

علوم زیستی ورزشی - بهار ۱۳۹۵
دوره ۸، شماره ۱، ص: ۱۴۳-۱۵۴
تاریخ دریافت: ۲۲/۱۲/۹۲
تاریخ پذیرش: ۰۷/۱۱/۹۳

تأثیر پیش آماده‌سازی و فرآیند آماده‌سازی ناشی از ایسکمی - تزریق مجدد بر تولید نیروی زیربیشینه ایستا و پویا

علیرضا رضانی^{۱*} - سارا زارع کاریزک^۲ - میثم شعبانی نیا^۳

۱. استادیار دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران ۲. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران ۳. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، مریی دانشگاه آزاد اسلامی شوشتر، شوشتر، ایران

چکیده

بهینه کردن نتایج تمرین و بهبود پاسخ، نیازمند انتخاب محرک مناسب و از اهداف هر برنامه تمرینی است. به نظر می‌رسد پیش‌آماده‌سازی ناشی از ایسکمی و تزریق مجدد (IRPC) می‌تواند محرکی مناسب برای افزایش پاسخ‌های انقباضی زیربیشینه باشد. از این‌رو این پژوهش در نظر دارد تأثیر پیش‌آماده‌سازی و فرآیند آماده‌سازی ناشی از ایسکمی و تزریق مجدد (IRRPC) را بر نیروی زیربیشینه ایستا و پویای مردان جوان بررسی کند. بدین منظور ۲۰ مرد جوان دانشجوی دانشگاه شهید رجایی تهران به صورت تصادفی انتخاب شدند و در دو گروه کنترل (با میانگین سن $20 \pm 1/42$ سال، قد $174/34 \pm 5/66$ سانتی‌متر و وزن $71/1 \pm 6/12$ کیلوگرم) و آزمایش (با میانگین سن $20/5 \pm 1/33$ سال، قد $176/2 \pm 4/88$ سانتی‌متر و وزن $74/45 \pm 7/09$ کیلوگرم) جای گرفتند. شرکت‌کنندگان حرکت جلوپازو دمبل لاری تک دست با وزنه ۸ کیلوگرمی با بیشترین تکرار ممکن را برای حرکت پویا و بیشترین زمان نگهداری انقباض در زاویه ۹۰ درجه را برای حرکت ایستا انجام می‌دادند. رکوردهای پیش‌آزمون و پس‌آزمون برای دو دست جمع‌آوری شد. در گروه آزمایش قبل از پس‌آزمون، دست برتر فرد به مدت ۳ دقیقه تحت محدودیت نسبی جریان خون (BFR) قرار می‌گرفت و بعد از ۱ دقیقه تزریق مجدد، حرکت اجرا می‌شد. برای بررسی تفاوت‌های بین دو گروه از آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه استفاده شد. طبیعی بودن توزیع داده‌ها نیز از طریق آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مشخص و سطح معناداری آماری $P \leq 0/05$ تعیین شد. نتایج نشان داد IRPC افزایش معناداری ($F=14/071$ و $P=0/001$) در رکورد ایستای فرد ایجاد کرد، ولی IRRPC تأثیر معناداری نداشت. این افزایش ممکن است نتیجه پیش‌جبرانی نسبی ایسکمی موقت ناشی از انقباض‌های ایستا باشد. از طرفی IRPC و IRRPC در مقدار پاسخ‌های انقباضی پویا، تفاوت معناداری ایجاد نکرد. از این‌رو پیشنهاد می‌شود برای افزایش نیرو و تعویق خستگی در انقباض‌های زیربیشینه ایستا از IRPC استفاده شود.

واژه‌های کلیدی

ایستا، ایسکمی-تزریق مجدد پویا، پیش‌آماده‌سازی.

