	۰/۴۶	۲
توان اوج پا		۰/۰۰۱	۰/۷۵	۰/۰۰۹	۰/۲۸	۲



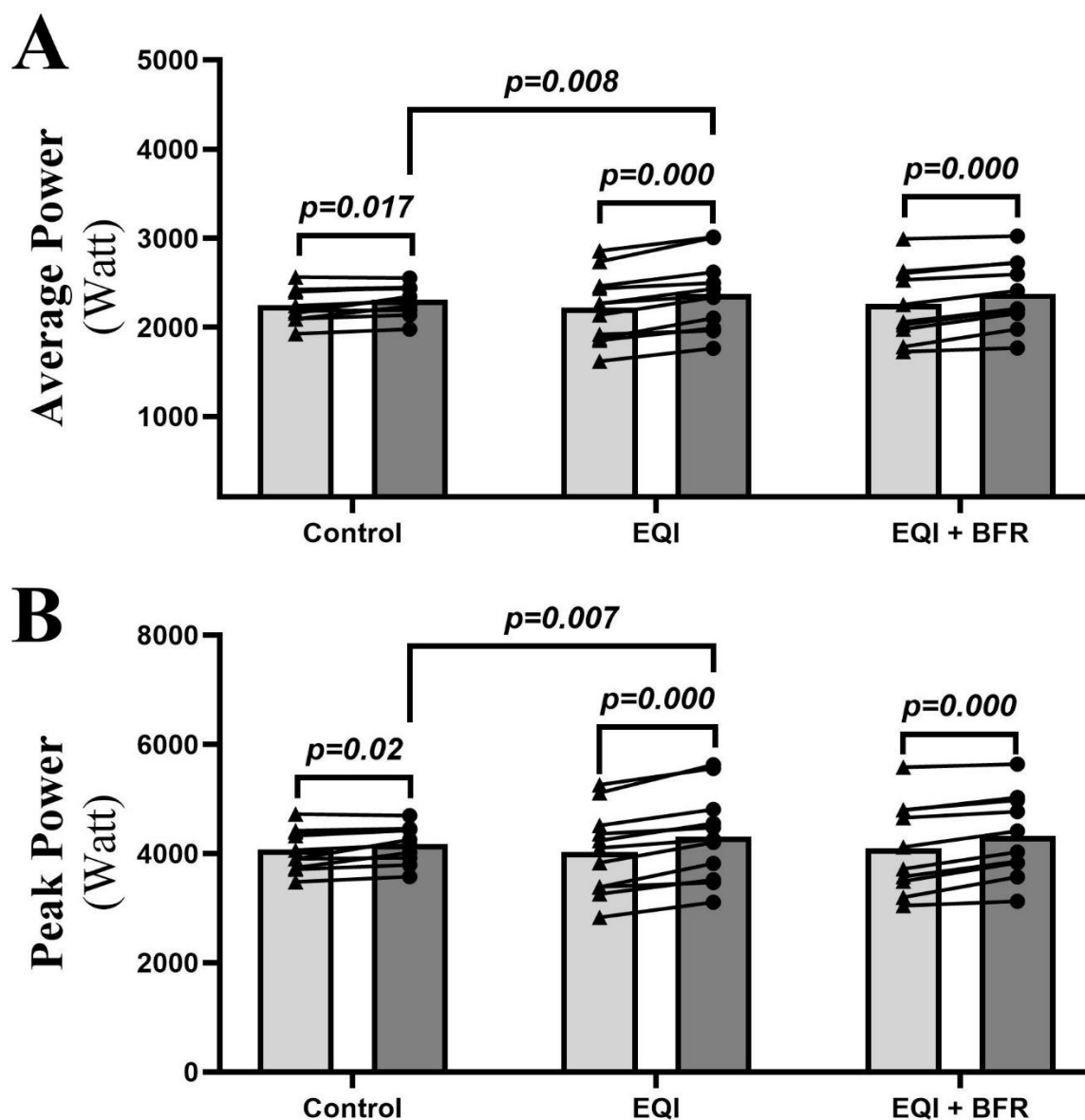
شکل ۱. نتایج تغییرات در سطوح تستوسترون (A)، کورتیزول (B) و نسبت تستوسترون به کورتیزول (C). $\blacktriangle$: پیش آزمون، $\bullet$: پس آزمون.

