

Original Article

The effects of low-intensity eccentric quasi-isometric training with blood flow restriction on serum levels of testosterone and cortisol, and on muscular hypertrophy and power in male athletes

Seyed ali Seyedi¹ , Kazem Khodaei^{1*} , Dustin Oranchuk² ¹ Faculty of Sports Sciences, Urmia University, Urmia, Iran² 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 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 (EQI) training with blood flow restriction (BFR) on serum levels of testosterone and cortisol, and on 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, the low-intensity EQI+BFR (EQI + BFR), and the control (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 at an intensity 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 the same exercise protocol at an intensity range of 20-35% of 1RM and with BFR. 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 using human ELISA kits. Upper and lower body hypertrophy was measured anthropometrically. Lower body power was also assessed using a vertical jump test. Two-way ANOVA and Bonferroni's post-hoc test were used for between-group comparisons and paired t-test was used to examine within-group changes.

Results: A significant time $\times$ group interaction was observed after six weeks of both EQI and EQI + BFR training for serum levels of testosterone ($p=0.014$), cortisol ($p=0.007$), testosterone to cortisol ratio ($p=0.005$), thigh circumference ($p=0.001$), arm circumference ($p=0.001$), 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 ($p=0.03$ and $p=0.02$, respectively), testosterone to cortisol ratio ($p=0.023$ and $p=0.007$, respectively), arm circumference ($p=0.011$ and $p=0.001$, respectively), and thigh circumference ($p=0.001$ and $p=0.002$, respectively), compared to the control group. The EQI + BFR group showed a

* 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/>.

significant decrease in cortisol in comparison to the control group ($p=0.005$), and the EQI group revealed a significant increase in peak ($p=0.007$) and average leg power ($p=0.007$) compared to the control group. However, 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 circumferences similarly. However, the role of EQI+BFR was more prominent in reducing cortisol level and high-intensity EQI in improving lower body power. It seems that low-intensity EQI training with BFR can be used interchangeably with high-intensity EQI training.

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

How to cite this article: Seyedi SA, Khodaei k, Oranchuck D. The effects of low-intensity eccentric quasi-isometric training with blood flow restriction on serum levels of testosterone and cortisol, and on muscular hypertrophy, and power in male athletes. J Sport Exerc Physiol. 2025;18(4):1-20.

تأثیر تمرین شبه هم‌طول برون‌گرایی کم شدت با محدودیت جریان خون بر سطوح سرمی تستوسترون، کورتیزول، هایپرتروفی و توان عضلانی در مردان ورزشکار

سید علی سیدی^۱، کاظم خدائی^{۱*}، داستین اورانچوک^۲

^۱ دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

^۲ آزمایشگاه مورفولوژی، مکانیک و عملکرد ماهیچه‌ای، گروه طب فیزیکی و توانبخشی، پردیس پزشکی دانشگاه کلرادو-آنشوتز، آرورا، کلرادو، ایالات متحده آمریکا

چکیده

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

مواد و روش‌ها: ۳۶ مرد جوان ورزشکار انتخاب شده و به‌صورت 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 تمرین مقاومتی EQI را افزون بر تمرین روزمره خود انجام دادند. گروه EQI تمرین با وزنه به روش شبه هم‌طول برون‌گرا، ۳-۴ تکرار با دامنه شدت ۸۵-۹۰٪ یک تکرار بیشینه (1RM) و مدت تحت تنش ۹۰-۱۵ ثانیه در هر تکرار برای ۵ حرکت پایین‌تنه و بالاتنه انجام دادند و گروه EQI+BFR تمرین با وزنه به روش شبه هم‌طول برون‌گرا با محدودیت جریان خون، ۳-۴ تکرار با دامنه شدت ۳۵-۲۰٪ 1RM و مدت تحت تنش ۹۰-۱۵ ثانیه در هر تکرار برای ۵ حرکت پایین‌تنه و بالاتنه انجام دادند. گروه کنترل فعالیت‌های ورزشی روزمره خود را انجام دادند. ۴۸ ساعت پیش از نخستین جلسه تمرین و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین خونگیری در حالت ناشتا انجام شد. میزان سرمی هورمون‌های تستوسترون و کورتیزول با کیت‌های انسانی الایزا اندازه‌گیری شدند. محیط زان و بازو به روش آنتروپومتریکی اندازه‌گیری شد. توان پائین تنه نیز با آزمون پرش عمودی اندازه‌گیری شد. برای بررسی داده‌ها، از آنوای دوراهه با اندازه‌گیری مکرر و آزمون تعقیبی بونفرونی و برای بررسی تغییرات درون‌گروهی از آزمون t زوجی استفاده گردید.

نتایج: اثر تعاملی زمان در گروه معناداری پس از شش هفته تمرین EQI و EQI + BFR بر مقادیر سرمی تستوسترون ($P=0/014$)، کورتیزول ($P=0/007$)، نسبت تستوسترون به کورتیزول ($P=0/005$)، محیط ران ($P=0/001$)، محیط بازو ($P=0/001$)، میانگین ($P=0/009$) و اوج توان پائین تنه ($P=0/009$) مشاهده شد. نتایج بین‌گروهی نشان داد که هر دو تمرین EQI و 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)، محیط بازو (مقادیر P به ترتیب ۰/۰۱۱ و ۰/۰۰۱) و محیط ران (مقادیر P به ترتیب ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۲)، نسبت به گروه کنترل داشتند. گروه EQI+BFR کاهش معناداری در کورتیزول نسبت به گروه کنترل داشت ($P=0/005$) و گروه EQI افزایش معناداری در اوج ($P=0/007$) و میانگین توان پا ($P=0/008$) نسبت به گروه کنترل داشت. بین دو گروه تمرین EQI و EQI+BFR در همه متغیرها تفاوت معناداری وجود نداشت ($P>0/05$).

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

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که هر دو تمرین EQI با شدت بالا و EQI+BFR با شدت کم می‌تواند باعث بهبود میزان تستوسترون سرمی، نسبت تستوسترون به کورتیزول و هایپرتروفی عضلانی ران و بازو شوند و تفاوتی بین دو شیوه تمرینی وجود ندارد. با این همه، در کاهش کورتیزول نقش EQI+BFR و در بهبود توان پائین تنه نقش EQI با شدت بالا پررنگ‌تر بود. به نظر می‌رسد انجام تمرین EQI با شدت کم به همراه BFR جایگزین تمرین EQI شود.

واژه‌های کلیدی: تمرین شبه هم‌طول برون‌گرا، محدودیت جریان خون، تستوسترون، کورتیزول، هایپرتروفی ماهیچه‌ای

نحوه استناد به این مقاله: سیدی س ع، خدائی ک، اورانچوک د. تأثیر تمرین شبه هم‌طول برون‌گرای کم شدت با محدودیت جریان خون بر سطوح سرمی تستوسترون، کورتیزول، هایپرتروفی و توان عضلانی در مردان ورزشکار. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۴؛ ۱۸(۴): ۱-۲۰.