مقدمه

فراتر از موضوع ورزش حرفه‌ای، اهمیت آمادگی و فعالیت بدنی در حیطه‌های تندرستی، درمانی و بازتوانی به تولید دانش جدید در همه زمینه‌های علوم ورزشی منجر شده است. در همین زمینه دانشمندان و پژوهشگران این علوم همواره در کندوکاو مسائل نوین، به دستاوردهای بنیادی و کاربردی برجسته‌ای دست یافته‌اند. اعمال نیرو لازمه بسیاری از ورزش‌ها و نیز برنامه‌های درمانی و بازتوانی است. از این رو، کاربرد نیرو و افزایش قدرت بسیار مورد توجه قرار گرفته است و متغیرهای مختلفی به منظور بهینه کردن برنامه‌های تمرینی برای افزایش پاسخ و سازگاری‌های آن دستکاری شده‌اند. محرک تمرینی با بار زیاد و تکرار کم برای افزایش قدرت عضلانی اثبات شده و نشان داده شده است که اجرای ۶ تا ۱۲ تکرار با ۷۰ تا ۸۰٪ یک تکرار بیشینه بر افزایش قدرت و هایپرتروفی عضله مؤثر است (۱). در دو دهه اخیر کاآتسو^۱ که برای اولین بار در ژاپن رایج شد و به معنای تحمل بار اضافی است، برای بهینه کردن تأثیر محرک تمرینی به کار رفته است (۲). این روش از طریق ایجاد استرس متابولیک به وسیله محدودیت جریان خون (BFR^۲)، تأثیر محرک تمرینی را بیشتر می‌کند (۳،۴). از این رو در شرایطی مثل آسیب و بازتوانی که اعمال بار زیاد میسر نباشد، این روش می‌تواند جایگزین مناسبی باشد (۵). در مجموع پژوهش‌های زیادی به بررسی آثار انسداد سرخرگی و سیاهرگی به همراه تمرینات مقاومتی پرداخته و نتایج مثبتی را گزارش کرده‌اند (۱۰-۴). در واقع نشان داده شده است که جریان خون ناکافی به همراه تمرینات مقاومتی می‌تواند سازگاری عضلانی ایجاد کند (۱۱). برخی شواهد نشان داده‌اند که تمرینات کم‌شدت (LIT^۳) با تقریباً ۲۰٪ یک تکرار بیشینه (IRM^۴) همراه با BFR تأثیری برابر با تمرینات شدید (HIT^۵) با حدود ۸۰٪ IRM بر روی افزایش قدرت و هایپرتروفی دارد (۹-۸؛ ۱۷-۱۱). تأثیر مثبت LIT همراه با BFR ممکن است ناشی از فراخوانی بیشتر تارهای عضلانی تندانباز (۳،۱۲،۱۸)، پاسخ‌های هورمونی (۳؛ ۱۹-۱۸)، عوامل رشد محلی (۹،۱۷)، افزایش مسیرهای سیگنالینگ درون سلولی (۳،۲۰) و سنتز پروتئین‌های جدید باشد (۲۱).

-
1. Kaatsu
 2. Blood flow restriction
 3. Low intensity training
 4. 1 Repetation Maximum
 5. High intensity training

برخی پژوهش‌ها به بررسی پاسخ‌های پیش‌آماده‌سازی (PC^۱) و فرآیند آماده‌سازی (RPC^۲) محدودیت جریان خون عضله پرداخته‌اند. پترسون^۳ و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند یک وهله فعالیت ورزشی کم‌شدت با BFR به افزایش معنادار بیشتری در غلظت‌های GH^۴ و VEGF^۵ نسبت به همان فعالیت بدون BFR منجر می‌شود (۲۲). مشاهداتی نیز نشان داده‌اند پیش‌آماده‌سازی ناشی از ایسکمی - تزریق مجدد (IRPC^۶) عملکرد عضلانی را بهبود می‌بخشد (۲۳). یک سازوکار پیشنهادی، افزایش جریان خون عضله است که از طریق عمل رگ‌گشایی کانال‌های پتاسیمی وابسته به ATP و سطوح آدنوزین^۷ رخ می‌دهد (۲۳). تزریق مجدد خون، بستر مویرگی را پر خون می‌کند (۲) و از این طریق پاسخ عضله به مقاومت را افزایش می‌دهد. نشان داده شده است که IRPC، مصرف اکسیژن و برون‌ده توان را هنگام رکاب زدن شدید افزایش می‌دهد. اعمال این محرک، خون‌رسانی و عملکرد اندوتلیومی را بهبود می‌بخشد (۲۴). یاسودا^۸ و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان دادند انقباض‌های درون‌گرا و برون‌گرا همراه با BFR به تورم عضله و افزایش دور بازو منجر می‌شود که این میزان در بخش درون‌گرا بیشتر بود. به‌علاوه^۹ iEMG عضله^۹ دوسر نیز با انقباض درون‌گرا بیشتر بود. این یافته‌ها نشان داد ترکیب انقباض درون‌گرا و انسداد نسبی جریان خون به پاسخ‌های برجسته اندازه عضله و شاخص‌های تورمی منجر می‌شود که می‌تواند برای تقویت هایپرتروفی عضله عامل مهمی باشد (۲۵). همچنین لیبوناتی^{۱۰} و همکاران (۱۹۹۸) تأثیر تزریق مجدد خون پس از ایسکمیک ناشی از انسداد بازو با فشار ۲۰۰ میلی‌متر جیوه به مدت ۲ دقیقه را بر روی برون‌ده توان ایستای تاکننده^{۱۱} مچ دست ۱۱ مرد و زن جوان اندازه‌گیری کردند. مقایسه‌ها نشان داد برون‌ده توان با IRPC به‌صورت معناداری نسبت به زمانی که شرکت‌کنندگان بدون پروتکل پیش‌آماده‌سازی حرکت را انجام می‌دادند، بیشتر بود (۲۶). در این زمینه پژوهش‌های دیگری نیز تأثیر IRPC بر بهبود پاسخ عضلانی، عملکرد ورزشی و حتی بازیافت بهتر را تأیید کرده‌اند (۲۷-۲۹). به‌علاوه نشان داده شده است که BFR می‌تواند موجب اثر RPC نیز شود. RPC

