پژوهنده (مجله پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی)
سال بیستم، شماره ۵، پی‌درپی ۱۰۷، صفحات ۲۴۹ تا ۲۵۷
آذر و دی ۱۳۹۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۲/۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۱۹

تأثیر فعالیت ایزومتریک با شدت‌های مختلف با و بدون کاهش جریان خون بر درگیری تارهای تند انقباض

کیوان خرمی‌پور[*1]، *دکتر خسرو ابراهیم*[2]، *دکتر فریبرز هوانلو*[3]، *دکتر پونه دهقان*[4]، *عارف باسره*[5]

۱. دانشجوی دکتری بیوشیمی و متابولیسم ورزشی، دانشکده تربیت بدنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲. دکتری فیزیولوژی ورزشی، استاد دانشکده تربیت بدنی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳. دکتری توانبخشی جسمانی، دانشیار دانشکده تربیت بدنی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۴. دکتری رادیولوژی، استادیار مرکز تحقیقات بالینی بیمارستان طالقانی، تهران، ایران
۵. کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

سابقه و هدف: درگیری تارهای تند انقباض باعث افزایش حجم و قدرت عضله می‌شود اما این تارها در شدت‌های بالا، فراخوانی می‌شوند. افراد پیر یا در حال بازتوانی، توانایی انجام تمرینات با شدت بالا را ندارند. از طرفی گفته می‌شود که تمرینات همراه با کاهش جریان خون، می‌تواند تار تند انقباض را در شدت‌های پایین نیز فراخوانی کند. بنابراین، در این تحقیق بر آن شدیم که تأثیر حاد فعالیت ایزومتریک با شدت‌های مختلف با و بدون کاهش جریان خون را بر درگیری تارهای تند انقباض، بررسی کنیم.

مواد و روش‌ها: تحقیق حاضر، یک کارآزمایی بالینی از نوع متقاطع می‌باشد. آزمودنی‌های این تحقیق ۱۰ دانشجوی پسر سالم بودند. پروتکل تحقیق شامل ۶ انقباض ایزومتریک ۱۰ ثانیه‌ای با ۶۰ ثانیه استراحت بین انقباض‌ها بود. قبل، بعد و ۱۰ دقیقه بعد از هر جلسه فعالیت، مقدار لاکتات اندازه‌گیری شد. در حین هر جلسه فعالیت نیز شاخص IEMG (Integrated Electromyography) ثبت گردید.

یافته‌ها: مقادیر افزایش لاکتات و IEMG در جلسات فعالیت با ۶۵ درصد MVC (Maximum Isometric Voluntary Contraction) با و بدون کاهش جریان خون، به‌طور معناداری متفاوت بودکه این مقادیر در جلسه‌ی فعالیت با ۶۵ درصد MVC همراه با کاهش جریان خون، بیشتر بود. اما مقدار این شاخص‌ها بین جلسات فعالیت با ۶۵ درصد MVC همراه با کاهش جریان خون و ۱۰۰ درصد MVC بدون کاهش جریان خون، هیچ تفاوت معناداری وجود نداشت.

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد انجام فعالیت ایزومتریک همراه با کاهش جریان خون نسبت به انجام همان فعالیت و با بار یکسان اما بدون کاهش جریان خون، می‌تواند باعث درگیری بیشتر تارهای تند انقباض شود. همچنین، درگیری این تارها در فعالیت با ۶۵ درصد MVC همراه با کاهش جریان خون، برابر با فعالیت با ۱۰۰ درصد MVC بدون کاهش جریان خون است.

واژگان کلیدی: فعالیت ایزومتریک، کاهش جریان خون، درگیری تارهای تند انقباض، لاکتات، الکترومایوگرافی

لطفاً به این مقاله به صورت زیر استناد نمایید:

Khoramipour K, Ebrahim K, Hovanloo F, Dehghan P, Basereh A. Effect of isometric exercise with different load with and without blood flow restriction on fast twitch fibers recruitment. Pejouhandeh 2015;20(5):249-257.

مقدمه

یکی از انواع فعالیت‌های بدنی که بیشترین تأثیر را بر افزایش حجم و قدرت عضلانی دارد، تمرین مقاومتی است. به طورکلی تمرین مقاومتی که جهت افزایش حجم و قدرت عضلانی انجام می‌گیرد، باید شدتی در حدود ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه یا 1RM (One repetition maximum) داشته باشد (۱). اما افراد پیر یا درحال بازتوانی، به دلیل فشاری که از این وزنه‌ها بر مفاصلشان وارد می‌شود و افراد دارای مشکلات قلبی به دلیل فشار بیش از حد وارده بر قلبشان، قادر به استفاده از وزنه‌های سنگین نیستند و فقط به استفاده از وزنه‌های سبک محدود می‌شوند. با وجود این‌که انجام تمرینات سبک برای این افراد بهتر از بی‌تحرک بودن

*نویسنده مسؤول مکاتبات: کیوان خرمی پور؛ کردستان، سنندج، خیابان حسن آباد، کوچه فرخنده، طبقه ۳، کد پستی ۶۶۱۷۶۱۴۴۱۱؛ تلفن: ۰۹۱۲۰۳۵۶۳۸۳؛ پست الکترونیک: kaivan.khorami@yahoo.com

[Downloaded from pajoohande.sbmu.ac.ir on 2025-07-09]