در مورد هایپرتروفی و توان، نتایج اثر تعاملی گروه $\times$ زمان نشان داد که ۶ هفته تمرین EQI و EQI + BFR در افزایش سطح مقطع ران ($P=0/001$)، هایپرتروفی بازو ($P=0/001$) تاثیر معنی‌دار دارد. با توجه به نتایج آزمون تعقیبی، هر دوی تمرینات EQI و BFR باعث افزایش معنی‌دار سطح مقطع عضلات بازو (مقادیر P به ترتیب $0/011$ و $0/001$) و ران (مقادیر P به ترتیب $0/001$ و $0/002$)، نسبت به گروه کنترل شده بودند. در هایپرتروفی بالاتنه و پایین تنه، تمام گروه‌ها تفاوت معنی‌داری را در مقایسه درون گروهی نسبت به پیش آزمون نشان دادند (شکل ۲).



شکل ۲. نتایج تغییرات در سطح مقطع ران (A) و سطح مقطع بازو (B). $\blacktriangle$: پیش آزمون، $\bullet$: پس آزمون.

در میانگین و اوج توان، نتایج گروه $\times$ زمان نشان داد که ۶ هفته تمرین EQI و EQI + BFR بر میانگین ($P=0/009$) و اوج توان عضلات پا ($P=0/009$) اثر معنی‌دار دارد. نتایج بین گروهی نشان داد که گروه EQI افزایش معناداری در اوج ($P=0/007$) و میانگین توان پا ($P=0/008$) نسبت به گروه کنترل داشت و تفاوت معنی‌داری بین EQI + BFR و گروه کنترل مشاهده نشد. در اوج و میانگین توان، تمام گروه‌ها تفاوت معنی‌داری را در مقایسه درون گروهی نسبت به پیش آزمون نشان دادند (شکل ۳). در هیچ یک از متغیرها تغییرات معنی‌داری بین دو گروه تمرینی مشاهده نشد.



شکل ۳. نتایج مقایسه بین گروهی و درون گروهی در توان متوسط (A) و توان اوج (B). $\blacktriangle$: پیش آزمون، $\bullet$: پس آزمون.

بحث و نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر شش هفته تمرینات EQI با شدت بالا و EQI + BFR با شدت کم بر میزان سرمی تستوسترون، کورتیزول و هایپرتروفی عضلانی و توان در مردان فعال ورزشکار انجام شده است. به طور کلی نتایج نشان داد که هر دو تمرین EQI با و بدون BFR باعث افزایش میزان سرمی تستوسترون و نسبت تستوسترون به کورتیزول، هایپرتروفی عضلانی نسبت به گروه کنترل شدند بدون اینکه بین دو گروه تفاوت معنی داری باشد. اما سطوح کورتیزول تنها در گروه EQI + BFR با شدت کم کاهش معنی داری داشت و و توان عضلات پایین تنه تنها در گروه EQI افزایش یافته است. فرضیه های پژوهش حاضر آماری مورد تایید قرار گرفت.