-
1. Preconditioning
 2. Remote Preconditioning
 3. Peterson
 4. Growth Hormone
 5. Vascular Endothelial Growth Factor
 6. Ischemic Reperfusion Preconditioning
 7. Adenosine
 8. Yasuda
 9. integrated Electromyography
 10. Libonatti

به معنای ایجاد محدودیت در یک عضو و تأثیر بر پاسخ یا ایجاد سازگاری در عضو دیگر است. در این مورد بیلی و همکاران (۲۰۱۲) اثر تعدیلی RPC را بر رگ تنگی شریان بازویی پس از فعالیت شدید پایین تنه نشان دادند. RPC شامل BFR تناوبی اندام تحتانی (۵×۴ دقیقه انسداد با ۲۲۰ میلی‌متر جیوه) و فعالیت ورزشی ۵ دقیقه دویدن تایم تریال روی تردمیل بود. نتایج نشان داد بر خلاف گروه کنترل در این گروه، رگ تنگی شریان بازویی پس از فعالیت رخ نداد (۳۰).

البته در مورد میزان تأثیر BFR و چگونگی تأثیر آن بر متغیرهای وابسته، اجماع نظر وجود ندارد. برای مثال نشان داده شده است که به‌رغم ایجاد سازگاری، این روش تمرینی به‌منظور افزایش قدرت ایستا و پویا و نیز سطح مقطع عضله به اندازه روش HIT کارایی ندارد (۳۱). همچنین فاهس^۱ و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند پاسخ‌های کوتاه‌مدت اتساع‌پذیری عروق بزرگ پس از HIT، LIT و LIT همراه با BFR تفاوتی با هم ندارند، ولی در عروق کوچک‌تر ۱۵ دقیقه پس از فعالیت، HIT اتساع‌پذیری بیشتری نشان می‌دهد (۳۲). در پژوهشی دیگر ورنبوم^۲ و همکاران (۲۰۱۲) عملکرد انقباضی و نفوذپذیری سارکولمایی را پس از LIT همراه با BFR بررسی کردند. شرکت‌کنندگان عمل باز کردن زانو را در ۵ ست تا رسیدن به ناتوانی انجام می‌دادند، درحالی‌که جریان خون یکی پاها به‌وسیله کاف مخصوص محدود شده بود. نتایج، کاهش معنادار MVC^3 و کوفتگی عضلانی تأخیری را پس از ۴۸ ساعت در هر دو پا نشان داد. نفوذپذیری سارکولمایی نیز که نشان‌دهنده آسیب سلولی است در پای بسته‌شده ۱، ۲۴ و ۴۸ ساعت بعد افزایش نشان داد. این یافته‌ها هم ایمنی و هم تأثیرپذیری محرک تمرینی با این روش را با تردید مواجه کرد (۳۳). در عمده پژوهش‌های صورت‌گرفته نیز تأثیر BFR بر سازگاری و پاسخ‌های انقباضی پویا بررسی شده و در مورد پاسخ‌های انقباضی ایستا که روشی مؤثر برای افزایش قدرت، به‌ویژه هنگام بازتوانی است، پژوهش‌های درخور توجهی صورت نگرفته است. به‌ویژه اینکه ماهیت انقباضات ایستا به‌گونه‌ای است که عضله را بیشتر تحت تأثیر ایسکمی قرار می‌دهد. همچنین با وجود اهمیت موضوع فرآیند آماده‌سازی به‌ویژه در برنامه‌های بازتوانی، پژوهش‌های انجام‌گرفته در این زمینه به‌گونه‌ای که بتوان در مورد تأثیر آن به اجماع رسید، کمتر مشاهده شده‌اند. از این‌رو پژوهش حاضر در نظر دارد تأثیر پیش‌آماده‌سازی و فرآیند آماده‌سازی ناشی از ایسکمی - تزریق مجدد بر نیروی زیربیشینه ایستا و پویا را بین مردان جوان بررسی کند.