مقدمه

بهره‌وری بالا در تمرین ورزشی و دستیابی به بیشترین بازدهی ماهیچه‌ای با توجه به میزان تلاش انجام شده، برای مربیان و ورزشکاران از اهمیت بالایی برخوردار است (۱). بهبود سازگاری‌های ناشی از تمرین قدرتی در دستگاه‌های عصبی و ماهیچه‌ای نیز یکی از دغدغه‌های اصلی پژوهشگران و کارشناسان در حوزه علوم ورزشی است. امروزه کاملاً ثابت شده است که انجام تمرین قدرتی منجر به افزایش قدرت و حجم ماهیچه‌ای می‌شود (۲). تمرین مقاومتی با شدت بالا که نزدیک به ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه ($1RM$) هستند، به‌طور مؤثری قدرت ماهیچه‌ای را ارتقاء می‌دهند. در واقع، هدف از نوبت‌هایی که با وزنه‌های سنگین (۱۰۰ - ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه) و تکرارهای پایین (۵ - ۱ تکرار) اجرا می‌شوند، بهبود قدرت ماهیچه‌ای می‌باشد (۳). به‌طور کلی پیشنهاد می‌شود که سه سازوکار فیزیولوژیکی در تمرین قدرتی باعث هایپرتروفی ماهیچه‌ای می‌شوند (۴): ۱. تنش مکانیکی که در تمرین با وزنه‌های سنگین ایجاد می‌شود و با تنش ایجاد شده در تارهای ماهیچه‌ای، مسیرهای پیام‌رسانی را فعال می‌کند که در نهایت موجب فعال‌سازی مجموعه پروتئینی هدف را پامایسن در پستانداران ($mTOR$) و افزایش پروتئین‌سازی ماهیچه‌ای می‌شود (۵). ۲. تنش سوخت‌وسازی با انجام نوبت‌هایی با وزنه سبک و تکرار بالا تا رسیدن به سوزش ماهیچه‌ای ایجاد می‌گردد که پژوهشگران مهمترین عامل فعال‌سازی مسیرهای پیام‌رسانی هایپرتروفی را در این سازوکار، تولید لاکتات می‌دانند (۶، ۷). ۳. ریز آسیب‌های ماهیچه‌ای که به‌طور ویژه توسط انجام بخش برون‌گرای انقباض ماهیچه‌ای ایجاد می‌شود (۸). تمرین مقاومتی افزون بر افزایش توان و قدرت ماهیچه‌ای، بر ساختار و عملکرد بافت‌های همبند نیز تأثیر مثبت دارند (۹). همچنین، تمرین قدرتی با توجه به شدت، حجم و مدت جلسه تمرینی باعث ایجاد پاسخ‌های هورمونی نیز

می‌شوند. از مهمترین پاسخ‌های هورمونی می‌توان به افزایش کورتیزول به‌عنوان یک هورمون کاتابولیکی و افزایش تستوسترون به‌عنوان یک هورمون آنابولیکی اشاره کرد (۱۰). در ورزش‌های استقامتی درازمدت و همچنین در تمرین مقاومتی یا تناوبی با شدت بسیار بالا، مقادیر هورمون کورتیزول برای کمک به تأمین انرژی ماهیچه‌ای از طریق گلوکوکورتیکوئید و لیپوژن‌افزایش می‌یابد (۱۱). از طرفی دیگر، تمرین قدرتی با شدت بالا باعث افزایش مقادیر تستوسترون نیز می‌شود که به رشد و بازسازی ماهیچه‌ای کمک می‌کند (۱۲). در حالی که، جلسات تمرینی طولانی می‌تواند حتی موجب کاهش سطح تستوسترون گردد (۱۳). نسبت تستوسترون به کورتیزول یک نشانگر مناسب برای اندازه‌گیری وضعیت آنابولیکی و کاتابولیکی ماهیچه‌ای است (۱۴). با توجه به سازوکارهای هایپرتروفی و کسب قدرت ماهیچه‌ای که توضیح داده شد، ایجاد و توسعه روش‌های تمرینی نوین برای حفظ و بهبود توانایی‌های ماهیچه‌ای دارای اهمیت است. حفظ ساختار و کارایی ماهیچه‌ای نقش مهمی در ارتقاء کیفیت زندگی و عملکرد بهینه دارد؛ بنابراین، متخصصان توانبخشی و ورزشی به‌طور پیاپی در جستجوی روش‌ها و تکنیک‌های جدیدی هستند که به بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک و آمادگی بدنی کمک کنند.

یکی از این روش‌ها که کمتر بررسی شده است، تمرین مقاومتی با شیوه انقباض‌های شبه‌هم‌طول برون‌گرا (EQI) است که توسط یوری ورخوشانسکی پایه‌ریزی شده است. این روش ترکیبی از انقباض‌های هم‌طول (انقباض ماهیچه‌ای بدون تغییر در طول عضله) و انقباض برون‌گرا است. در مرحله اول، ورزشکار باید یک انقباض هم‌طول را زیر بار سنگین حفظ کند. این کار برای ایجاد تنش مکانیکی بالایی در عضله انجام می‌شود. در مرحله دوم، پس از حفظ انقباض هم‌طول، ورزشکار

به آرامی بار را پایین می آورد یا به عبارتی دیگر، عضله را به آرامی طویل می کند، در حالی که مقاومت را حفظ کرده است. اجرای این مرحله برونگرا منجر به تنش مکانیکی و ایجاد ریزآسیب های بیشتری در ماهیچه می شود (۱۵). از دید نظری، بخش های شبه هم طول و برونگرا طولانی مدت در تمرین EQI می توانند باعث ایجاد تنش مکانیکی و سوخت و سازی چشمگیری شوند که در نهایت به بهبود ظرفیت کاری، افزایش حجم ماهیچه ای و تقویت سلامت بافت های همبند کمک می کند (۱۶، ۱۷).

اگرچه پژوهش های اندکی درباره EQI انجام شده است، اما گزارش هایی از افزایش ضخامت و قدرت ماهیچه ای، بهبود محدوده حرکتی (ROM)، تغییر در ساختار ماهیچه ای مانند افزایش طول فاشیا، ایجاد تنش سوخت و سازی و پاسخ های هورمونی در ماهیچه و افزایش استحکام تاندون ها پس از استفاده از تمرین EQI وجود دارد (۲۱-۱۵، ۱۸). اورانچوک و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی که روی نیمرخ کینتیک و کینماتیک تمرین EQI انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که این تمرین باعث تنش مکانیکی چشمگیری به ویژه در بخش آغازین دامنه حرکتی می شوند (۲۲). در پژوهشی دیگر هندرسون و همکاران (۲۰۲۴) که تأثیر تمرین مقاومتی هم تنش (ایزوتونیک) و EQI را بر قدرت و هایپرتروفی ماهیچه ای بررسی کرده بودند، گزارش کردند که اثر تمرین هم تنش بیشتر بوده است، ولی تمرین EQI نیز در افراد تمرین نکرده باعث هایپرتروفی و افزایش قدرت معناداری شده بود (۱۸). تمرین EQI به ویژه برای ورزشکارانی که در معرض آسیب های مکرر قرار دارند، سودمند است، زیرا ورزشکار در این شیوه تمرینی با کنترل بیشتری حرکات را انجام می دهد و خطر آسیب مفصلی و ماهیچه ای ناشی از حرکات سریع و انفجاری به حداقل می رسد. همچنین، نشان داده شده است که انقباض های برونگرا مقاومت