تمرینات EQI در مقایسه با گروه کنترل باعث افزایش میزان سرمی تستوسترون و تستوسترون/کورتیزول (T/C) شد ولی نتوانست کورتیزول سرم را کاهش دهد. اما تمرینات EQI + BFR علاوه بر افزایش تستوسترون، توانستند در مقایسه با گروه کنترل سطح سرمی کورتیزول را نیز کاهش دهند. مطالعه ای یافت نشد که به طور مستقیم اثر تمرینات EQI با و بدون BFR را بر مقادیر سرمی تستوسترون و کورتیزول در ورزشکاران بررسی کرده باشد. با این حال، دوراند و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه که انجام داده بودند نشان دادند که انقباضات اسنتریک می تواند باعث افزایش سطح تستوسترون سرمی شود (۳۶). واکزی و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که ۱۰ هفته تمرینات اسنتریک بر افزایش سطح تستوسترون در مردان مسن اثری ندارد ولی می تواند مقدار افزایش کورتیزول را بعد از هر برنامه تمرینی کاهش دهد (۳۷). مطالعات قبلی نشان داده است که انقباضات ایزومتریک می تواند به صورت حاد سطح تستوسترون را افزایش داده و سطح کورتیزول را کاهش دهد ولی مدارک علمی قابل توجهی در رابطه با تاثیر طولانی مدت آن وجود ندارد (۳۸). در مطالعه ای که توسط لوبرز و همکاران انجام گرفت، تاثیر هفت هفته BFR را بر تستوسترون و کورتیزول بزاقی بازیکنان فوتبال آمریکایی بررسی کردند و گزارش کردند که این تمرینات اثر معنی داری روی افزایش تستوسترون و نسبت تستوسترون به کورتیزول دارد (۳۹). امانی شلمزاری و همکارانش (۲۰۲۰) افزایش نسبت تستوسترون به کورتیزول را بعد از تمرینات ویژه فوتسال به همراه محدودیت جریان خون در مردان ورزشکار نشان دادند (۴۰). مطالعه دوجی و همکاران نیز همسو با مطالعه حاضر نشان داد که انجام تمرینات تعلیقی با شدت کم به همراه BFR باعث افزایش میزان سرمی تستوسترون، نسبت تستوسترون به کورتیزول و عدم تغییر کورتیزول شد و تفاوتی با تمرینات تعلیقی با شدت زیاد نداشت (۳۰). در برخی مطالعات نیز که تاثیر روش تمرینی BFR را بر مقادیر تستوسترون و کورتیزول خون بررسی کردند تغییری در آن ها مشاهده نکردند (۴۱). دلایل ناهمسوئی مطالعات ممکن است شدت ناکافی تمرینات و نداشتن متدهایی مانند محدودیت جریان خون باشد. تمرینات EQI تا حد ناتوانی انجام می گیرند و زمان تحت تنش عضله در آن ها قابل توجه است، همچنین انقباضات اسنتریک در آن ها موجب ریز آسیب های عضلانی بیشتری نسبت به تمرینات کانسنتریک می شود. همین موضوع می تواند باعث افزایش سطح تستوسترون و شروع شرایط آنابولیکی و فرآیندهای فیزیولوژیکی بازبایی بعد از تمرین، برای مقابله با استرس وارد شده شود (۴۲). تمرینات BFR اغلب از طریق ایجاد استرس متابولیکی و شرایط هیپوکسی ترشح تستوسترون بعد از تمرین را برای شروع فرآیندهای بازبایی تحریک می کنند (۴۳). سطح کورتیزول نیز که یک هورمون کاتابولیکی است به دلیل بازخورد منفی که در سیستم اندوکرائینی وجود دارد برای ایجاد شرایط آنابولیکی بعد از تمرین، کاهش می یابد. از طرفی دیگر بعد از تمرین سیستم عصبی پاراسمپاتیک برای افزایش بازبایی غالب می شود و به مرور سازوکارهای فیزیولوژیکی بدن نسبت به شرایط استرسی سازگاری پیدا کرده و محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-آدرنال که مسئول ترشح کورتیزول در شرایط استرسی می باشد، کمتر تحریک می شود که در نهایت ترشح کورتیزول کاهش می یابد (۴۲).