است، اما جهت افزایش حجم و قدرت عضلانی، حتماً باید از وزنه‌های سنگین استفاده شود (۲). بنابراین، مشکلی که اغلب این افراد به آن دچار می‌شوند، از دست دادن حجم عضلانی (آتروفی) است. یکی از روش‌های جدیدی که به منظور جلوگیری از آتروفی عضلانی در افراد بی‌تحرک استفاده می‌شود، ممانعت از رسیدن خون به اندام مورد نظر است (۵-۳). گروهی از محققان نشان دادند که با مسدود کردن عروق خون‌رسان به پای ورزشکارانی که بعد از پارگی رباط صلیبی قدامی (Anterior cruciate ligament) تحت عمل جراحی قرارگرفته و بعد از آن مجبور به استراحت در بستر بوده‌اند، می‌توان از آتروفی عضلانی آنها جلوگیری کرد (۶). اما در زمان بازتوانی یا در تمرینات مقاومتی برای افراد مسن، علاوه بر جلوگیری از آتروفی عضلانی، افزایش حجم و قدرت نیز یکی دیگر از اهداف مهم می‌باشد. بنابراین محققان پیشنهاد کرده‌اند که در افراد پیر یا در حال بازتوانی،کاهش جریان خون با انجام تمرین مقاومتی با بار کم برای همان عضله انجام شود تا علاوه بر جلوگیری از آتروفی، حجم و قدرت عضلانی نیز اقزایش یابد (۵). در تمرین با شدت کم به همراه کاهش جریان خون، به دلیل کمبود خون در عضله و درنتیجه کمبود اکسیژن در دسترس، فشار متابولیکی افزایش یافته و عضلات نوع اول خیلی زود خسته می‌شوند و در نتیجه، تکیه بر عضلات تند انقباض و متابولیسم غیرهوازی بیشتر می‌شود (۸،۷،۵) که این درگیری بیشتر تارهای عضلانی تند انقباض، باعث پاسخ‌های هورمونی شدیدتر (۹)، افزایش فشار مکانیکی و افزایش انباشت متابولیت‌ها (۱۰) می‌شود. افزایش انباشت متابولیت‌ها به نوبه‌ی خود باعث تحریک تولید عوامل رشد محیطی و موضعی می‌گردد و درنتیجه، همانندسازی و ترجمه‌ی پروتئین‌ها افزایش می‌یابد (۱۱،۸). افزایش همانندسازی و ترجمه، خود باعث افزایش تولید پروتئین و در نهایت، افزایش حجم و قدرت عضلانی می‌شود (۱۲). بنابراین، این نوع تمرین، به دلیل استفاده از بار مکانیکی کمتر، محبوبیت زیادی پیدا کرد، زیرا بدون ایجاد آسیب و فشارهای مکانیکی ناشی از وزنه‌های سنگین، همان قابلیت تأثیرگذاری را دارد (۱۳). تحقیقی که به بررسی عملکرد عضلانی در دو شرایط با و بدون کاهش جریان خون پرداخت، نشان داد که در بار برابر در فعالیت همراه با کاهش جریان خون، هم فعالیت و هم خستگی عضلانی بیشتر بوده و همچنین نمونه‌ی خونی که بعد از فعالیت همراه با کاهش جریان خون گرفته شده بود، دارای لاکتات بیشتری بود. بر این اساس، محققان نتیجه گرفتند که بیشتر بودن لاکتات و همچنین فعالیت و خستگی عضلانی در فعالیت همراه با کاهش جریان خون، تأییدی بر درگیری بیشتر تارهای تند انقباض در این فعالیت می‌باشد (۱۴). در یک تحقیق دیگر، برای مقایسه‌ی تأثیر فعالیت با و بدون کاهش جریان خون بر عملکرد عضلانی، از بارهای مختلف استفاده شد و نتیجه‌ی جالبی به دست آمد. به این ترتیب که اگر فعالیت همراه با کاهش جریان خون (۱۳۰ درصد فشار سیستولی) با ۲۰ درصد 1RM انجام شود، فعالیت عضلانی برابر با زمانی است که فعالیت بدون کاهش جریان خون و با بار ۶۵ درصد 1RM انجام شود (۱۵). این تحقیقات فقط اثر انقباض‌های ایزوتونیک را بررسی کردند. در تنها تحقیقی که از انقباض ایزومتریک استفاده شده است، پروتکل فعالیت شامل ۵ نوبت دو دقیقه‌ای انقباض ایزومتریک (دو ثانیه انقباض و یک ثانیه استراحت) بوده که بین نوبت‌ها، آزمودنی‌ها ۳۰ ثانیه استراحت می‌کردند. فشار کاف حدود ۱۸۰ میلی‌متر جیوه و بار کار ۲۰ درصد MVC (Maximum Isometric Voluntary Contraction) در هر دو حالت (با و بدون کاهش جریان خون) بود. نتایج اندازه‌گیری IEMG (Integrated Electromyography) و MVC نشان داد که بین دو جلسه فعالیت با و بدون کاهش جریان خون، تفاوت معناداری وجود ندارد. درنتیجه می‌توان چنین بیان کرد که برای بیشتر بودن فعالیت عضلانی در تمرین همراه با کاهش جریان خون، به شدت بالاتری از ۲۰ درصد MVC نیاز است (۱۶).

بر اساس تحقیقات ذکر شده و تعداد زیادی از تحقیقات دیگر، تمرین همراه با کاهش جریان خون، با آن‌که با بارکمتر نسبت به تمرینات مقاومتی کلاسیک انجام می‌شود ولی افزایش حجم (۱۸،۱۷،۵) و قدرتی (۲۰،۱۹،۵) مشابه را در پی خواهد داشت. بنابراین به دلیل فشار مکانیکی کمتر، تمرینات مناسبی برای افراد سالمند (۲۲،۲۱) یا در حال بازتوانی (۲۳،۶) یا حتی فضانوردان (۲۴) می‌باشد. همچنین، در صورتی که تمرین مقاومتی همراه با کاهش جریان خون به صورت انقباض ایزومتریک انجام شود، فشار کمتری بر مفاصل وارد کرده و برای این‌گونه افراد بهتر خواهد بود. به‌علاوه، در تمرینات ایزومتریک، به دلیل این‌که تغییری در طول عضله رخ نمی‌دهد، انرژی حاصل از انقباض عضلانی باعث ایجاد فشار زیادی بر رگ‌های خون‌رسان به عضله می‌شود. همین فشار می‌تواند باعث تنگ شدن رگ‌ها شده و در نتیجه، خون کمتری به عضله برسد (۲۵). بنابراین ترکیب تمرینات ایزومتریک با کاهش جریان خون می‌تواند اثرات این تمرینات را دو برابر کند. در این زمینه فقط یک تحقیق انجام شده

[Downloaded from pajoohande.sbmu.ac.ir on 2025-07-09]

(۱۶) که به مقایسه‌ی تأثیر فعالیت ایزومتریک با و بدون کاهش جریان خون پرداخته است؛ اما در این تحقیق نیز به دلیل کم بودن مقدار بار (۲۰ درصد MVC)، اختلاف معناداری در عملکرد عضلانی بین فعالیت با و بدون کاهش جریان خون مشاهده نشد. همچنین، فشار اعمال شده ۱۸۰ میلی‌متر جیوه بود که این مقدار فشار بدون هیچ قاعده‌ی خاصی و صرفاً با توجه به تحقیقات قبلی تعیین شده بود.