ماهیچه ای را در مقابل صدمات افزایش می دهند (۲۳، ۲۴). از آنجایی که تمرین EQI با شدت بالایی انجام می شوند، می توانند به صرفه جویی در زمان نیز کمک کنند و جلسات تمرینی EQI نسبت به سایر شیوه ها همواره کوتاه تر می باشد (۲۵). این موضوع در افرادی که به دلیل کمبود زمان از مزایای تمرین قدرتی محروم می مانند بیشتر دارای اهمیت می باشد. همچنین، شدت بالا همراه با مدت زمان پایین جلسات این تمرین شاید باعث افزایش نسبت تستوسترون به کورتیزول شود که در این صورت وضعیت آنابولیکی و پروتئین سازی در ماهیچه ایجاد خواهد شد. دولتیاری و همکاران (۲۰۲۵) در پژوهشی نشان دادند که تمرین EQI به اندازه تمرین متداول می تواند باعث بهبود تولید هورمون های گلوبولین متصل به هورمون جنسی، دهیدرواپی آندروسترون، دهیدرواپی آندروسترون-سولفات استروئیدی شود. بنابراین، در صورت لزوم می توانند جایگزین تمرین متداول شوند (۲۶). با این همه، تأثیر تمرین EQI با شدت کم به همراه محدودیت جریان خون (BFR^۵) که روش نوین در بهبود اثربخشی تمرین با شدت کم است، در هورمون های وابسته به وضعیت آنابولیکی مانند تستوسترون و کورتیزول، هایپرتروفی ماهیچه ای و توان بررسی نشده است.

یافته های پژوهش های پیشین نشان داده است که تمرین مقاومتی با BFR برای بهبود قدرت، توان و هایپرتروفی با سازوکارهایی مؤثرند که شاید با ایجاد تنش سوخت و سازی و تورم سلولی و افزایش تغییر به تارهای تند انقباض همراه هستند (۲۷، ۲۸). با این همه، تأثیر آن بر سطح هورمون ها کمتر شناخته شده است. برخی پژوهش ها نشان داده اند که تمرین مقاومتی با شدت کم به همراه BFR باعث افزایش میزان سرمی تستوسترون، کاهش کورتیزول و بهبود نسبت تستوسترون به کورتیزول در زنان و مردان می شود (۲۹، ۳۰). پژوهش های دیگر نشان دادند که روی سطح

سرمی تستوسترون یا کورتیزول تأثیر معناداری ندارد، که شاید نشان دهنده وجود مسیرهای دیگری است که باعث سازگاری ماهیچه‌ای می‌شود (۳۱). بیشتر یافته‌های پیشین از BFR به عنوان یک روش تمرینی مناسب، به‌ویژه برای تمرین با وزنه سبک پشتیبانی می‌کنند، اما نیاز به پژوهش‌های بیشتری در مورد اثرات هورمونی تمرین BFR، به‌ویژه با توجه به اثرات بالقوه وابسته به تنش ناشی از افزایش کورتیزول، می‌باشد.

تمرین EQI به دلیل استفاده از هر دو نوع انقباض هم‌طول و برون‌گرا در کنار هم می‌تواند مسیرهای پیام‌رسانی، هورمونی و تنش مکانیکی بیشتری نسبت به انقباض‌های هم‌طول یا پویا به تنهایی درگیر کند. با این همه، طبق پژوهش‌های پیشین کسب هایپرتروفی و قدرت و توان نیاز به انجام تمرین با شدت بالا دارد که امکان اجرای آن برای افراد تازه‌کار، مسن یا افرادی که وزنه تمرینی نداشتند، میسر نیست. همچنین، در یک پژوهش نشان داده شده است که تمرین برون‌گرا با محدودیت جریان خون بهتر از تمرین درون‌گرا با محدودیت خون باعث افزایش قدرت می‌شود (۳۲). بنابراین، این پژوهش برای نخستین بار تأثیر همزمان تمرین مقاومتی با انقباض‌های شبه هم‌طول برون‌گرا با شدت کم را به همراه BFR بر هایپرتروفی ماهیچه‌ای، توان ماهیچه‌ای و هورمون‌های وابسته به وضعیت آنابولیکی بررسی می‌کند تا در صورت اثر بخش بودن جایگزین تمرین انقباض‌های شبه هم‌طول برون‌گرا با شدت بالا در ورزشکاران، افراد تازه‌کار و توانبخشی ورزشکاران شود.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: برای این پژوهش ۳۶ نفر به‌صورت داوطلبانه از مردان فوتسال‌بست شهرستان تکاب با دامنه سنی ۳۰-۱۸ سال انتخاب شدند. روش نمونه‌گیری به-صورت هدفمند از بین فوتسال‌بست‌های شهرستان تکاب

بود. تقسیم‌بندی افراد در گروه‌ها به‌صورت تصادفی ساده بود. تعداد نمونه با استفاده از 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 در آغاز برگه مشخصات فردی و پرسشنامه آمادگی برای انجام فعالیت بدنی توزیع شد و پس از بررسی برگه‌ها، افراد دارای شرایط انتخاب شدند. میانگین نمایه توده بدنی (BMI^2) آزمودنی‌ها ۲۴/۰۵ کیلوگرم بر متر مربع بود. پس از یک جلسه آشناسازی با تمرین و آزمون‌گیری، آزمودنی‌ها آگاهانه برگه رضایت کتبی برای شرکت در پژوهش را امضاء کردند. معیارهای ورود برای شرکت در این پژوهش، داشتن سلامت بدنی، داشتن پیشینه فعالیت منظم ورزشی، عدم مصرف دخانیات و داروها و مکمل‌های ورزشی بود. سلامت بدنی این افراد شامل عدم هر گونه محدودیت بدنی و حرکتی مانند: چاقی، بیماری‌های قلبی-عروقی و سوخت‌وسازی توسط پزشک تأیید گردید. مکان و ابزار مورد استفاده برای آزمودنی‌ها نیز یکسان بود. معیارهای خروج از پژوهش شامل غیبت بیش از ۳ جلسه و آسیب ورزشی هنگام پژوهش بود. در هر گروه ۲ نفر به دلیل آسیب و یا موارد شخصی از پژوهش خارج شدند و روی هم‌رفته ۳۰ نفر و هر گروه ۱۰ نفر توانستند تا پایان پژوهش همکاری کنند. این پژوهش در کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه ارومیه با کد IR.URMIA.REC.1403.005 به تصویب رسید.

روش اجرای پژوهش: این پژوهش از نوع نیمه‌تجربی با طرح آزمایشی پیش‌آزمون و پس‌آزمون، در دو گروه تجربی و یک گروه کنترل اجرا گردید. ۳۶ فرد انتخاب شده به‌صورت 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. پیش از شروع برنامه تمرینی، به مدت یک هفته آشناسازی آزمودنی‌ها با شیوه و فضای تمرین و نحوه

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

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) بر اساس فرمول بریزکی برای تعیین وزن مناسب برای اجرای حرکات برنامه تمرینی، گرفته شد.