در مطالعه حاضر شش هفته تمرینات EQI و EQI + BFR توانستند سطح مقطع ران و بازو را در آزمودنی ها در مقایسه با گروه کنترل افزایش دهند. هندرسون (۲۰۲۴) در مطالعه ای که تاثیر انقباضات ایزوتونیک را با EQI مقایسه کرده بود، گزارش کرد که هر دو روش تمرینی قابلیت افزایش هایپرتروفی و قدرت عضلانی را دارا می باشند (۱۸). همچنین، هندرسون و همکاران (۲۰۲۵) در مطالعه دیگر که تفاوت جنسیت را در فعال سازی عضلات بازو توسط دو روش تمرینی EQI و ایزوتونیک بررسی کرده بودند،

گزارش کردند که زنان نسبت به مردان قادر به فعال‌سازی بیشتری با روش تمرینی EQI می‌باشند که در طولانی مدت می‌تواند باعث افزایش هایپرتروفی و قدرت عضلانی قابل توجه شود (۴۴). در مطالعات متعددی تاثیر تمرینات اسنتریک و ایزومتریک بر افزایش هایپرتروفی عضلانی، گزارش شده است، حتی در برخی موارد نشان داده شده است که تمرینات اسنتریک می‌توانند باعث هایپرتروفی بیشتری نسبت به تمرینات کانسنتریک شوند (۱۷، ۴۵، ۴۶). انقباضات اسنتریک تنش مکانیکی و متابولیکی قابل توجهی به عضله وارد می‌کنند و در هر دو مورد باعث فعال‌سازی کمپلکس یک هدف راپامایسین در پستانداران (mTORC1) که شاهره اصلی سنتز پروتئین و هایپرتروفی می‌باشد می‌شوند (۴۷). همچنین، با ایجاد ریز آسیب‌ها باعث فعال‌سازی بیشتر سلول‌های ماهواره‌ای از طریق ایجاد التهاب و فعال‌سازی عوامل تنظیم‌گر مایوژنیک (MRFs) می‌شوند که نقش مهمی در افزایش پروتئین سازی و بازیابی دارند (۴۸). هایپرتروفی ایجاد شده با تمرینات BFR در عضلات نیز اغلب توسط ایجاد استرس متابولیکی و هیپوکسی و از طریق افزایش سطح لاکتات و فعال‌سازی عامل ۱-آلفا القاشونده توسط هیپوکسی (HIF-1α) می‌باشد و توسط مدارک علمی به خوبی حمایت می‌شود (۴۹، ۵۰).

نتایج این مطالعه نشان داد که ۶ هفته تمرینات EQI می‌تواند باعث افزایش توان در پایین تنه شود. لیچن و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای تاثیر تمرینات EQI را بر ویژگی‌ها مکانیکی و زوایای نیروی گشتاور اوج بررسی کردند و چنین نتیجه گرفتند که EQI می‌تواند به طور ویژه‌تری موجب افزایش نیروی گشتاور در زوایایی به خصوص شود. بنابراین، توان که تابعی از قدرت و سرعت است می‌تواند با این تمرینات افزایش یابد (۵۱). مدارکی نیز وجود دارد که تمرینات اسنتریک و ایزومتریک هردو می‌توانند موجب افزایش توان در عضلات شوند (۵۲، ۵۳). اگرچه، لوم و همکاران (۲۰۱۹) پیشنهاد کرده‌اند که تمرینات ایزومتریک زمانی موجب افزایش بیشتر توان می‌شوند که به صورت انفجاری و سریع در مقابله با یک مقاومت ثابت انجام گیرند (۴۶). به طور کلی تمرینات EQI که متشکل از انقباضات اسنتریک و ایزومتریک تا حده ناتوانی هستند، می‌توانند توسط سازوکارهایی مانند، فراخوانی بیشینه واحدهای حرکتی، افزایش هماهنگی و یکپارچگی واحدهای حرکتی در تولید نیرو، افزایش هایپرتروفی میو فیبریلی، افزایش سفتی بافت پیوندی عضله و تاندون و انتقال سریع‌تر قدرت به استخوان و کاهش سیگنال‌های محدود کننده عصب مرکزی در تولید نیرو، موجب افزایش قدرت عضلانی و به تبع آن افزایش توان شوند (۵۴). همچنین نشان داده شده است که تمرینات BFR با بار سبک تاثیر بیشتری در هایپرتروفی و افزایش قدرت عضلانی در عضلات بالاتنه و پایین تنه، در مقایسه با تمرینات توانبخشی عادی با بار سبک دارند و به اندازه تمرینات با وزنه متداول با بار سنگین نیز اثرگذار هستند. این موضوع می‌تواند به طور غیر مستقیم به معنی افزایش توان نیز تلقی شود چرا که یکی از عوامل افزایش توان افزایش قدرت محسوب می‌شود (۲۷). با این حال، در مطالعه حاضر تمرینات BFR افزایش معنی‌داری در توان عضلات پا نسبت به گروه کنترل نشان ندادند. روشن شدن ساز و کار اثرگذاری تمرینات BFR بر قدرت، سرعت و توان و رابطه این عوامل با حجم، شدت و تواتر این تمرینات نیاز به تحقیقات بیشتری دارد.