بنابراین، تحقیقی به منظور بررسی تأثیر فعالیت ایزومتریک قدرتی با شدت بالا همراه با کاهش جریان خون لازم است انجام گیرد که طی آن، مقدار فشار لازم جهت کاهش جریان خون بر اساس قاعده‌ی مشخصی که توسط لونیک و همکاران (۲۰۱۲) بیان شده است، تعیین گردد (۲۶). نتایج این تحقیق نشان خواهد داد آیا کسانی که هدفشان افزایش قدرت عضلانی است ولی به دلایلی قادر به استفاده از وزنه‌های سنگین نیستند، می‌توانند از تمرین ایزومتریک همراه با کاهش جریان خون استفاده کنندیا خیر؟ و همچنین هدف دوم این تحقیق، تعیین درصدی از MVC است که جهت افزایش قدرت عضلانی همراه با کاهش جریان خون، مناسب باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق یک کارآزمایی بالینی از نوع متقاطع بود که در آن یک گروه آزمودنی، سه پروتکل مختلف را با حداقل فاصله‌ی زمانی یک هفته بین هر دو جلسه، انجام دادند. ۱۰ دانشجوی پسر که سابقه‌ی تمرین مقاومتی داشتند، در این تحقیق شرکت کردند. آزمودنی‌ها از طریق اطلاعیه و به صورت هدفمند جهت حضور در این تحقیق انتخاب شدند. پس از تکمیل فرم رضایت نامه و پرسشنامه‌ی سلامت، از آزمودنی‌ها خواسته شد تا حداقل ۷۲ ساعت قبل از اجرای جلسات آزمون، فعالیت سنگین نداشته باشند. پس از حضور در آزمایشگاه از آزمودنی‌ها خواسته شد تا ابتدا به مدت ۲۰ دقیقه در حالت نشسته استراحت کنند تا بدن به حالت طبیعی برگردد و سپس فشارخون، ضربان قلب و اولین نمونه‌ی خونی جهت تعیین سطوح استراحتی لاکتات گرفته شد. در ادامه، بعد از ۱۵ دقیقه پروتکل گرم کردن که شامل ۵ دقیقه رکاب زدن روی دوچرخه‌ی کار سنج با بار ۷۰ وات و سپس ۳ نوبت انقباض ایزومتریک زیر بیشینه (کمتر از ۲۰ درصد MVC) عضله‌ی چهار سر ران در زاویه‌ی ۷۰ درجه، که مدت هر انقباض ۵ ثانیه و استراحت بین انقباض‌ها ۱۰ ثانیه بود، انجام شد (۲۷). زاویه‌ای که در آن انقباض ایزومتریک صورت گرفت بدین صورت تعیین گردید که راست بودن کامل ران، صفر- درجه فرض شد و با این رفرنس، پای آزمودنی ۷۰ درجه خم شد و از آن‌ها خواسته شد که با استفاده از عضلات چهار سر ران به سمت جلو (برگشتن به حالت راست)، به دستگاه سایبکس نیرو وارد کنند. دلیل انتخاب زاویه ۷۰ درجه این بود که بیشترین نیرو در انقباض ایزومتریک ران برای عضلات چهار سر در این زاویه قابلیت اعمال شدن دارد (۲۸). جلسات فعالیت به شکلی که در زیر توضیح داده می‌شود اجرا گردید:

جلسه فعالیت همراه با کاهش جریان خون. در این جلسه بعد از گرم کردن، مقدار MVC تعیین شد و بعد از آن آزمودنی‌ها ۵ دقیقه استراحت کردند. سپس کاف در نقطه‌ی پروگزیمال ران، بسته و تا فشار تعیین شده باد شد (که در ادامه توضیح داده خواهد شد) و ۵ ثانیه این شرایط حفظ شد تا آزمودنی‌ها با این شرایط سازگار شوند. بعد کاف برداشته شده و آزمودنی‌ها ۲ دقیقه استراحت کردند. بعد از ۲ دقیقه، کاف دوباره بسته شد و تا مقدار تعیین شده باد شد و جلسه‌ی فعالیت آغاز شد که شامل ۶ انقباض ۱۰ ثانیه‌ای به صورت ایزومتریک بود و بین هر دو انقباض، ۶۰ ثانیه استراحت داده شد. بارکار ۶۵ درصد MVC بود. پس از آخرین انقباض، کاف برداشته شد و بلافاصله خون‌گیری به عمل آمد. آخرین خون‌گیری، ۱۰ دقیقه بعد از فعالیت انجام گرفت (۲۷،۲۶). لازم به‌ذکر است که از بین عضلات چهار سر ران، عضله‌ی پهن میانی به دلیل عمقی بودن و نیاز داشتن به EMG عمقی، از این تحقیق حذف گردید. همچنین جهت بررسی دقیق‌تر تأثیر شدت‌های مختلف فعالیت در هر جلسه، مقدار IEMG در هر ۶ ست، به‌طور جداگانه ثبت شد و در نهایت میانگین مقادیر این ۶ ست به‌عنوان شاخص IEMG برای آن جلسه، در تجزیه و تحلیل آماری مورد استفاده قرار گرفت.

جلسه های فعالیت بدون کاهش جریان خون. طی این جلسات نیز بعد از گرم کردن، مقدار MVC تعیین شد و بعد از ۵ دقیقه استراحت، جلسه‌ی فعالیت آغاز شد که شامل ۶ انقباض ۱۰ ثانیه‌ای ایزومتریک و ۶۰ ثانیه استراحت بین هر دو انقباض بود. بار کار یک جلسه ۱۰۰ و یک جلسه ۶۵ درصد MVC بود. پس از آخرین انقباض، بلافاصله خون‌گیری انجام شد. آخرین خون‌گیری، ۱۰ دقیقه بعد از فعالیت انجام شد (۲۷،۲۶).

نحوه تعیین MVC. در هر جلسه از آزمون، بعد از گرم کردن، مقدار MVC آزمودنی‌ها تعیین می‌شد تا به وسیله‌ی آن، مقدار بار مورد نظر برای اعمال در آن جلسه، مشخص شود. تعیین مقدار MVC به این صورت انجام گرفت که پس

[Downloaded from pajoohande.sbmu.ac.ir on 2025-07-09]

از قرار گرفتن آزمودنی روی دستگاه سایبکس، حالت آناتومیکی بدن وی با اتصالات دستگاه هماهنگ می‌شد. سپس پای آزمودنی در زاویه ۷۰ درجه (نسبت به رفرنس صفر درجه در حالت راست بودن کامل زانو) قرار گرفته (برای تعیین دقیق این زاویه از گونیامتر استفاده شد) و از آزمودنی‌ها درخواست می‌شد که بیشترین مقدار نیروی ممکن را به وسیله‌ی عضلات چهار سر ران و رو به جلو وارد کنند. مدت انقباض ۵ ثانیه بوده و این پروتکل دو بار تکرار می‌شد. بیشترین مقدار نیرویی که آزمودنی می‌توانست در یک لحظه اعمال کند به عنوان MVC در نظر گرفته می‌شد (۲۹،۲۷).