در گروه‌های تمرینی EQI ورزشکاران حرکت را در مرحله برون‌گرا با زاویه ۳۰ درجه آغاز کرده و سعی می‌کردند موقعیت مفصل را تا زمانی که ممکن بود در انقباض هم‌طول حفظ نمایند، یا برای مدت معینی، پیش از حرکت ارادی یا غیرارادی به یک زاویه مفصل دیگر یا توقف حرکت انجام دهد. تنش ماهیچه‌ای هم‌طول و افزایش زاویه مفصل تا انتهای دامنه حرکتی در مرحله برون‌گرا ادامه می‌یافت. مدت تحت تنش بودن عضله در هر نوبت ۳۰ الی ۹۰ ثانیه طول می‌کشید. هر نوبت شامل یک تکرار بود و آزمودنی‌ها بین نوبت‌ها دو برابر زمانی که ماهیچه‌ای تحت تنش بودند، استراحت داشتند. آزمودنی‌ها با شدت کمتری نسبت به گروه EQI حرکات را اجرا می‌کردند. گروه کنترل نیز به فعالیت روزمره خود که تمرین رشته فوتسال بود، پرداختند. 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 روی میز لاری، پشت بازو ایستاده سیمکش، جلو بازو ایستاده با هالتر انجام شد. 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 پس از گرم کردن استاندارد انجام شد. خلاصه روش‌های تمرین در جدول ۱ ارائه شده است.

اجرای تمرین انجام شد. وزن آزمودنی‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی SECA (ساخت آلمان) با دقت ۰/۰۱ کیلوگرم و قد آن‌ها با استفاده از قد سنج SECA با دقت ۰/۱ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. هاپیتروفی ران توسط اندازه‌گیری آنتروپومتریکی تغییرات در سطح مقطع عرضی ($^{\circ}\text{CSA}$) و بر اساس پژوهش 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 (cm) و d_E فاصله بین اپی کندیل داخلی و خارجی ران (cm) است.

حجم ماهیچه‌ای دو سر بازویی با ارزیابی سطح مقطع عرضی عضله جلو بازو به وسیله کولیس و متر نواری و چربی زیرپوستی 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 با توسط آزمون پرش عمودی صورت گرفته و با استناد به معادله جانسون - بهاموند برآورد شد (۳۴):

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

جدول ۱. برنامه تمرینی گروه شبه هم طول برونگرا (EQI) و گروه شبه هم طول برونگرا کم شدت با محدودیت جریان خون (EQI+BFR)

روز دوم	روز اول	نوع تمرین
۴x۶۰-۹۰ S ۶۵-۶۰% 1RM	۳x۶۰-۹۰ S ۶۵-۶۰% 1RM	EQI
۴x۶۰-۹۰ S ۲۵-۲۰% 1RM	۳x۶۰-۹۰ S ۲۵-۲۰% 1RM	EQI+BFR
۴x۶۰-۹۰ S ۶۵-۶۰% 1RM	۴x۶۰-۹۰ S ۶۵-۶۰% 1RM	EQI
۴x۶۰-۹۰ S ۲۵-۲۰% 1RM	۴x۶۰-۹۰ S ۲۵-۲۰% 1RM	EQI+BFR
۳x۳۰-۶۰ S ۷۰-۷۵% 1RM	۳x۳۰-۶۰ S ۷۰-۷۵% 1RM	EQI
۳x۳۰-۶۰ S ۲۵-۳۰% 1RM	۳x۳۰-۶۰ S ۲۵-۳۰% 1RM	EQI+BFR
۴x۳۰-۶۰ S ۷۰-۷۵% 1RM	۳x۳۰-۶۰ S ۷۰-۷۵% 1RM	EQI
۴x۳۰-۶۰ S ۲۵-۳۰% 1RM	۳x۳۰-۶۰ S ۲۵-۳۰% 1RM	EQI+BFR
۳x۱۵-۳۰ S ۸۰-۸۵% 1RM	۳x۱۵-۳۰ S ۸۰-۸۵% 1RM	EQI
۳x۱۵-۳۰ S ۳۰-۳۵% 1RM	۳x۱۵-۳۰ S ۳۰-۳۵% 1RM	EQI+BFR
۳x۱۵-۳۰ S ۸۰-۸۵% 1RM	۳x۱۵-۳۰ S ۸۰-۸۵% 1RM	EQI
۳x۱۵-۳۰ S ۳۰-۳۵% 1RM	۳x۱۵-۳۰ S ۳۰-۳۵% 1RM	EQI+BFR

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

در گروه تمرینی EQI + BFR، محدودیت جریان خون بر اساس روش ویلسون و همکاران (۲۰۱۳) به صورت کاربردی انجام شد. در این روش با استفاده از بستن زانوبند کشی در ناحیه دیستال ران و بازو محدودیت جریان خون اعمال می شد و شدت بستن باند کشی با مقیاس درک فشار درد برابر ۷ از ۱۰ اعمال می گردید (۳۵). به دلیل استفاده از زانوبندهای کشی که یک روش

کاربردی و ایمن نسبت به کاف بود، عوارض جانبی گزارش نشد.

روش های آزمایشگاهی: نمونه های خونی به صورت ۱۲ ساعت ناشتایی در ۴۸ ساعت پیش از نخستین جلسه تمرینی و پس از آخرین جلسه تمرینی جمع آوری شد. برای نمونه گیری در بین ساعات ۸ تا ۹ صبح در آزمایشگاه از سیاهرگ دست چپ هر آزمودنی ۵

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 تمرین 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 تأثیر معناداری داشت. نتایج آزمون تعقیبی نیز نشان داد که هر دو تمرین EQI و EQI+BFR باعث افزایش معنادار میزان تستوسترون (مقادیر P به ترتیب $0/03$ و $0/02$)، نسبت تستوسترون به کورتیزول (مقادیر P به ترتیب $0/023$ و $0/007$) نسبت به گروه کنترل شدند. گروه EQI+BFR کاهش معناداری در کورتیزول نسبت به گروه کنترل داشت ($P=0/005$). در مقایسه درون‌گروهی فقط در نشانگر کورتیزول و در گروه EQI+BFR تغییرات معنادار بود و یافته‌ها نشان داد ۶ هفته تمرین EQI+BFR می‌تواند سطح کورتیزول سرم را نسبت به پیش از مداخله تمرینی کاهش دهد ($P=0/018$) (نتایج در شکل ۱ ارائه شده است).

میلی‌لیتر خون در وضعیت نشسته و در حالت استراحت گرفته شد. سپس، نمونه خونی با سرعت ۳۰۰۰ 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.