-
1. Fahs
 2. Wernbom
 3. Maximum Voluntary Contraction

روش پژوهش

روش پژوهش از نوع نیمه‌تجربی و جامعه آماری شامل تمامی دانشجویان مرد دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران بود. از بین داوطلبان شرکت در آزمون ۲۰ نفر به صورت تصادفی برای شرکت در آزمون انتخاب شدند و در گروه‌های کنترل و آزمایش قرار گرفتند و داده‌های توصیفی آنها شامل قد، وزن و سن (جدول ۱) اندازه‌گیری شد. سوابق فعالیت و سلامت شرکت‌کنندگان از طریق پرسشنامه محقق ساخته کنترل شد. در زمان انجام آزمون هیچ‌کدام از آزمودنی‌ها آسیب درمان نشده یا ناهنجاری خاصی به طوری که نتایج را تحت تأثیر قرار دهد، در هیچ عضوی نداشت. در روزهای آزمون و یک روز قبل از آن، نوع تغذیه افراد یکسان و مقدار آن دلخواه تعیین شد. در ضمن آزمودنی‌ها حداقل ۸ ساعت خواب شبانه داشتند. زمان، مکان و شرایط اجرای آزمون برای همه آزمودنی‌ها یکسان بود.

جدول ۱. ویژگی‌های فردی آزمودنی‌ها

ویژگی‌های گروه	سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)	فشار خون سیستولی (میلی‌متر جیوه)	فشار خون دیاستولی (میلی‌متر جیوه)
کنترل	۲۰±۱/۴۲	۱۷۴/۳۴±۵/۶۶	۷۱/۱±۶/۱۲	۱۲۱/۲±۴/۸۸	۸۰/۲±۲/۹۴
آزمایش	۲۰/۵±۱/۳۳	۱۷۶/۲±۴/۸۸	۷۴/۴۵±۷/۰۹	۱۱۹/۸±۴/۴۱	۷۹/۷±۳/۱۲

روش اجرا

شرکت‌کنندگان در این پژوهش سابقه تمرین مقاومتی و کار با وزنه‌های آزاد را نداشتند. به همین دلیل برای آشنا کردن آنها با آزمون، کاهش اثر پیش‌آزمون و تأثیر هماهنگی عصبی-عضلانی بر افزایش نیرو، یک هفته قبل از اجرای آزمون شرکت‌کنندگان در سه جلسه تمرین مقاومتی به‌ویژه با عضلات بالاتنه شرکت کردند. آزمون منتخب پژوهش شامل حرکات زیربیشینه ایستا و پویای جلو بازوی تک دست لاری با دمبل ۸ کیلوگرمی بود. در این شیوه اجرا، اثر تداخلی اعمال نیروی سایر عضلات مثل شانه، تنه و اندام تحتانی به حداقل می‌رسد. این مقدار وزنه بیشترین باری بود که در تمرینات، ضعیف‌ترین شرکت‌کننده می‌توانست حداقل ۱۰ بار حرکت جلو بازوی پویا را با آن به درستی اجرا کند. همین وزنه برای تولید نیروی ایستا نیز به کار رفت. پس از ۵ دقیقه گرم کردن بالاتنه و اندام فوقانی پیش‌آزمون اجرا شد. در حالت پویا فرد ابتدا با دست برتر و سپس بلافاصله با دست غیربرتر بیشترین تکرار ممکن را انجام می‌داد و رکورد وی ثبت می‌شد. در حالت ایستا، فرد انقباض را در زاویه ۹۰ درجه آرنج نگه

می‌داشت و کنترل آن توسط سطح قابل تنظیم زیر میج دست وی انجام می‌گرفت. این سطح ۳ سانتی‌متر زیر میج قرار می‌گرفت و آزمون زمانی به پایان می‌رسید و رکورد به ثانیه ثبت می‌شد که میج دست یا ساعد با این سطح برخورد کند. آزمون ایستا نیز ابتدا با دست برتر و سپس با دست غیربرتر انجام گرفت. آزمون پویا صبح و ایستا بعدازظهر اجرا شد. برای تعدیل اثر خستگی عضلانی و همچنین اثر پیش‌آزمون، پس‌آزمون ۲۴ ساعت بعد انجام گرفت. داده‌های پس‌آزمون به این ترتیب جمع‌آوری شد. ابتدا گروه‌ها ۵ دقیقه گرم کردند و سپس گروه آزمایش تحت تأثیر BFR قرار گرفت. BFR شامل بستن بازوی دست برتر با فشاری معادل ۲۰ میلی‌متر جیوه کمتر از فشار خون سیستولی استراحت هر آزمودنی به مدت ۳ دقیقه بود. برای این کار ابتدا فشار خون استراحت توسط فشارسنج (OMORN، MS-I، اندازه‌گیری شد و سپس کاف همین دستگاه به‌منظور ایجاد انسداد نسبی با فشاری معادل ۲۰ میلی‌متر جیوه کمتر از فشار خون سیستولی به‌کار رفت تا جریان خون کاملاً مسدود نشود (۳۴). پس از باز کردن کاف فشار، یک دقیقه ماساژ و نرمش برای همان دست انجام گرفت و شرکت‌کننده آزمون را درست مانند پیش‌آزمون اجرا می‌کرد. گروه کنترل نیز به همان شیوه پیش‌آزمون عمل کرد.