در کل نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تمرینات هر دو EQI با شدت زیاد و EQI + BFR با شدت کم می‌توانند موجب بهبود شرایط آنابولیکی و هورمونی (افزایش نسبت تستوسترون به کورتیزول) و افزایش هایپرتروفی عضلانی شوند. همچنین تمرینات EQI + BFR با شدت کم توانست سطح سرمی کورتیزول را کاهش دهد و از طرفی تمرینات EQI با شدت بالا اثر قابل توجهی در افزایش توان عضلات پا داشتند و EQI + BFR با شدت کم تاثیری نداشت. بنظر می‌رسد EQI + BFR با شدت کم با اثر بخشی در بهبود شرایط آنابولیکی و هایپرتروفی عضلانی مشابه تمرینات EQI با شدت زیاد جایگزین خوبی در ورزشکاران مبتدی، تمرین نکرده و یا توانبخشی باشد. با این حال، پی بردن به مکانیسم دقیق اثرگذاری تمرینات EQI با و بدون محدودیت جریان خون، بر جنبه‌های فیزیولوژیکی و مکانیکی عضله با توجه به درگیر کردن همزمان انقباضات اسنتریک و ایزومتریک نیاز به مطالعات بیشتری در آینده دارد.

محدودیت‌های پژوهش

محدودیت‌های پژوهش حاضر عدم بررسی هایپرتروفی عضلانی با ابزارالات پیشرفته و دقیق مانند تصویربرداری رزونانس مغناطیسی (MRI)، مدت زمان کم دوره تمرین، عدم بررسی در هر دو جنسیت خانم و آقا بود. پیشنهاد می گردد در مطالعات آتی از ابزارالات پیشرفته و دقیق برای اندازه گیری هایپرتروفی عضلانی استفاده گردد. همچنین، حداقل ۱۲ هفته تمرین و بویژه در خانم ها نیز اثر بخشی تمرینات EQI به همراه BFR بررسی گردد.

حمایت مالی

در این پژوهش از هیچ سازمان و شخصی حمایت مالی دریافت نشده است.

مشارکت نویسندگان

در این پژوهش نویسنده اول دانشجوی دکتری، نویسنده دوم استاد راهنما، نویسنده سوم و چهارم به عنوان استاد مشاور مشارکت و همکاری داشته اند.

تعارض منافع

در این پژوهش هیچگونه تعارض منافی وجود ندارد.