نحوه‌ی تعیین مقدار فشار کاف برای هر آزمودنی. برای تعیین مقدار فشار کاف در جلسه‌ی فعالیت همراه با کاهش جریان خون، ابتدا آزمودنی‌ها قبل از شروع پروتکل تحقیقی، برای تعیین فشار سیستولی قوزک پا به بیمارستان طالقانی مراجعه می‌کردند. سپس زیر نظر متخصص سونوگرافی با دستگاه داپلر، فشار سیستولی قوزک پا مطابق مراحل زیر اندازه‌گیری می‌شد و در جلسه‌ی فعالیت همراه با کاهش جریان خون، همین مقدار فشار جهت کاهش جریان خون به پای آزمودنی‌ها اعمال می‌گردید. ابتدا آزمودنی‌ها در حالت خوابیده قرار گرفته و سپس همان کافی که در جلسه فعالیت جهت کاهش جریان خون استفاده می‌شد، در نقطه‌ی پروگزیمال ران آزمودنی‌ها بسته شده و طبق پروتکل زیر، کار ادامه می‌یافت: باد کردن کاف به مقدار ۵۰ میلی‌متر جیوه و نگه‌داشتن این فشار به مدت ۳۰ ثانیه، سپس خالی کردن باد کاف و ۱۰ ثانیه استراحت، دوباره باد کردن کاف به مقدار ۱۳۰ درصد فشار سیستولی گرفته شده از بازو، سپس خالی کردن باد کاف و ۱۰ ثانیه استراحت. در مرحله‌ی بعد، فشاری معادل ۴۰ میلی‌متر جیوه به عنوان نقطه‌ی شروع در نظر گرفته و کاف به صورت فزاینده باد شده و در هر مرحله، ۴۰ میلی‌متر جیوه به فشار قبلی اضافه می‌شد. در هر مرحله، فشار به مدت ۳۰ ثانیه حفظ و سپس ۱۰ ثانیه باد خالی شده و آزمودنی استراحت می‌کرد. این کار تا زمانی ادامه پیدا کرد که خون قابل تشخیص از سرخرگ تیبیال که به وسیله‌ی دستگاه داپلر رنگی دیده می‌شد، قطع شود. بعد از قطع جریان خون، فشار کاف در هر مرحله ۱۰ میلی‌متر جیوه به صورت کاهنده، کمتر می‌شد تا جایی که برقراری مجدد جریان خون به وسیله‌ی دستگاه داپلر تشخیص داده شود. این مقدار فشار کاف، ثبت و در جلسه‌ی فعالیت همراه با کاهش جریان خون، ۱۰ میلی‌متر جیوه بیشتر از این فشار، جهت کاهش جریان خون مورد استفاده قرار می‌گرفت (۲۶). میانگین فشار استفاده شده جهت کاهش جریان خون در آزمودنی‌ها حدود ۲۱۰ میلی متر جیوه بود.

نمونه‌گیری خونی. نمونه‌های خونی هر بار به میزان ۵ سی‌سی و به‌وسیله‌ی سرنگ از ورید بازویی آزمودنی‌ها در حالت نشسته در زمان استراحت، بلافاصله پس از اتمام پروتکل ورزشی و ۱۰ دقیقه پس از فعالیت گرفته شد. برای جلوگیری از ایجاد لخته در خون، نمونه‌ها بلافاصله به درون لوله‌های EDTA انتقال داده شده و به آرامی مخلوط گردید. سپس برای جداسازی پلاسما، نمونه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه در دستگاه سانتریفوژ قرار داده شد و پس از جداسازی، تا زمان اندازه‌گیری مقدار لاکتات، در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

تجزیه و تحلیل آماری. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ تجزیه و تحلیل شدند. برای تعیین طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون کلموگروف- اسمیرنف استفاده شد. پس از مطمئن شدن از طبیعی بودن توزیع داده‌ها برای مقایسه‌ی پاسخ لاکتات و IEMG به سه پروتکل از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌های مکرر استفاده شد. همچنین آزمون بونفرونی نیز به‌عنوان آزمون تعقیبی مورد استفاده قرار گرفت. مقدار α در تمامی تحلیل‌های آماری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

لازم به ذکر است که برای سهولت در بیان نتایج، فعالیت با ۱۰۰ درصد MVC بدون کاهش جریان خون، به عنوان جلسه‌ی ۱، فعالیت با ۶۵ درصد MVC بدون کاهش جریان خون به‌عنوان جلسه‌ی ۲ و فعالیت با ۶۵ درصد MVC همراه با کاهش جریان خون، به‌عنوان جلسه‌ی ۳ درنظر گرفته شدند. همچنین، جهت جلوگیری از طولانی شدن محاسبات در کلیه‌ی تجزیه و تحلیل‌ها، مقایسه‌ی جلسات ۱ و ۲ حذف گردید. چون هدف از این تحقیق مقایسه‌ی جلسه‌ی ۱ و ۳ و جلسه‌ی ۲ و ۳ بود، بدیهی است که در کلیه‌ی اندازه‌گیری‌های انجام شده، جلسه‌ی ۱ و ۲ متفاوت بوده است.

اطلاعات توصیفی آزمودنی‌ها. اطلاعات توصیفی آزمودنی‌ها در جدول ۱ ارایه شده است.

نتایج مربوط به IEMG. جدول ۲، مقادیر IEMG را در جلسات مختلف برای عضلات راست رانی، پهن داخلی و پهن خارجی نشان می‌دهد. در این جدول مشاهده می‌شود که در عضله‌ی راست رانی، بین مقادیر IEMG در جلسات ۲ و ۳ تفاوت معنادار (P=۰۰/۰) ولی جلسات ۱ و ۳ تفاوت

[Downloaded from pajoohande.sbmu.ac.ir on 2025-07-09]

غیرمعنادار می‌باشد (P=۰/۹۶). همچنین در عضله‌ی پهن داخلی بین مقادیر IEMG در جلسات ۲ و ۳ تفاوت معنادار (P=۰/۰۱) اما در جلسات ۱ و ۳ تفاوت غیرمعنادار بود (P=۰/۸۵). در عضله‌ی پهن خارجی نیز بین مقادیر IEMG در جلسات ۲ و ۳ تفاوت معنادار (P=۰/۰۱) اما در جلسات ۱ و ۳ تفاوت غیر معناداری بود (P=۰/۸۱).

جدول ۱. اطلاعات توصیفی آزمودنی‌ها.