روش‌های آماری

برای بررسی تفاوت‌های بین دو گروه از آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه استفاده شد. طبیعی بودن توزیع داده‌ها نیز از طریق آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مشخص و سطح معناداری آماری $P \leq 0.05$ تعیین شد. از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۰ برای تحلیل آماری داده‌ها و EXCEL و WORD نسخه ۲۰۱۰ برای رسم نمودارها و جداول استفاده شد.

یافته‌های پژوهش

جدول ۲ میانگین و انحراف معیار رکوردهای افراد را در پیش و پس‌آزمون نشان می‌دهد. در آزمون ایستا، نتایج تحلیل واریانس یک‌راهه تفاوت معناداری را بین تفاضل رکوردهای پیش‌آزمون و پس‌آزمون برای دست برتر دو گروه با توجه به مقادیر $F=14/071$ و $P=0/001$ نشان داد. در مورد دست غیربرتر به‌رغم افزایش رکوردهای پس‌آزمون در گروه آزمایش، مقادیر $F=4/083$ و $P=0/058$ تفاوت ایجادشده را با گروه کنترل معنادار نشان نداد. به‌عبارت دیگر، PC ناشی از BFR روی رکوردهای ایستای افراد تأثیر مثبت داشت، ولی افزایش رکورد ناشی از RPC روی دست غیربرتر در حد ایجاد تفاوت معنادار نبود.

جدول ۲. میانگین و انحراف معیار رکوردهای دست برتر و غیربرتر به همراه مقادیر F و ارزش‌های P

ارزش P	مقادیر F بین گروهی	تفاوت پیش و پس‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	گروه	متغیر
$P=0/001$	$F=14/071^*$	$1/34 \pm 4/48$ $8/18 \pm 3/61$	$73/45 \pm 14/50$ $75/29 \pm 18/34$	$72/11 \pm 14/82$ $67/10 \pm 18/55$	کنترل آزمایش	ایستا به ثانیه (دست برتر)
$P=0/058$	$F=4/083$	$-0/28 \pm 4/97$ $3/76 \pm 3/93$	$68/79 \pm 11/55$ $67/43 \pm 17/47$	$69/07 \pm 11/89$ $63/67 \pm 17/60$	کنترل آزمایش	ایستا به ثانیه (دست غیر برتر)
$P=0/291$	$F=1/184$	$1/2 \pm 3/52$ $-0/1 \pm 1/37$	$21/6 \pm 6/53$ $18/8 \pm 5/09$	$20/4 \pm 4/52$ $18/9 \pm 4/38$	کنترل آزمایش	پویا به تکرار (دست برتر)
$P=0/544$	$F=0/382$	$-1/1 \pm 2/80$ $-0/4 \pm 2/22$	$16/3 \pm 5/30$ $16/5 \pm 5/44$	$17/4 \pm 6/60$ $16/9 \pm 6/24$	کنترل آزمایش	پویا به تکرار (دست غیر برتر)

در آزمون پویا نتایج تحلیل واریانس یکراهه در مورد دست برتر، مقادیر $F=1/184$ و $P=0/291$ را برای تفاضل رکوردهای پیش و پس‌آزمون در دو گروه نشان داد که تفاوت معناداری را بین گروه‌های آزمایش و کنترل نشان نمی‌دهد. در مورد دست غیربرتر نیز مقادیر $F=0/382$ و $P=0/544$ تفاوتی را بین تفاضل رکوردهای پیش و پس‌آزمون دو گروه نشان نداد. به بیان دیگر در این پژوهش PC و RPC تأثیری بر افزایش نیروی زیربیشینه پویای افراد نداشت.

بحث و نتیجه‌گیری

بهبود کردن نتایج تمرین و بهبود پاسخ، از اهداف هر برنامه تمرینی و نیازمند انتخاب محرک مناسب است. اخیراً پیش‌آماده‌سازی و فرآیند آماده‌سازی ناشی از ایسکمی-تزریق مجدد به‌عنوان محرکی برای افزایش پاسخ و سازگاری عضلانی مورد توجه قرار گرفته و برخی پژوهش‌ها آثار مثبت آن را گزارش کرده‌اند (۱۰-۴). پژوهش حاضر نیز اثر این محرک را بر نیروی زیربیشینه ایستا و پویای اندام فوقانی بررسی کرد. نتایج نشان داد پیش‌آماده‌سازی عضله از راه ۳ دقیقه ایسکمی نسبی با فشاری معادل ۲۰ میلی‌متر جیوه کمتر از فشار خون سیستولی فرد و سپس ۱ دقیقه تزریق مجدد، نیروی زیربیشینه ایستا را به‌صورت معناداری افزایش می‌دهد. همان‌گونه که پیشتر ذکر شد پژوهش‌های زیادی در مورد تأثیر پیش‌آماده‌سازی ناشی از BFR بر انقباض‌های ایستا صورت نگرفته است. تنها لیوناتی و همکاران (۱۹۹۸) تأثیر مثبت آن را روی برون‌ده توان ایستای عمل تا کردن مچ دست گزارش کردند که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. IRPC از طریق آثار همودینامیک و رگ‌گشایی ایجادشده بستر مویرگی