منابع

1. Laird RHt, Elmer DJ, Barberio MD, Salom LP, Lee KA, Pascoe DD. Evaluation of Performance Improvements After Either Resistance Training or Sprint Interval-Based Concurrent Training. J Strength Cond Res. 2016;30(11):3057-65.
2. Hughes DC, Ellefsen S, Baar K. Adaptations to Endurance and Strength Training. Cold Spring Harb Perspect Med. 2018 1;8(6). 10.1101/cshperspect.a029769
3. Schoenfeld BJ, Grgic J, Van Every DW, Plotkin DL. Loading Recommendations for Muscle Strength, Hypertrophy, and Local Endurance: A Re-Examination of the Repetition Continuum. Sports (Basel). 2021 Feb 22;9(2) .
4. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. J Strength Cond Res. 2010;24(10):2857-72.
5. Jacobs BL, Goodman CA, Hornberger TA. The mechanical activation of mTOR signaling: an emerging role for late endosome/lysosomal targeting. J Muscle Res Cell Motil. 2014;35(1):11-21 .
6. Lawson D, Vann C, Schoenfeld BJ, Haun C. Beyond Mechanical Tension: A Review of Resistance Exercise-Induced Lactate Responses & Muscle Hypertrophy. J Funct Morphol Kinesiol. 2022 4;7(4).
7. de Freitas MC, Gerosa-Neto J, Zanchi NE, Lira FS, Rossi FE. Role of metabolic stress for enhancing muscle adaptations: Practical applications. World J Methodol. 2017 Jun 26;7(2):46–54
8. Proske U, Morgan DL. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. J Physiol. 2001 1;537(Pt 2):333-45.
9. Stone M, Karatzafieri C. Connective Tissue and Bone Response to Strength Training. 2008. p. 343-60.
10. Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. Sports Med. 2005;35(4):339-61.
11. Daly W, Seegers C, Timmerman S, Hackney AC. Peak cortisol response to exhausting exercise: effect of blood sampling schedule. Med Sportiva (Krakow Engl Ed). 2004;8(1):17-20.
12. Dote-Montero M, Carneiro-Barrera A, Martinez-Vizcaino V, Ruiz JR, Amaro-Gahete FJ. Acute effect of HIIT on testosterone and cortisol levels in healthy individuals: A systematic review and meta-analysis. Scand J Med Sci Sports. 2021;31(9):1722-44.