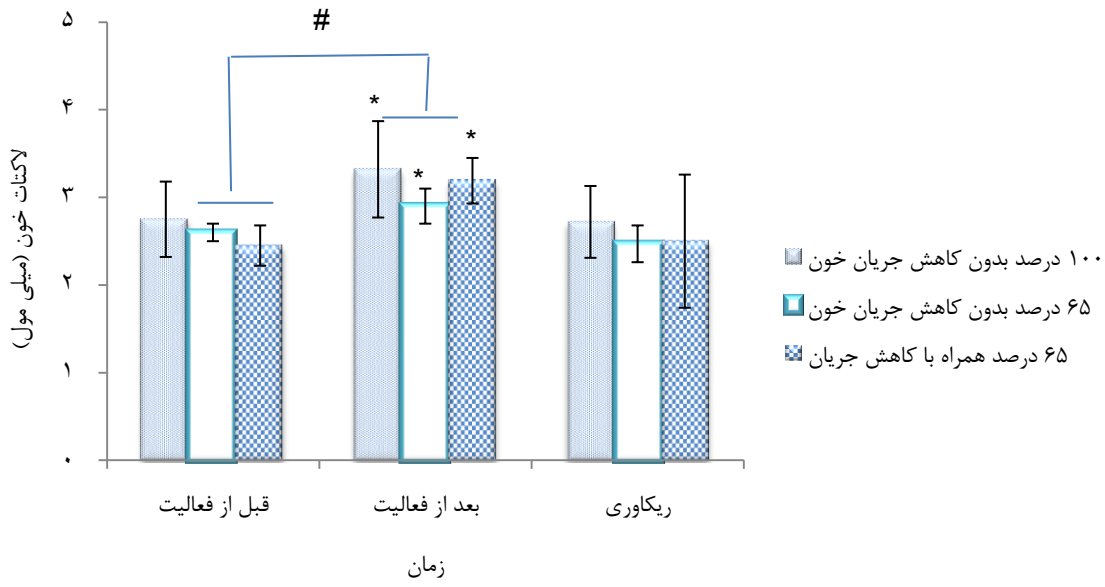
سن (سال)	وزن (کیلوگرم)	قد (سانتی‌متر)	ضربان قلب (ضربه در دقیقه)	BMI (کیلوگرم/ متر^2)	فشار خون گرفته شده از قوزک پا (میلی‌متر جیوه)
۲۴/۹±۲/۵	۷۸/۴±۷/۶۲	۱۷۹/۶±۸/۶	۷۵±۷/۴۳	۲۴/۰۸±۲/۸۰	۲۰۰±۷/۴۷

جدول ۲. مقادیر IEMG عضلات راست رانی، پهن داخلی و پهن خارجی در سه جلسه فعالیت بر حسب میکروولیت.

جلسات فعالیت	عضله راست رانی	عضله پهن داخلی	عضله پهن خارجی
جلسه ۱	۲۳۱/۶۸±۱۰/۲۵	۱۸۳/۲±۹/۰۹	۱۹۵/۰۳±۵/۷۳
جلسه ۲	*۱۱۵/۱۳±۱۵/۷۶	*۱۱۹/۱±۸/۳۴	*۱۳۳/۵±۴/۱۵
جلسه ۳	۲۲۲±۱۸/۷۸	۱۶۹/۶±۱۳/۰۲	۱۷۵/۲۱±۷/۴۳

علامت * نشان‌دهنده‌ی تفاوت معنادار جلسه‌ی ۲ با جلسات ۱ و ۳ می‌باشد.

نتایج مربوط به لاکتات. نتایج مربوط به تأثیر جلسات مختلف فعالیت بر لاکتات خون که در نمودار ۱ ارایه شده است نشان می‌دهد که در جلسه‌ی ۱ بین زمان‌های قبل و بلافاصله بعد از فعالیت (P=۰/۰۰) و بلافاصله بعد و ریکاوری (P=۰/۰۰) تفاوت معنادار وجود دارد. همچنین در جلسه‌ی ۲ نیز بین زمان‌های قبل و بلافاصله بعد از فعالیت (P=۰/۰۰) و بلافاصله بعد و ریکاوری (P=۰/۰۰) تفاوت معنادار وجود دارد. در جلسه‌ی ۳، مقادیر لاکتات بین زمان‌های قبل و بلافاصله بعد از فعالیت (P=۰/۰۰) و بلافاصله بعد و ریکاوری (P=۰/۰۰) نیز به‌طور معنادار متفاوت بود. اما نتایج آزمون تحلیل واریانس مکرر هیچ تفاوت معناداری را در عامل جلسه نشان نداد (P=۰/۴۲)، در حالی‌که نتایج این آزمون، تفاوت معنادار بین جلسات ۲ و ۳ در فاصله‌ی زمانی قبل و بلافاصله بعد از تمرین (تعامل زمان و جلسه) را تأیید کرد (P=۰/۰۰).



نمودار ۱. تغییرات لاکتات در جلسات فعالیت. علامت * نشان‌دهنده‌ی تفاوت معنادار مقادیر لاکتات در زمان بعد از فعالیت نسبت به زمان قبل از فعالیت و علامت # نشان‌دهنده‌ی تفاوت معنادار مقادیر لاکتات بین جلسات ۲ و ۳ در فاصله‌ی زمانی قبل و بعد از فعالیت می‌باشد.

[Downloaded from pajoohande.sbmu.ac.ir on 2025-07-09]