عضله را خون‌رسانی مضاعف می‌کند (۲۳،۲). به‌نظر می‌رسد همین امر می‌تواند سبب بهبود نیروی زیربیشینه ایستا در این افراد باشد که در آن ایسکمی موقت یک عامل محدودکننده است. از طرفی بررسی فرآینش‌آماده‌سازی که از طریق سنجش نیروی زیربیشینه ایستای دست غیربرتر (دست بدون BFR) سنجیده شد، نشان داد این راهبرد بر اعمال نیروی زیربیشینه ایستا تأثیری ندارد. پژوهشی که به‌ویژه تأثیر فرآینش‌آماده‌سازی را بر نیروی زیربیشینه ایستا بررسی کرده باشد مشاهده نشد، ولی بیلی و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند فرآینش‌آماده‌سازی بر رگ تنگی شریان بازویی پس از فعالیت شدید پایین‌تنه اثر تعدیل‌کنندگی دارد (۳۰). این اثر می‌تواند ایسکمی موقت ناشی از انقباض ایستا را تا حدودی جبران کند و از این راه به افزایش نیروی زیربیشینه کمک کند. از این‌رو از این نظر با پژوهش حاضر همخوانی ندارد. البته در پژوهش بیلی، نیروی اندام فوقانی سنجیده نشد و کاهش نیرو فقط یک فرضیه است. در مورد تأثیر IRPC و IRRPC روی تکرار انقباض‌های پویای زیربیشینه، نتایج نشان داد پروتکل مورد استفاده در این پژوهش بر افزایش نیروی زیربیشینه پویا تأثیری نداشت. از آنجا که در انقباض‌های پویا، تلمبه عضلانی از کار نمی‌افتد و مانند انقباض‌های ایستا فشار ممتد بر روی عروق مشروب‌کننده عضله وارد نمی‌شود تا ایسکمی موقت حادث شود، به‌نظر می‌رسد در اینجا راهبرد مذکور نمی‌تواند تأثیر برجسته‌ای در جهت تحریک عضله یا رفع محدودیت داشته باشد. این نتیجه با نتایج پژوهش‌های دی‌گروت و همکاران (۲۰۱۰)، جین اس تی و همکاران (۲۰۱۱) و بیون و همکاران (۲۰۱۱) همخوانی ندارد. جین اس تی^۱ و همکاران (۲۰۱۱) بهبود رکورد شنای ۱۰۰ متر به میزان ۰/۷ ثانیه را بعد از ۵×۴ دقیقه IRPC گزارش کردند. IRPC ۴۵ دقیقه قبل از آزمون، با فشاری حدود ۱۵ میلی‌متر جیوه بیش از فشار خون سیستولی استراحتی روی اندام فوقانی انجام گرفته بود. بیون^۲ و همکاران نیز (۲۰۱۱) تأثیر BFR بر پاسخ و بازیافت پس از فعالیت ورزشی شدید را بررسی کردند. آنها از پروتکل BFR با فشار ۲۲۰ میلی‌متر جیوه (۲ تا ۳ دقیقه برای هر پا) و تزریق مجدد قبل از انقباض‌های توانی و شدید درون‌گرا و برون‌گرای اندام تحتانی استفاده کردند. نتایج نشان داد در این گروه، روش پیش‌آماده‌سازی سبب برون‌ده توان بیشتر بلافاصله و پس از ۲۴ ساعت بازیافت نسبت به گروه کنترل شد (۲۹،۲۷،۲۴). دلیل ناهمخوانی نتایج ممکن است تفاوت پروتکل‌های IRPC، شامل مدت BFR و میزان فشار جهت ایجاد محدودیت و همچنین نوع متفاوت فعالیت ورزشی انجام‌گرفته

1. Jean S T
2. Beaven

باشد. همچنین در این پژوهش هیچ‌کدام از شرکت‌کنندگان، درد و کوفتگی عضلانی را پس از آزمون و تا ۴۸ ساعت پس از آن گزارش نکردند. این امر نشان می‌دهد به‌نظر می‌رسد پروتکل مورد استفاده در این پژوهش از سلامت و ایمنی لازم برخوردار باشد و ظاهراً تغییرات فیزیولوژیک نامطلوب گذرا و ماندگاری به‌دنبال نداشته باشد. این نتیجه بر خلاف گزارش ورنبوم و همکاران (۲۰۱۲) در مورد این شیوه پیش‌آماده‌سازی است. البته تفاوت مذکور ممکن است ناشی از پروتکل‌های گوناگون مورد استفاده در این پژوهش‌ها باشد (۳۳).