13. Wheeler GD, Singh M, Pierce WD, Epling WF, Cumming DC. Endurance Training Decreases Serum Testosterone Levels in Men without Change in Luteinizing Hormone Pulsatile Release. *J Clin Endocrinol Metab.* 1991 Feb;72(2):422-5.
14. Hayes LD, Bickerstaff GF, Baker JS. Interactions of cortisol, testosterone, and resistance training: influence of circadian rhythms. *Chronobiol Int.* 2010 Jun;27(4):675-705.
15. Oranchuk D, Nelson A, Storey A, Cronin J. Scientific Basis for Eccentric Quasi-Isometric Resistance Training: A Narrative Review. *J Strength Cond Res.* 2019;33:2846-59.
16. Komi PV, Viitasalo JT, Rauramaa R, Vihko V. Effect of isometric strength training of mechanical, electrical, and metabolic aspects of muscle function. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1978 15;40(1):45-55.
17. Hody S, Croisier JL, Bury T, Rogister B, Leprince P. Eccentric Muscle Contractions: Risks and Benefits. *Front Physiol.* 2019;10:536.
18. Henderson Z. Acute and chronic isotonic resistance exercise vs. eccentric quasi-isometric resistance exercise: Exploring sex-differences in physiological, biomechanical, and performance-based measures. 2024 .
19. Oranchuk DJ, Nelson AR, Storey AG, Diewald SN, Cronin JB. Short-term neuromuscular, morphological, and architectural responses to eccentric quasi-isometric muscle actions. *Eur J Appl Physiol.* 2021;121:141-58 .
20. Kubo K, Ohgo K, Takeishi R, Yoshinaga K, Tsunoda N, Kanehisa H, et al. Effects of isometric training at different knee angles on the muscle-tendon complex in vivo. *Scand J Med Sci Sports.* 2006 Jun;16(3):159-67.
21. Franchi MV, Atherton PJ, Reeves ND, Flück M, Williams J, Mitchell WK, et al. Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta physiologica.* 2014;210(3):642-54 .
22. Oranchuk DJ, Diewald SN, McGrath JW, Nelson AR, Storey AG, Cronin JB. Kinetic and kinematic profile of eccentric quasi-isometric loading. *Sports Biomech.* 2024;23(6):758-771
23. Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M. Eccentric exercise: physiological characteristics and acute responses. *Sports Med.* 2017;47(4):663-675. .
24. Proske U, Morgan DL. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *J Physiol.* 2001;537(2):333-45 .
25. Fisher J, Steele J, Bruce-Low S, Smith D. Evidence based resistance training recommendations. *Medicina Sportiva.* 2011;15(3):147-62 .
26. Dolatyari A, Khodaei K, Zolfaghar Didani M, Oranchuk D. The effect of eccentric quasi-isometric and traditional resistance training on serum levels of steroid hormones in inactive men. *Journal of Isfahan Medical School.* 2025 .[In Persian]
27. Murphy M. Blood Flow Restriction Training: A Tool to Enhance Rehabilitation and Build Athlete Resiliency. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* 2024 2024/10/10:101022.
28. Wang X, Qin XM, Ji S, Dong D. Effects of Resistance Training with Blood Flow Restriction on Explosive Power of Lower Limbs: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Hum Kinet.* 2023;89:259-68.
29. Bemben DA, Sherk VD, Buchanan SR, Kim S, Sherk K, Bemben MG. Acute and Chronic Bone Marker and Endocrine Responses to Resistance Exercise With and Without Blood Flow Restriction in Young Men. *Front Physiol.* 2022;13:837631.
30. Doghi S, Khodaei K, Zolfaghar Didani M. The Effect of Low-Intensity Suspension Training with Blood Flow Restriction on Serum Sex Hormones, Muscular Hypertrophy, and Balance in Young Women. *Women's Health Bulletin.* 2024;11(4):250-61.
31. Mohamadi S, Khoshdel A, Naserkhani F, Mehdizadeh R. The effect of low-intensity resistance training with blood flow restriction on serum cortisol and testosterone levels in young men. *J Arch Mil Med.* 2015;3(3):e28306.
32. Hill EC. Eccentric, but not concentric blood flow restriction resistance training increases muscle strength in the untrained limb. *Physical Therapy in Sport.* 2020 2020/05/01;43:1-7.
33. Knapik JJ, Staab JS, Harman EA. Validity of an anthropometric estimate of thigh muscle cross-sectional area. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28(12):1523-30 .
34. Johnson D, Bahamonde R. Power Output Estimate in University Athletes. *J Strength Cond Res.* 1996 10(3):139-143.
35. Wilson JM, Lowery RP, Joy JM, Loenneke JP, Naimo MA. Practical Blood Flow Restriction Training Increases Acute Determinants of Hypertrophy Without Increasing Indices of Muscle Damage. *J Strength Cond Res.* 2013;27(11) .