بحث

یکی از فاکتورهایی که جهت بررسی عملکرد عضلانی مورد مطالعه قرار گرفت، IEMG بود. تحلیل نتایج نشان داد که بین میانگین IEMG در جلسات ۱ و ۳ تفاوت معناداری وجود ندارد اما بین میانگین IEMG در جلسات ۲ و ۳، تفاوت معنادار بود. این یافته‌ها با یافته‌های مطالعات قبلی (۵، ۱۴، ۱۵، ۲۷، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳) همسو است. در همه‌ی این تحقیقات، فراخوانی تارهای عضلانی تند انقباض، دلیل اصلی بیشتر بودن فعالیت عضلانی در تمرین‌های همراه با کاهش جریان خون بیان شده است. فراخوانی تارهای تند انقباض، یک عامل مهم جهت دست یافتن به حجم عضلانی می‌باشد، که طبق اصل اندازه، با افزایش شدت تمرین، این تارها کم‌کم فراخوانی می‌شوند. بنابراین این تارها در تمرین با شدت زیاد، بیشترین فراخوانی را دارند (۳۴). اما تحقیقات نشان داده است که تمرینات مقاومتی همراه با کاهش جریان خون اگرچه با بار کم انجام شود، اما واحدهای حرکتی با آستانه بالا که شامل تارهای تند انقباض می‌شود، را فراخوانی می‌کند (۳۵). فراخوانی تارهای تند انقباض در تمرینات همراه با کاهش جریان خون با بار کم به دو دلیل عمده رخ می‌دهد: اولین و احتمالاً مهم‌ترین دلیل اینکه به دلیل کاهش جریان خون رسیده به بافت، هایپوکسی موضعی در عضله ایجاد شده و در نتیجه، اکسیژن کافی جهت تغذیه‌ی تارهای نوع اول در عضله وجود ندارد. بنابراین این تارها خیلی زود خسته می‌شوند، در حالی‌که عضله همچنان مجبور است نیروی تولیدی خود را حفظ کند. در این زمان است که برای حفظ نیروی تولیدی، تارهای عضلانی تند انقباض (که مخصوص فعالیت‌های با شدت بالا هستند) در شدت‌های پایین فراخونی می‌شوند و چون این تارها آستانه‌ی بالایی دارند فراخوانی آنها نیاز به تحریکات قوی از سوی سیستم عصبی مرکزی دارد که این امر به‌صورت افزایش فعالیت الکتریکی عضله (IEMG) قابل مشاهده است (۸-۶). دلیل دوم اینکه به علت فشاری که جهت کاهش جریان خون به رگ‌ها وارد می‌شود، سیاهرگ‌ها نیز تحت فشار قرار گرفته و تقریباً جریان خون در آنها نیز قطع می‌شود. بنابراین، خروج خون از اندام کاهش می‌یابد و از طرفی، فراخوانی تارهای نوع دو باعث تولید لاکتات زیادی می‌شود (به‌دلیل ماهیت بی‌هوازی این تارها). در نتیجه‌ی تولید لاکتات زیاد از یک طرف و جلوگیری از خروج خون از عضله از طرف دیگر، لاکتات و سایر متابولیت‌ها در عضله تجمع می‌یابند. تجمع متابولیت‌ها و به‌خصوص لاکتات در عضله، باعث تحریک آوران‌های ۳ و ۴ می‌شود که در نهایت تحریک این آوران‌ها باعث فراخوانی بیشتر تارهای تند انقباض می‌شود (۳۶). در پی اثبات ارتباط بین بیشتر بودن مقدار لاکتات و افزایش فراخوانی تارهای تند انقباض در تمرینات همراه با کاهش جریان خون، گروهی از محققین پروتکلی را طراحی کردند که شامل ۴ نوبت (۱ نوبت با ۳۰ انقباض و ۳ نوبت با ۱۵ انقباض و ۳۰ ثانیه استراحت بین نوبت‌ها) خم کردن عضله ۲ سر بازویی و راست کردن ۳ سر بازویی بود. فشار کاف ۱۷۰ تا ۲۶۰ میلی‌متر جیوه و در کل زمان اجرای پروتکل بسته بود. این پروتکل به‌جای وزنه، با کش انجام می‌شد. نتایج نشان داد که در جلسه‌ی فعالیت با انسداد جریان خون فعالیت عضلانی (IEMG) و همچنین افزایش لاکتات بیشتر بود که این افزایش با افزایش IEMG هم‌بستگی داشت (۱۴).

نتایج کلیه تحقیقات بالا با نتایج تحقیق حاضر همسو است، اما در این زمینه ۲ تحقیق نیز وجود دارد که نتایج آنها در تضاد با نتایج این تحقیق قرار می‌گیرد. در یکی از این مطالعات که به منظور بررسی تأثیر فعالیت ایزومتریک همراه با کاهش جریان خون بر عملکرد عضلانی انجام شد، پروتکل فعالت شامل ۵ نوبت فعالیت ایزومتریک متناوب (۲ ثانیه فعالیت - ۱ ثانیه استراحت)، هر نوبت به مدت ۲ دقیقه با ۳۰ ثانیه استراحت بین نوبت‌ها بود که یک بار با و یک بار بدون کاهش جریان خون و با شدت یکسان (۲۰ درصد MVC) انجام گرفت. میزان فشار کاف برای کاهش جریان خون به طور میانگین ۱۸۰ میلی‌متر جیوه بود. مقادیر IEMG بین دو جلسه، تفاوت معناداری نداشت. محققان عامل اصلی معنادار نشدن اختلاف میان دو نوع فعالیت را کم بودن شدت دانستند (۲۰ درصد MVC) و اشاره کرده‌اند که احتمالاً اگر این تحقیق با درصد بیشتری از MVC انجام می‌گرفت، تفاوت معنادار می‌شد. به نظر می‌رسد که دلیل تفاوت نتایج این تحقیق با تحقیق حاضر نیز همین باشد. چون بارهای استفاده شده در تحقیق حاضر بیشتر (۶۵ درصد MVC همراه با کاهش جریان خون و ۶۵ و ۱۰۰ درصد MVC بدون کاهش جریان خون) بود (۱۶).

در تحقیق دیگری که نتایج آن با تحقیق حاضر همسو نیست، فشار کاف ۱۰۰ میلی‌متر جیوه و بارکار ۳۰ درصد 1RM و یکسان برای هر دو فعالیت با و بدون کاهش جریان بوده است. پروتکل فعالیت شامل ۳ نوبت حرکت راست کردن ران یک طرفه تا واماندگی بوده است. نتایج این تحقیق نیز فعالیت عضلانی یکسانی برای هر دو فعالیت با و بدون کاهش جریان خون را نشان داده است و محققان دلیل آن را حداکثر بودن فشار در هر دو پروتکل بیان کردند، چرا که هر دو

[Downloaded from pajoohande.sbmu.ac.ir on 2025-07-09]

پروتکل تا واماندگی انجام شده است. همچنین محققان بیان کرده‌اند که چنانچه زمان رسیدن به واماندگی محاسبه می‌شد، قطعاً در حالتی که آزمودنی‌ها با کاهش جریان خون فعالیت کرده بودند، در زمان کمتری به واماندگی می‌رسیدند (۱۱). بنابراین احتمالاً دلیل تضاد نتایج تحقیق فوق با مطالعه‌ی حاضر نیز همین استدلال ارایه شده توسط محققان می‌باشد، چرا که در تحقیق حاضر پروتکل ثابت بوده و انجام کار تا واماندگی نبوده است و همین امر، امکان را برای بیشتر بودن فعالیت عضلانی در فعالیت با ۱۰۰ درصد MVC بدون کاهش جریان خون و ۶۵ درصد MVC همراه با کاهش جریان خون فراهم کرده است.

یکی از راه های دیگر پی بردن به درگیری بیشتر تارهای نوع دو، اندازه‌گیری میزان لاکتات قبل و بعد از فعالیت و مقایسه‌ی اختلاف آنها در دو حالت فعالیت با و بدون کاهش جریان خون است. در تحقیق حاضر نیز میزان لاکتات قبل، بلافاصله و ۱۰ دقیقه بعد از پایان پروتکل اندازه‌گیری شد. آنالیز داده‌ها هیچ تفاوت معناداری را در تغییر مقدار لاکتات بین جلسات ۱ و ۳ نشان نداد ولی تغییر لاکتات در جلسات ۲ و ۳ به طور معناداری، متفاوت بود. همچنین مقدار فشار سیستولی و دیاستولی قبل، بلافاصله و ۱۰ دقیقه بعد از پایان فعالیت اندازه‌گیری شد و نتایج، هیچ اختلاف معنادار بین جلسات ۱ و۳ را نشان نداد، اما اختلاف تغییر این مقادیر در جلسات ۲ و ۳ معنادار بود.