در مجموع با توجه به نتایج این پژوهش و نظر به یافته‌های سایر پژوهش‌ها می‌توان گفت پیش‌آماده‌سازی عضله بر پاسخ‌های انقباضی زیربیشینه تأثیر مثبتی دارد. فرایند ایسکمی و تزریق مجدد یک روش مؤثر پیش‌آماده‌سازی و فرآیند آماده‌سازی برای بسیاری از پاسخ‌های انقباضی است. انقباضات ایستا به‌دلیل تحمیل ایسکمی موقت به عضله، فعالیت را محدود و خستگی را تحریک می‌کنند. پیش‌آماده‌سازی ناشی از ایسکمی-تزریق مجدد از راه پیش‌جبرانی نسبی این محدودیت، فعالیت عضلانی زیربیشینه ایستا را بهبود می‌بخشد و خستگی را به تعویق می‌اندازد. از این‌رو استفاده از این روش برای افزایش پاسخ انقباضی ایستای زیر بیشینه پیشنهاد می‌شود. در مورد انقباض‌های پویا و فعالیت‌های ورزشی گوناگون با شدت‌های مختلف نتایج متناقضی وجود دارد و انجام پژوهش‌های دیگر با دستکاری متغیرهای مختلف توصیه می‌شود. همچنین در این پژوهش تأثیر فرآیند آماده‌سازی بر روی انقباض‌های ایستا و پویای زیر بیشینه تأیید نشد و این مورد نیازمند بررسی‌های بیشتری است. با توجه به اینکه پروتکل‌های مختلفی برای BFR و ایسکمی - تزریق مجدد (حسب میزان شدت، زمان و توالی ایسکمی - تزریق مجدد) جهت افزایش سازگاری و بهبود پاسخ‌های انقباضی وجود دارد، به‌نظر می‌رسد همین امر بخش زیادی از پراکندگی نتایج در زمینه میزان اثربخشی این شیوه بهینه‌سازی پاسخ و نتایج تمرین را توضیح دهد. عدم مقایسه پروتکل‌های کنترل‌شده مختلف در یک پژوهش واحد، از محدودیت‌های این پژوهش و بسیاری از پژوهش‌های صورت‌گرفته در این حیطه است. همچنین در این پژوهش تأثیر BFR بر پاسخ‌های انقباضی گزارش شد و دلایل و چگونگی ایجاد این پاسخ‌ها با توجه به مبانی نظری و ادبیات موضوع توجیه شد. محدودیت دیگر این پژوهش عدم بررسی تغییرات متغیرهای خونی، عروقی و اندوتلیومی است که این پاسخ‌های منحصره‌فرد را ایجاد کرده‌اند. از این‌رو شایسته است در پژوهش‌های آتی این متغیرها نیز اندازه‌گیری و کواریت شوند.

منابع و مأخذ

1. Yasuda T, Brechue W, Fujita T, Shrikawa J, Sato Y, Abe T. Muscle activation during low-intensity muscle contractions with restricted blood flow. *J Sport Sci* 2009;27:479-489.
2. Sato y. The history and future of KAATSU Training. *Int. J. Kaatsu Training. Res* 2005;1: 1-5.
3. Loenneke J, Wilson G, Wilson J. A Mechanistic Approach to Blood Flow Occlusion. *Int J Sports Med* 2010;31:1-4.
4. Okita K, Takada S. Application of Blood Flow Restriction in Resistance Exercise Assessed by Intramuscular Metabolic Stress. *J Nov Physiother* 2013;3:187.doi:10.4172/2165-7025.1000187.
5. Lejkowski PM, Pajaczkowski JA. Utilization of Vascular Restriction Training in post-surgical knee rehabilitation: a case report and introduction to an under-reported training technique. *J Can Chiropr Assoc* 2011;55(4):280–287.
6. Fujita S, Abe T, Drummond MJ, Cadenas JG, Dreyer HC. Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. *J Appl Physiol* 2007;103: 903-910.
7. Manini TM, Clark BC. Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *Exerc Sport Sci Rev* 2009;37:78-85.
8. Takarada Y, Sato Y, Ishii N. Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *Eur J Appl Physiol* 2002;86: 308-314.
9. Takarada Y, Takazawa H, Sato Y, Takebayashi S, Tanaka Y. Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *J Appl Physiol* 2000;88: 2097-2106.
10. Weatherholt A, Beekley M, Greer S, Urtel M, Mikesky A. Modified Kaatsu Training: Adaptations and Subject Perceptions. *Med. Sci. Sports Exerc* 2013;45(5): 952–961.
11. Yasuda T, Ogasawara R, Sakamaki M, Ozaki H, Sato Y, Abe T. Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size. *Eur J Appl Physiol* 2011;111:2525-2533.
12. Burgomaster K, Moore D, Schofield L, Phillips S, Sale D, Gibala M. Resistance training with vascular occlusion: metabolic adaptations in human muscle. *Med Sci Sports Exerc* 2003;1203-1208.
13. Cook S, Clark B, Ploutz-Snyder L. Effects of exercise load and blood-flow restriction on skeletal muscle function. *Med Sci Sports Exerc* 2007;1708-1713.
14. Nishimura A, Masaaki S, Kato K, Fukuda A, Sudo A, Uchida A. Hypoxia increases muscle hypertrophy induced by resistance training. *Int J Sports Physiol Perform* 2010;5: 497-508.
15. Teramoto M, Golding L. Low-intensity exercise, vascular occlusion, and muscular adaptations. *Res Sports Med* 2006;14:259-271.