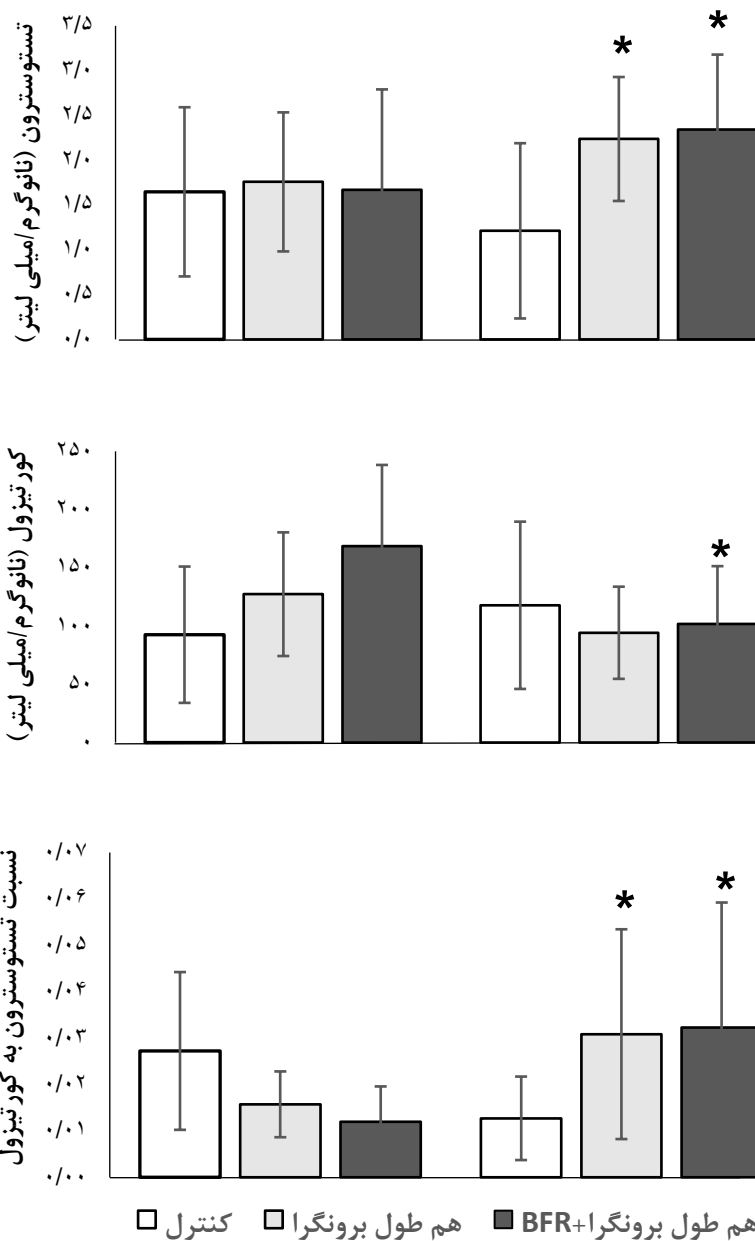
تحلیل آماری: به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم-افزار SPSS نسخه ۲۴ استفاده گردید. ابتدا برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک و همگنی واریانس‌ها از آزمون لون استفاده شد. پس از تأیید طبیعی بودن داده‌ها، برای تحلیل کلی فرضیه‌ها، تعامل زمان در گروه، از آزمون آنوای دو راهه ترکیبی با اندازه‌گیری مکرر (۳ گروه در ۲ زمان) و برای بررسی تفاوت بین‌گروهی از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد. تفاوت درون‌گروهی نیز با استفاده از آزمون t زوجی بررسی شد. سطح معناداری برای همه روش‌های آماری $p \leq 0/05$ در نظر گرفته شد.

جدول ۲. ویژگی‌های آن‌تروپومتریکی و توصیفی آزمودنی‌ها

متغیر	گروه	گروه کنترل $n = 10$	گروه EQI $n = 11$	گروه EQI + BFR $n = 10$
سن (سال)		$25/7 \pm 4$	$19/9 \pm 6$	$23/8 \pm 5$
قد (سانتی متر)		$176/4 \pm 2$	$177/5 \pm 3$	$177/6 \pm 3$
وزن (کیلوگرم)		$74/1 \pm 2$	$76/1 \pm 6$	$76/6 \pm 6$
BMI (kg/m ²)		$23/48 \pm 2/62$	$24/29 \pm 3$	$24/39 \pm 2$

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

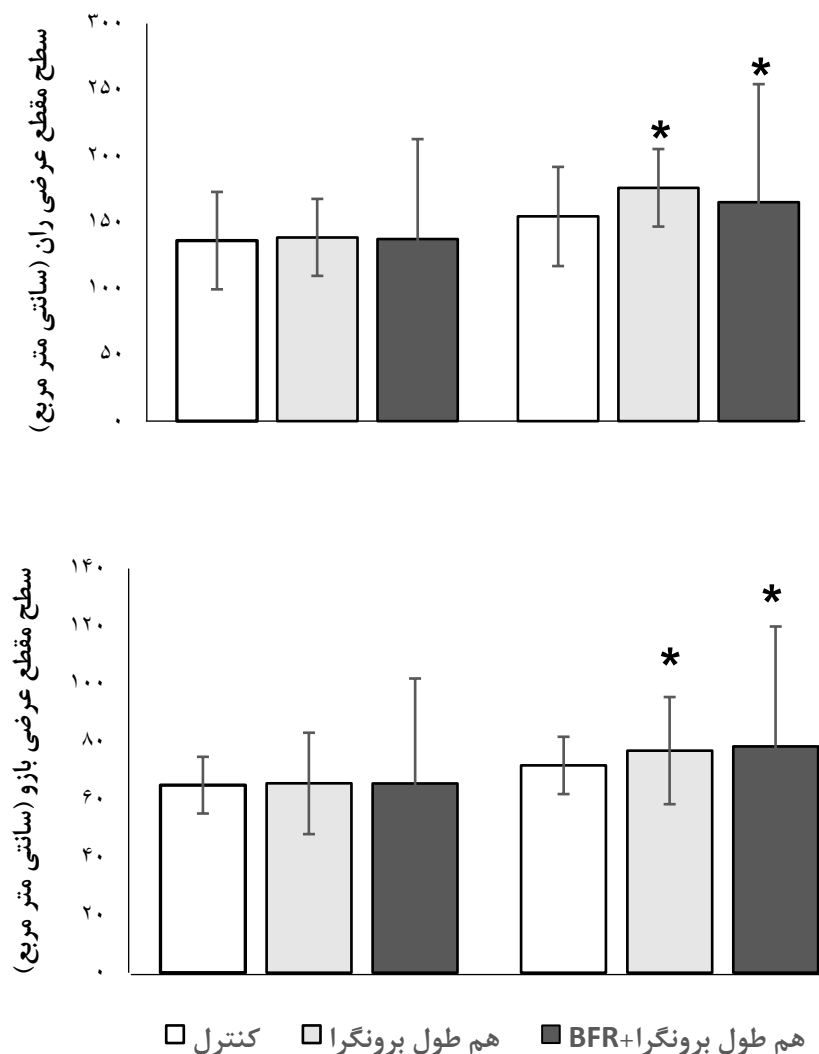
متغیرها	ارزیابی	تعامل زمان		تعامل زمان در گروه		درجه آزادی (df)
		مقادیر P	اندازه اثر	مقادیر P	اندازه اثر	
تستوسترون		۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۲۵	۲
کورتیزول		۰/۰۳۸	۰/۱۳۶	۰/۰۰۵	۰/۲۹۶	۲
T/C		۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۰۵	۰/۲۹	۲
Thigh ^{CSA}		۰/۰۰۱	۰/۹۰	۰/۰۰۱	۰/۴۹	۲
ARM ^{CSA}		۰/۰۰۱	۰/۸۹	۰/۰۰۱	۰/۵۰	۲
توان میانگین پا		۰/۰۰۱	۰/۷۶	۰/۰۰۹	۰/۲۶	۲
توان اوج پا		۰/۰۰۱	۰/۷۵	۰/۰۰۹	۰/۳۸	۲