36. Durand RJ, Castracane VD, Hollander DB, Tryniecki JL, Bamman MM, O'Neal S, et al. Hormonal responses from concentric and eccentric muscle contractions. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35(6):937.
37. Vácz M, Nagy SA, Kőszegi T, Ambrus M, Bogner P, Perlaki G, et al. Mechanical, hormonal, and hypertrophic adaptations to 10weeks of eccentric and stretch-shortening cycle exercise training in old males. *Experimental Gerontology.* 2014;58:69-77.
38. Häkkinen K, Pakarinen A, Newton RU, Kraemer WJ. Acute hormone responses to heavy resistance lower and upper extremity exercise in young versus old men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1998;77(4):312-9 .
39. Luebbbers PE, Kriley LM, Eserhaut DA, Andre MJ, Butler MS, Fry AC. Salivary testosterone and cortisol responses to seven weeks of practical blood flow restriction training in collegiate American football players. *Frontiers in Physiology.* 2025;15:1507445 .
40. Amani-Shalamzari S, Sarikhani A, Paton C, Rajabi H, Bayati M, Nikolaidis PT, et al. Occlusion Training During Specific Futsal Training Improves Aspects of Physiological and Physical Performance. *J Sports Sci Med.* 2020;19(2):374-82.
41. Fekri-Kourabbaslou V, Shams S, Amani-Shalamzari S. Effect of different recovery modes during resistance training with blood flow restriction on hormonal levels and performance in young men: a randomized controlled trial. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2022 25;14(1):47.
42. Brownlee KK, Moore AW, Hackney AC. Relationship between circulating cortisol and testosterone: influence of physical exercise. *J Sports Sci Med.* 2005 1;4(1):76-83. 24431964 .
43. Chen C-W, Chen C-C, Chen Y-A, Chang C-H, Lin W-W, Wang S-W, et al. Effect of Intermittent Hypoxia on the Exercise-induced Production of Testosterone and Lactate in Rats. *Biology of Reproduction.* 2012;87(Suppl_1):235 .
44. Henderson Z, Wang S, Scribbans T. Eccentric Quasi-Isometric vs. Isotonic Resistance Exercise of the Elbow Flexors: Acute Neuromuscular, Set, and Sex-Differences in Untrained Individuals When Using a Unilateral Model . 2025.
45. Schoenfeld BJ, Ogborn DI, Vigotsky AD, Franchi MV, Krieger JW. Hypertrophic Effects of Concentric vs. Eccentric Muscle Actions: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Strength Cond Res.* 2017;31(9):2599-608.
46. Lum D, Barbosa TM. Brief Review: Effects of Isometric Strength Training on Strength and Dynamic Performance. *Int J Sports Med.* 2019 May;40(6):363-75.
47. Bodine SC. The role of mTORC1 in the regulation of skeletal muscle mass. *Fac Rev.* 2022;11:32.
48. Bazgir B, Fathi R, Rezazadeh Valojerdi M, Mozdziak P, Asgari A. Satellite Cells Contribution to Exercise Mediated Muscle Hypertrophy and Repair. *Cell J.* 2017;18(4):473-84.
49. Libardi CA, Godwin JS, Reece TM, Ugrinowitsch C, Herda TJ, Roberts MD. Effects of low-load resistance training with blood flow restriction on muscle fiber myofibrillar and extracellular area. *Front physiol.* 2024;15:1368646 .
50. De Saedeleer CJ, Copetti T, Porporato PE, Verrax J, Feron O, Sonveaux P. Lactate activates HIF-1 in oxidative but not in Warburg-phenotype human tumor cells. *PLoS One.* 2012;7(10):e46571.
51. Ličen U, Oranchuk DJ, Kozinc Ž. Exploring the biomechanics and fatigue patterns of eccentric quasi-isometric muscle actions in the knee extensors and flexors. *Eur J Appl Physiol.* 2024;124(11):3409-19.
52. Kordi M, Folland JP, Goodall S, Menzies C, Patel TS, Evans M, et al. Cycling-specific isometric resistance training improves peak power output in elite sprint cyclists. *Scand J Med Sci Sports.* 2020;30(9):1594-604. .
53. Suchomel TJ, Wagle JP, Douglas J, Taber CB, Harden M, Haff GG, et al. Implementing Eccentric Resistance Training-Part 1: A Brief Review of Existing Methods. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2019 24;4(2).
54. Dankel SJ, Kang M, Abe T, Loenneke JP. Resistance training induced changes in strength and specific force at the fiber and whole muscle level :a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol.* 2019;119(1):265-78.

نسخه پیش انتشار