به دلیل مرتبط بودن مقدار فعالیت عضلانی (IEMG) با لاکتات تولیدی در اکثر تحقیقات این دو فاکتور با هم اندازه‌گیری شده‌اند. نتایج اکثر این تحقیقات، بیشتر بودن تغییر لاکتات و IEMG در فعالیت همراه با کاهش جریان خون را نشان داده‌اند که همبستگی بالایی بین مقادیر این دو متغییر دیده شده است و بنابراین با نتایج این تحقیق همسو می‌باشند. مثلاً در گروهی از مطالعات (۱۴،۱۱،۵)، هم مقدار IEMG و هم مقدار لاکتات در فعالیت همراه با کاهش جریان خون، بیشتر بوده است. در بیشتر پژوهش‌هایی که فقط تغییرات لاکتات بررسی شده است نیز بیشتر بودن تولید لاکتات در فعالیت همراه با کاهش جریان خون گزارش شده است (۳۸،۳۷،۳۶،۵). در تحقیقی دیگر، پاسخ عضله به فعالیت همراه با کاهش جریان خون در شدت‌های مختلفِ تمرین و کاهش جریان خون، مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، این محققان چنین نتیجه گرفتند که پروتکل‌های فعالیت همراه با کاهش جریان خون نسبت به فعالیت بدون کاهش جریان خون ولی با بار برابر، لاکتات بیشتری تولید می‌کنند اما به مقدار تولید لاکتات در فعالیت با شدت بالا نمی‌رسد و برای یکسان بودن پاسخ این دو باید از بارهای بالاتر از ۳۰ درصد 1RM در فعالیت‌های همراه با کاهش جریان خون استفاده کرد (۳۹).

همانطور که گفته شد، در فعالیت همراه با کاهش جریان خون، به دلیل نرسیدن خون و کمبود اکسیژن، تارهای کند انقباض خیلی زود خسته می‌شوند و جهت حفظ نیرو، تارهای نوع دو فراخوانی می‌شوند. به دلیل ماهیت بی‌هوازی تارهای نوع دو، فراخوانی بیشتر این تارها همراه با تولید بیشتر لاکتات خواهد بود (۸-۶).

تنها تحقیقی که به بررسی تأثیر فعالیت همراه با کاهش جریان خون بر لاکتات پرداخته و بیشتر بودن لاکتات را در فعالیت همراه با کاهش جریان خون گزارش نکرده است (نتایج آن با تحقیق حاضر همسو نمی‌باشد)، تحقیقی است که روی زنان انجام شده و فشار کاف ۴۰ تا ۴۵ و۶۰ تا ۶۵ میلی‌متر جیوه بوده است. در این تحقیق، پروتکل فعالیت شامل انجام ۴ نوبت (۳۰، ۱۵، ۱۵، ۱۵) راست کردن زانو با ۲۰ درصد MVC با و بدون کاهش جریان خون بود. نتایج نشان داد که افزایش لاکتات بین دو گروه، تفاوت معنادار نداشته و همچنین اختلاف MVC قبل و بلافاصله بعد از فعالیت، بین دو گروه تفاوت معنادار نداشته است. دلیل احتمالی تفاوت نتایج مطالعه‌ی مذکور با تحقیق حاضر، آزمودنی‌های تحقیق می‌باشد که در تحقیق پرز و همکاران، زن و در تحقیق حاضر، مرد بوده‌اند. چون زنان دارای بافت چربی زیرپوستی بیشتر در نواحی ران و لگن هستند، به همین دلیل مقدار فشار لازم جهت کاهش جریان خون در آنها باید بیشتر از مردان باشد تا باعث فعالیت عضلانی و درنتیجه، تولید لاکتات یکسان شود. البته همان‌طور که خود محققان نیز اشاره کرده‌اند، اگر فشار استفاده شده بیشتر می‌بود، به احتمال زیاد تغییرات معنادار می‌شد. از طرف دیگر این امکان وجود دارد که خود عامل جنسیت نیز سبب تغییر در فراخوانی واحدهای حرکتی شود (۴۰).

نتیجه‌گیری

به‌نظر می‌رسد که در بار کار برابر، درگیری تارهای تند انقباض که با شاخص‌های IEMG و لاکتات سنجیده شد، در فعالیت ایزومتریک همراه با کاهش جریان خون بیشتر بود. همچنین اگر فعالیت همراه با کاهش جریان خون با بار ۶۵ درصد MVC انجام شود، بار متابولیکی برابر با فعالیت با بار ۱۰۰ درصد MVC ولی بدون کاهش جریان خون به عضله

[Downloaded from pajoohande.sbmu.ac.ir on 2025-07-09]

وارد می‌کند که دلیل آن فراخوانی بیشتر تارهای تند انقباض در فعالیت همراه با کاهش جریان خون است. چون بیشتر شدن درگیری تارهای تند انقباض باعث افزایش حجم و قدرت عضلانی بیشتر می‌شود، بنابراین این نوع فعالیت می‌تواند برای افراد پیر یا در حال بازتوانی که قصد افزایش قدرت را داشته اما توانای کار با وزنه‌های سنگین را ندارند، مورد استفاده قرار گیرد.

REFERENCES

1. Holloszy JO. Exercise-induced increase in muscle insulin sensitivity. J Appl Physiol 2005;99(1):338–43.

2. Cook SB, Clark BC, Ploutz-Snyder LL. Effects of exercise load and blood-flow restriction on skeletal muscle function. Med Sci Sports Exercise 2007;39(10):1708–1713.

3. Kubota A, Sakuraba K, Sawaki K, Sumide T, Tamura Y. Prevention of disuse muscular weakness by restriction of blood flow. Med Sci Sports Exercise 2008;40(3):529–34.

4. Kubota A, Sakuraba K, Koh S, Ogura Y, Tamura Y. Blood flow restriction by low compressive force prevents disuse muscular weakness. J Sci Med Sport/ Sports Med Austr 2011;14(2):95–9.

5. Takarada Y, Takazawa H, Sato Y, Takebayashi S, Tanaka Y, Ishii N. Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. J Appl Physiol 2000;88(6):2097–106.

6. Takarada Y, Takazawa H, Ishii N. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. Med Sci Sports Exercise 2000;32(12):2035–9.

7. Willardson JM, Schoenfeld BJ. A breif review: blood flow restriction training. J Strength Condition Res. Ahead of Print 2013.

8. Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S, Onda T, Miyazaki S, Ishii N. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. J Appl Physiol 2000;88(1):61–5.

9. Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. Sports Med 2005;35:339–361.

10. Jones DA, Rutherford OM. Human muscle strength training: the effects of three different regimens and the nature of the resultant changes. J Physiol 1978;391:1–11.

11. Suga T, Okita K, Morita N, Yokota T, Hirabayashi K, Horiuchi M, *et al*. Intramuscular metabolism during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. J Appl Physiol 2009;106(4):1119–24.

12. Fujita S, Abe T, Drummond MJ, Cadenas JG, Dreyer HC, Sato Y, *et al*. Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. J Appl Physiol 2007;103(3):903–10.

13. Loenneke JP, Wilson JM, Wilson GJ, Pujol TJ, Bemben MG. Potential safety issues with blood flow restriction training. Scand J Med Sci Sports 2011;21(4):510–8.

14. Yasuda T, Fukumura K, Fukuda T, Iida H, Imuta H, Sato Y, *et al*. Effects of low-intensity, elastic band resistance exercise combined with blood flow restriction on muscle activation. Scand J Med Sci Sports 2014;24(1):55–61.

15. Suga T, Okita K, Takada S, Omokawa M, Kadoguchi T, Yokota T, *et al*. Effect of multiple set on intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. Eur J Appl Physiol 2012; 112(11):3915–20.

16. Karabulut M, Cramer JT, Ryan ED, Anderson RL, Hull HR, Sato Y, *et al*. Effects of KAATSU on muscular function during isometric exercise. Int J KAATSU Train Res 2006;2(2):19–28.

17. Abe T, Fujita S, Nakajima T, Sakamaki M, Ozaki H, Ogasawara R, *et al*. Effects of low-intensity cycle training with restricted leg blood flow on thigh muscle volume and VO2max in young men. J Sports Sci Med 2010;9(3):452–8.

18. Ishii N, Madarame H, Odagiri K, Naganuma M, Shinoda K. Circuit training without external load induces hypertrophy in lower-limb muscles when combined with moderate venous occlusion. Int J KAATSU Train Res 2005;1(1):24–8.

19. Shinohara M, Kouzaki M, Yoshihisa T, Fukunaga T. Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1998;77(1–2):189–91.

20. Fujita T, Brechue WF, Kurita K, Sato Y, Abe T. Increased muscle volume and strength following six days of low-intensity resistance training with restricted muscle blood flow. Int J KAATSU Train Res 2008; 4(1):1–8.

21. Fry CS, Glynn EL, Drummond MJ, Timmerman KL, Fujita S, Abe T, *et al*. Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. J Appl Physiol 2010;108(5):1199–209.

22. Karabulut M, Abe T, Sato Y, Bemben MG. The effects of low-intensity resistance training with vascular restriction on leg muscle strength in older men. Eur J Appl Physiol 2010;108(1):147–55.

[Downloaded from pajoohande.sbmu.ac.ir on 2025-07-09]

23. Ohta H, Kurosawa H, Ikeda H, Iwase Y, Satou N, Nakamura S. Low-load resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament reconstruction. Acta Orthop Scand 2003;74(1):62–8.

24. Hackney KJ, Everett M, Scott JM, Ploutz-Snyder L. Blood flow-restricted exercise in space. Extrem Physiol Med 2012;1(1):12. doi: 10.1186/2046-7648-1-12

25. Babault N, Desbrosses K, Fabre MS, Michaut A, Pousson M. Neuromuscular fatigue development during maximal concentric and isometric knee extensions. J Appl Physiol 2006;100(3):780–5.

26. Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Sherk VD, Thiebaud RS, Abe T, *et al*. effect of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 2012;112:2903–12.

27. Yasuda T, Brechue WF, Fujita T, Sato Y, Abe T. Muscle activation during low-intensity muscle contractions with varying levels of external limb compression. J Sports Sci Med 2008;7(4):467–74.

28. Mthias Wernbom RJ, Mikal A. Acute effect of blood flow restriction on muscle activity and endurance during fatique dynamic knee extession at low load. J Strength Condition Res 2009;23(8):2389–95.

29. 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 Occup Physiol 2012;112:2051–63.

30. Yasuda T, Fujita T, Miyagi Y, Kubota Y, Sato Y, Nakajima T, *et al*. Electromyographic responses of arm and chest muscle during bench press exercise with and without KAATSU. Int J KAATSU Train Res 2006;2(1):15–8.

31. Yasuda T, Brechue WF, Fujita T, Shirakawa J, Sato Y, Abe T. Muscle activation during low-intensity muscle contractions with restricted blood flow. J Sports Sci 2009;27(5):479–89.

32. Fukuda T, Yasuda T, Fukumura K, Iida H, Morita T, Sato Y, *et al*. Low-intensity kaatsu resistance exercises using an elastic band enhance muscle activation in patients with cardiovascular diseases. Int J KAATSU Train Res 2013;9(1): 1–5.

33. Yasuda T, Loenneke JP, Ogasawara R, Abe T. Influence of continuous or intermittent blood flow restriction on muscle activation during low-intensity multiple sets of resistance exercise. Acta Physiol Hung 2013;100(4):419–26.

34. Henneman E, Somjen G, Carpenter DO. Functional significance of cell size in spinal motoneurons. J Neurophysiol 1965;28:560–80.

35. Loenneke JP, Fahs CA, Wilson JM, Bemben MG. Blood flow restriction: the metabolite/volume threshold theory. Med Hypotheses 2011;77(5):748–52.

36. Yasuda T, Abe T, Brechue WF, Iida H, Takano H, Meguro K, *et al*. Venous blood gas and metabolite response to low-intensity muscle contractions with external limb compression. Metabolism 2010;59(10):1510–9.

37. Takano H, Morita T, Iida H, Asada K, Kato M, Uno K, *et al*. Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. Eur J Appl Physiol 2005;95(1):65–73.

38. Reeves GV, Kraemer RR, Hollander DB, Clavier J, Thomas C, Francois M, *et al*. Comparison of hormone responses following light resistance exercise with partial vascular occlusion and moderately difficult resistance exercise without occlusion. J Appl Physiol (1985) 2006; 101(6):1616–22.

39. Suga T, Okita K, Morita N, Yokota T, Hirabayashi K, Horiuchi M, *et al*. Dose effect on intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. J Appl Physiol 2010;108(6):1563–7.

40. Perez BS, Lopez BS, Angel J. Gender comparisons of the electromyographic responses to knee extension exercises with different initial restriction pressures. Int J Exercise Sci: Conference Proceedings 2013;2(5):48.

[Downloaded from pajoohande.sbmu.ac.ir on 2025-07-09]