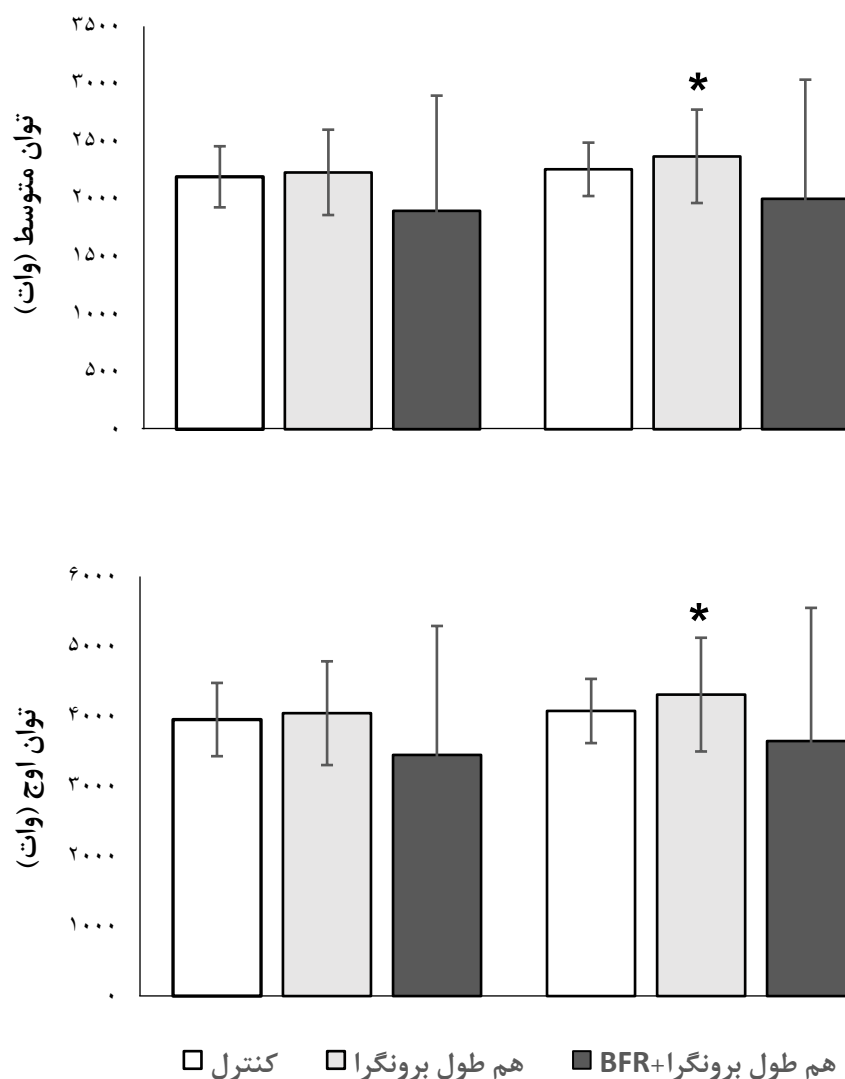
شکل ۱. نتایج تغییرات در سطوح تستوسترون، کورتیزول و نسبت تستوسترون به کورتیزول. * نشان دهنده تفاوت معناداری نسبت به گروه کنترل است.

در میانگین و اوج توان، نتایج گروه $\times$ زمان نشان داد که ۶ هفته تمرین EQI + BFR و EQI بر میانگین ($P=0/009$) و اوج توان ماهیچه‌ای پا ($P=0/009$) اثر معنادار 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 معناداری بین EQI + BFR و EQI و گروه کنترل دیده نشد. در اوج و میانگین توان، همه گروه‌ها تفاوت معناداری را در مقایسه درون گروهی نسبت به پیش‌آزمون نشان دادند (شکل ۳). در هیچ یک از متغیرها تغییرات معناداری بین دو گروه تمرینی دیده نشد.

در مورد هایپرتروفی و توان، نتایج اثر تعاملی گروه $\times$ زمان نشان داد که ۶ هفته تمرین EQI + BFR و EQI در افزایش سطح مقطع ران ($P=0/001$)، هایپرتروفی بازو ($P=0/001$) تأثیر معنادار دارد. با توجه به نتایج آزمون تعقیبی، هر دوی تمرین EQI + BFR و EQI باعث افزایش معنادار سطح مقطع ماهیچه‌ای 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 پایین‌تنه، همه گروه‌ها تفاوت معناداری را در مقایسه درون گروهی نسبت به پیش‌آزمون نشان دادند (شکل ۲).



شکل ۲. نتایج تغییرات در سطح مقطع عرضی ران و سطح مقطع عرضی بازو. * نشان دهنده تفاوت معناداری نسبت به گروه کنترل است.



شکل ۳. نتایج مقایسه بین گروهی و درون گروهی در توان متوسط و توان اوج. * نشان دهنده تفاوت معنادار نسبت به گروه کنترل است.

بحث و نتیجه گیری

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر شش هفته تمرین EQI با شدت بالا و EQI + BFR با شدت کم بر میزان سرمی تستوسترون، کورتیزول و هایپرتروفی ماهیچه‌ای و توان در مردان فعال ورزشکار انجام شده است. به‌طور کلی، یافته‌ها نشان داد که هر دو تمرین EQI با و بدون BFR باعث افزایش میزان سرمی تستوسترون و نسبت تستوسترون به کورتیزول، هایپرتروفی ماهیچه‌ای نسبت به گروه کنترل شدند، بدون اینکه بین دو گروه تفاوت معناداری باشد. اما

سطوح کورتیزول تنها در گروه EQI + BFR با شدت کم کاهش معناداری داشت و توان ماهیچه‌ای پایین-تنه تنها در گروه EQI افزایش یافته است. فرضیه‌های این پژوهش آماری مورد تأیید قرار گرفت. تمرین EQI در مقایسه با گروه کنترل باعث افزایش میزان سرمی تستوسترون و نسبت تستوسترون به کورتیزول (T/C) شد، ولی نتوانست کورتیزول سرم را کاهش دهد. اما تمرین EQI + BFR افزون بر افزایش تستوسترون، نتوانست در مقایسه با گروه کنترل سطح سرمی کورتیزول را نیز کاهش دهد. پژوهشی یافت نشد که به‌طور مستقیم

اثر تمرین EQI با و بدون BFR را بر مقادیر سرمی تستوسترون و کورتیزول در ورزشکاران بررسی کرده باشد. با این همه، دوراند و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه‌ای نشان دادند که انقباض‌های برون‌گرا می‌تواند باعث افزایش سطح تستوسترون سرمی شود (۳۶). واکزی و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که ۱۰ هفته تمرین برون‌گرا بر افزایش سطح تستوسترون در مردان مسن اثری ندارد، ولی می‌تواند مقدار افزایش کورتیزول را پس از هر برنامه تمرینی کاهش دهد (۳۷). پژوهش‌های پیشین نشان داده است که انقباض‌های هم‌طول می‌تواند به‌صورت حاد سطح تستوسترون را افزایش داده و سطح کورتیزول را کاهش دهد، ولی مدارک علمی چشمگیری درباره تأثیر درازمدت آن وجود ندارد (۳۸). در مطالعه‌ای که توسط لوبرز و همکاران (۲۰۲۵) انجام گرفت، تأثیر هفت هفته BFR را بر تستوسترون و کورتیزول بزاقی بازیکنان فوتبال آمریکایی بررسی کردند و گزارش کردند که این تمرین اثر معناداری روی افزایش تستوسترون و نسبت تستوسترون به کورتیزول دارد (۳۹). امانی شلمزاری و همکاران (۲۰۲۰) افزایش نسبت تستوسترون به کورتیزول را پس از تمرین ویژه فوتسال به همراه محدودیت جریان خون در مردان ورزشکار نشان دادند (۴۰). دوغی و همکاران (۲۰۲۴) نیز همسو با این پژوهش نشان دادند که انجام تمرین تعلیقی با شدت کم به همراه BFR باعث افزایش میزان سرمی تستوسترون، نسبت تستوسترون به کورتیزول و عدم تغییر کورتیزول شد و تفاوتی با تمرین تعلیقی با شدت زیاد نداشت (۳۰). در برخی بررسی‌ها نیز که تأثیر روش تمرینی BFR را بر مقادیر تستوسترون و کورتیزول خون بررسی کردند، تغییری در آن‌ها ندیدند (۴۱). دلایل ناهمسویی مطالعات شاید شدت ناکافی تمرین و نداشتن روش‌هایی مانند محدودیت جریان خون باشد. تمرین EQI تا حد ناتوانی انجام می‌گیرند و زمان تحت تنش عضله در آن‌ها قابل توجه است، همچنین انقباض‌های برون‌گرا در آن‌ها موجب ریز آسیب‌های