16. Wernbom M, Augustsson J, Raastad T. Ischemic strength training: a low-load alternative to heavy resistance exercise? *Scand J Med Sci Sports* 2008;18:401-416
17. Wernbom M, Augustsson J, Thomee R. Effects of vascular occlusion on muscular endurance in dynamic knee extension exercise at different sub maximal loads. *J Strength Cond Res* 2006;20:372-377.
18. Loenneke JP, Fahs CA, Wilson JM, Bemben MG. Blood flow restriction: The metabolite/volume threshold theory. *Medical Hypotheses* xxx (2011) xxx-xxx. available at ScienceDirect.
19. Kawada S. What phenomena do occur in blood flow-restricted muscle? *Int J Kaatsu Training Res* 2005;1:37-44.
20. Drummond M, Fujita S, Abe T, Dreyer H, Volpi E, Rasmussen B. Human muscle gene expression following resistance exercise and blood flow restriction. *Med Sci Sports Exerc* 2007;691-698.
21. Fujita S, Abe T, Drummond M, Cadenas J, Dreyer H, Sato Y, Volpi E, Rasmussen B. Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. *J Appl Physiol* 2007;103:903-910.
22. Patterson S D, Leggate M, Nimmo M A, Ferguson R A. Circulating hormone and cytokine response to low-load resistance training with blood flow restriction in older men. *Eur J Appl Physiol* 2013;113:713-719.
23. Kilduff LP, Finn CV, Baker JS, Cook CJ, West DJ. Preconditioning Strategies to Enhance Physical Performance on the Day of Competition. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2013;8:677-681.
24. De Groot P, Thijssen D, Sanchez M, Ellenkamp R, Hopman M. Ischemic preconditioning improves maximal performance in humans. *Eur J of Appl Physiol* 2010;108:141-146.
25. Yasuda T, Loenneke JP, Thiebaut RS, Abe T. Effects of Blood Flow Restricted Low-Intensity Concentric or Eccentric Training on Muscle Size and Strength. *PLoS ONE* 2012;7(12): e52843. doi:10.1371/journal.pone.0052843.
26. Libonati JR, Cox M, Incanno N, Melville SK, Musante FC, Glassberg HL, Guazzi M. Brief periods of occlusion and reperfusion increase skeletal muscle force output in humans. *Cardiologia* 1998;43 (12):1355-1360.
27. Jean-St-Michel E, Manhiot C, Li J. Remote preconditioning improves maximal performance in highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2011;43:1280-1286.
28. Bailey TG, Jones H, Gregson W, Atkinson G, Cable NT, Thijssen, DHJ. Effect of Ischemic Preconditioning on Lactate Accumulation and Running Performance. *Med. Sci. Sports Exerc* 2012;44(11):2084-2089.
29. Beaven C. Intermittent lower-limb occlusion enhances recovery after strenuous exercise. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 2012;37(6): 1132-1139.
30. Bailey TG, Birk GK, Cable NT, Atkinson G, Green DJ, Jones H, Thijssen DHJ. Remote ischemic preconditioning prevents reduction in brachial artery flow-mediated dilation after strenuous exercise. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2012;303: 533-538.

31. Yasuda T, Ogasawara R, Sakamaki M, Ozaki H, Sato Y, Abe T. Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size. *Eur J Appl Physiol* 2011;111:2525–2533.
32. Fahs CA, Rossow LM, Seo D, Loenneke JP, Sherk VD, Kim E, Bemben DA, Bemben MG. Effect of different types of resistance exercise on arterial compliance and calf blood flow. *Eur J Appl Physiol* 2011;111:2969–2975.
33. Wernbom M, Paulsen G, Nilsen TS, Hisdal J, Raastad T. Contractile function and sarcolemmal permeability after acute low-load resistance exercise with blood flow restriction. *Eur J Appl Physiol* 2012;112:2051–2063.
34. Fahs CA, Loenneke JP, Rossow LM, Thiebaud RS, Bemben MG. Methodological considerations for blood flow restricted resistance exercise. *Journal of Trainology* 2012;1:14-22.