ماهیچه‌ای بیشتری نسبت به تمرین درون‌گرا می‌شود. همین موضوع می‌تواند باعث افزایش سطح تستوسترون و شروع شرایط آنابولیکی و فرآیندهای فیزیولوژیکی بازایی پس از تمرین، برای مقابله با تنش وارد شده شود (۴۲). تمرین BFR اغلب از طریق ایجاد تنش سوخت‌وسازی و شرایط هیپوکسی ترشح تستوسترون پس از تمرین را برای شروع فرآیندهای بازایی تحریک می‌کنند (۴۳). سطح کورتیزول نیز که یک هورمون کاتابولیکی است به دلیل بازخورد منفی که در دستگاه اندوکرینی وجود دارد برای ایجاد شرایط آنابولیکی پس از تمرین، کاهش می‌یابد. از طرفی دیگر، پس از تمرین دستگاه عصبی پاراسمپاتیک برای افزایش بازایی غالب می‌شود و به مرور سازوکارهای فیزیولوژیکی بدن نسبت به شرایط تنشی سازگاری پیدا کرده و محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-آدرنال که مسئول ترشح کورتیزول در شرایط تنش می‌باشد، کمتر تحریک می‌شود که در نهایت ترشح کورتیزول کاهش می‌یابد (۴۲).

در این پژوهش شش هفته تمرین EQI + BFR و EQI توانستند سطح مقطع ران و بازو را در آزمودنی‌ها در مقایسه با گروه کنترل افزایش دهند. هندرسون (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای که تأثیر انقباض‌های هم‌تنش را با EQI مقایسه کرده بود، گزارش کرد که هر دو روش تمرینی قابلیت افزایش هایپرتروفی و قدرت ماهیچه‌ای را دارا می‌باشند (۱۸). همچنین، هندرسون و همکاران (۲۰۲۵) در مطالعه دیگر که تفاوت جنسیت را در فعال‌سازی ماهیچه‌ای بازو توسط دو روش تمرینی EQI و هم‌تنش بررسی کرده بودند، گزارش کردند که زنان نسبت به مردان قادر به فعال‌سازی بیشتری با روش تمرینی EQI می‌باشند که در درازمدت می‌تواند باعث افزایش هایپرتروفی و قدرت ماهیچه‌ای قابل توجه شود (۴۴). در مطالعات متعددی تأثیر تمرین برون‌گرا و هم‌طول بر افزایش هایپرتروفی ماهیچه‌ای، گزارش شده است، حتی در برخی موارد نشان داده شده است که

تمرین برونگرا می‌توانند باعث هایپرتروفی بیشتری نسبت به تمرین درونگرا شوند (۱۷،۴۵،۴۶). انقباض‌های برونگرا تنش مکانیکی و سوخت‌وسازی چشمگیری به عضله وارد می‌کنند و در هر دو مورد باعث فعال‌سازی مجموعهٔ mTORC1 که شاهرآه اصلی پروتئین‌سازی 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)^۸ می‌شوند که نقش مهمی در افزایش پروتئین‌سازی و بازیابی دارند (۴۸). هایپرتروفی ایجاد شده با تمرین BFR در ماهیچه‌ای نیز اغلب توسط ایجاد تنش سوخت‌وسازی و هیپوکسی و از طریق افزایش سطح لاکتات و فعال‌سازی عامل ۱-آلفا القاشونده توسط هیپوکسی ($HIF-1\alpha$)^۹ می‌باشد و توسط مدارک علمی به خوبی حمایت می‌شود (۴۹،۵۰). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ۶ هفته تمرین EQI می‌تواند باعث افزایش توان در پایین‌تنه شود. لیچن و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی تأثیر تمرین EQI را بر ویژگی‌های مکانیکی و زوایای نیروی گشتاور اوج بررسی کردند و چنین نتیجه گرفتند که EQI می‌تواند به‌طور ویژه‌تری موجب افزایش نیروی گشتاور در زوایای به‌ویژه شود. بنابراین، توان که تابعی از قدرت و سرعت است، می‌تواند با این تمرین افزایش یابد (۵۱). یافته‌هایی در دست‌هست که تمرین برونگرا و هم‌طول هردو می‌توانند موجب افزایش توان در ماهیچه شوند (۵۲،۵۳). اگرچه، لوم و همکاران (۲۰۱۹) پیشنهاد کرده‌اند که تمرین هم‌طول زمانی موجب افزایش بیشتر توان می‌شود، که به‌صورت انفجاری و سریع در مقابله با یک مقاومت ثابت انجام گیرد (۴۶). روی‌هم‌رفته، تمرین EQI که متشکل از انقباض‌های برونگرا و هم‌طول تا حد ناتوانی هستند، می‌توانند توسط سازوکارهایی مانند: فراخوانی بیشینه واحدهای حرکتی، افزایش هماهنگی و یکپارچگی واحدهای حرکتی در تولید نیرو، افزایش هایپرتروفی

میوفیبریلی، افزایش سفتی بافت پیوندی عضله و تاندون و انتقال سریع‌تر قدرت به استخوان و کاهش پیام‌های محدود کننده عصب مرکزی در تولید نیرو، موجب افزایش قدرت ماهیچه‌ای و به تبع آن افزایش توان شوند (۵۴). همچنین، نشان داده شده است که تمرین BFR با بار سبک تأثیر بیشتری در هایپرتروفی و افزایش قدرت ماهیچه‌ای در ماهیچه‌های بالاتنه و پایین‌تنه، در مقایسه با تمرین توانبخشی عادی با بار سبک دارند و به اندازه تمرین با وزنه متداول با بار سنگین نیز اثرگذار هستند. این موضوع می‌تواند به‌طور غیر مستقیم به معنی افزایش توان نیز تلقی شود، چرا که یکی از عوامل افزایش توان افزایش قدرت محسوب می‌شود (۲۷). با این همه، در این پژوهش تمرین BFR افزایش معناداری در توان ماهیچه‌ای با نسبت به گروه کنترل نشان نداد. روشن شدن سازوکار اثرگذاری تمرین BFR بر قدرت، سرعت و توان و رابطه این عوامل با حجم، شدت و تواتر این تمرین نیاز به پژوهش‌های بیشتری دارد.

در کل نتایج این پژوهش نشان داد که هر دو تمرین 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 ماهیچه‌ای شوند. همچنین تمرین EQI + BFR با شدت کم توانست سطح سرمی کورتیزول را کاهش دهد و از طرفی، تمرین EQI با شدت بالا اثر چشمگیری در افزایش توان ماهیچه‌ای پا داشت و EQI + BFR با شدت کم تأثیری نداشت. به‌نظر می‌رسد EQI + BFR با شدت کم با اثر بخشی در بهبود شرایط آنابولیکی و هایپرتروفی ماهیچه‌ای مشابه تمرین EQI با شدت زیاد جایگزین خوبی در ورزشکاران تازه‌کار، تمرین نکرده و یا توانبخشی باشد. با این همه، پی‌بردن به سازوکار دقیق اثرگذاری تمرین EQI با و بدون محدودیت جریان خون، بر جنبه‌های فیزیولوژیکی و مکانیکی عضله با توجه به درگیر کردن همزمان انقباض‌های برونگرا و هم‌طول نیاز

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 Nov;30(11):3057-65. 10.1519/jsc.0000000000001412 PMID: 26950345.
2. Hughes DC, Ellefsen S, Baar K. Adaptations to Endurance and Strength Training. *Cold Spring Harb Perspect Med.* 2018 Jun 1;8(6). 10.1101/cshperspect.a029769 PMID: 28490537.
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). 10.3390/sports9020032 PMID: 33671664.
4. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res.* 2010 Oct;24(10):2857-72. 10.1519/JSC.0b013e3181e840f3 PMID: 20847704.
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 Feb;35(1):11-21. 10.1007/s10974-013-9367-4 PMID: 24162376.
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 Oct 4;7(4). 10.3390/jfmk7040081 PMID: 36278742.

به مطالعات بیشتری در آینده دارد.

محدودیت‌های این پژوهش عدم بررسی هایپرتروفی ماهیچه‌ای با ابزارالات پیشرفته و دقیق مانند تصویربرداری رزونانس مغناطیسی (^1MRI)، مدت زمان کم دوره تمرین، عدم بررسی در هر دو جنسیت خانم و آقا بود. پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی از ابزارالات پیشرفته و دقیق برای اندازه‌گیری هایپرتروفی ماهیچه‌ای استفاده گردد. همچنین، دست‌کم ۱۲ هفته تمرین و به‌ویژه در خانم‌ها نیز اثربخشی تمرین EQI به همراه BFR بررسی گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از کسانی که در اجرای پژوهش همکاری نمودند به‌ویژه آزمودنی‌ها، تشکر می‌کنند.

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 داشته‌اند.

تعارض منافع

در این پژوهش هیچگونه تعارض منافی وجود ندارد.

پی‌نوشت‌ها

- ¹ one repetition maximum
- ² mammalian target of rapamycin complex
- ³ Eccentric Quasi-Isometric
- ⁴ Range of motion
- ⁵ Blood flow restriction
- ⁶ Body mass index
- ⁷ Cross-sectional area
- ⁸ Myogenic Regulatory Factors
- ⁹ Hypoxia-inducible factor 1-alpha
- ¹⁰ Magnetic resonance imaging

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. 10.5662/wjm.v7.i2.46 PMID: 28706859.
8. Proske U, Morgan DL. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *J Physiol.* 2001 Dec 1;537(Pt 2):333-45. 10.1111/j.1469-7793.2001.00333.x PMID: 11731568.
9. Stone M, Karatzaferi 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. 10.2165/00007256-200535040-00004 PMID: 15831061.
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. 34720701.
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 Sep;31(9):1722-44. 10.1111/sms.13999 PMID: 34022085.
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*. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism.* 1991;72(2):422-5. 10.1210/jcem-72-2-422 PMID: 10.1210/jcem-72-2-422 PMID.
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. 10.3109/07420521003778773 PMID: 20560706.
15. Oranchuk D, Nelson A, Storey A, Cronin J. Scientific Basis for Eccentric Quasi-Isometric Resistance Training: A Narrative Review. *The Journal of Strength and Conditioning Research.* 2019 10/01;33:2846-59. 10.1519/JSC.0000000000003291 PMID.
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 Dec 15;40(1):45-55. 10.1007/bf00420988 PMID: 569576.
17. Hody S, Croisier JL, Bury T, Rogister B, Leprince P. Eccentric Muscle Contractions: Risks and Benefits. *Front Physiol.* 2019;10:536. 10.3389/fphys.2019.00536 PMID: 31130877.
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. *European Journal of Applied Physiology*. 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. 10.1111/j.1600-0838.2005.00450.x PMID: 16643193.
 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 biomechanics*. 2024;23(6):758-71.
 23. Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M. Eccentric exercise: physiological characteristics and acute responses. *Sports Medicine*. 2017;47:663-75.
 24. Proske U, Morgan DL. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *The Journal of physiology*. 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.
 27. Murphy M. Blood Flow Restriction Training: A Tool to Enhance Rehabilitation and Build Athlete Resiliency. *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation*. 2024 2024/10/10/:101022. <https://doi.org/10.1016/j.asmr.2024.101022> PMID.
 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 Oct;89:259-68. 10.5114/jhk/168308 PMID: 38053964.
 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. 10.3389/fphys.2022.837631 PMID: 35370772.
 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. 10.30476/whb.2024.103488.1303 PMID.
 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. *Journal of Archives in Military Medicine*. 2015;3(3).
 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.
<https://doi.org/10.1016/j.pts.2020.01.013>
 PMID.
33. Knapik JJ, Staab JS, Harman EA. Validity of an anthropometric estimate of thigh muscle cross-sectional area. *Med Sci Sports Exerc.* 1996 Dec;28(12):1523-30. 10.1097/00005768-199612000-00013
 PMID: 8970148.
 34. Johnson D, Bahamonde R. Power Output Estimate in University Athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 1996 08/01;10. 10.1519/1533-4287(1996)010<0161:POEUA>2.3.CO;2
 PMID.
 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. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 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 Jun;35(6):937-43. 10.1249/01.Mss.0000069522.38141.0b
 PMID: 12783041.
 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 2014/10/01;58:69-77.
<https://doi.org/10.1016/j.exger.2014.07.013>
 PMID.
 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 Mar;77(4):312-9. 10.1007/s004210050339
 PMID: 9562359.
 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 Jun;19(2):374-82. 32390731.
 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 Mar 25;14(1):47. 10.1186/s13102-022-00442-0
 PMID: 35337391.
 42. Brownlee KK, Moore AW, Hackney AC. Relationship between circulating cortisol and testosterone: influence of physical exercise. *J Sports Sci Med.* 2005 Mar 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-.
10.1093/biolreprod/87.s1.235 PMID.
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.
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. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2017;31(9):2599-608. 10.1519/jsc.0000000000001983 PMID: 00124278-201709000-00031.
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. 10.1055/a-0863-4539 PMID: 30943568.
47. Bodine SC. The role of mTORC1 in the regulation of skeletal muscle mass. *Fac Rev*. 2022;11:32. 10.12703/r/11-32 PMID: 36532707.
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 Winter;18(4):473-84. 10.22074/cellj.2016.4714 PMID: 28042532.
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. *Frontiers in physiology*. 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. 10.1371/journal.pone.0046571 PMID: 23082126.
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 Nov;124(11):3409-19. 10.1007/s00421-024-05544-w PMID: 38953975.
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 Sep;30(9):1594-604. 10.1111/sms.13742 PMID: 32516483.
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 Jun 24;4(2). 10.3390/jfmk4020038 PMID: 33467353.
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 Jan;119(1):265-78. 10.1007/s00421-018-4022-9 PMID: 30357517.