

علوم زیستی ورزشی - تابستان ۱۳۹۵  
دوره ۸، شماره ۲، ص: ۲۷۷-۲۹۲  
تاریخ دریافت: ۹۴/۰۴/۱۱  
تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۲۶

## پاسخ حاد شاخص‌های خستگی به یک جلسه فعالیت ایزومتریک با شدت‌های مختلف با و بدون کاهش جریان خون

خسرو ابراهیم<sup>۱</sup> - کیوان خرمی پور<sup>۲\*</sup> - فریبرز هوانلو<sup>۳</sup> - یونه دهقان<sup>۴</sup>

۱. دکتری فیزیولوژی ورزشی، استاد دانشکده تربیت بدنی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲. دانشجوی دکتری بیوشیمی و متابولیسم ورزشی، دانشکده تربیت بدنی، دانشگاه تهران، ایران ۳. دکتری طب

ورزشی، دانشیار دانشکده تربیت بدنی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۴. دکتری رادیولوژی، استادیار مرکز تحقیقات بالینی بیمارستان طالقانی، تهران، ایران

### چکیده

ایجاد خستگی در تمرینات مقاومتی شاخص مهمی برای افزایش حجم و قدرت عضلانی است. بنابراین این تحقیق با هدف بررسی پاسخ حاد شاخص‌های خستگی به یک جلسه فعالیت ایزومتریک با شدت‌های مختلف با و بدون کاهش جریان خون طراحی شد. آزمودنی‌ها ۱۰ دانشجوی پسر سالم با میانگین سن  $24/9 \pm 2/5$  سال بودند. پروتکل تحقیق شامل ۶ انقباض ایزومتریک ۱۰ ثانیه‌ای با ۶۰ ثانیه استراحت بین انقباض‌ها بود. از آزمون کولموگروف اسمیرنوف به منظور تشخیص نرمال بودن داده‌ها و از آزمون تحلیل واریانس مکرر دوطرفه برای تشخیص معناداری بودن تغییرات MPF، لاکتات خون، مقیاس بورگ، اختلاف MVC قبل و بعد از فعالیت بین ۳ جلسه استفاده شد. کلیه این شاخص‌ها در جلسه دوم با دو جلسه تفاوت معنادار داشت، اما اختلاف معناداری بین جلسات اول و سوم وجود نداشت. نتایج نشان داد انجام فعالیت ایزومتریک همراه با کاهش جریان خون نسبت به انجام همان فعالیت و با بار یکسان اما بدون کاهش جریان خون می‌تواند موجب خستگی بیشتر شود. همچنین شاخص‌های خستگی در فعالیت ایزومتریک با ۶۵ درصد MVC همراه با کاهش جریان خون برابر با فعالیت ایزومتریک با ۱۰۰ درصد MVC بدون کاهش جریان خون است.

### واژه‌های کلیدی

لاکتات، مقیاس خستگی بورگ، MPF، EMG.

## مقدمه

دانشگاه طب ورزشی آمریکا (ACSM) استفاده از تمرینات مقاومتی با شدت ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه<sup>۱</sup> (1-RM) را برای افزایش حجم و قدرت عضلانی پیشنهاد کرده است (۱). انجام تمرین مقاومتی با این شدت تحریک لازم برای ایجاد سازگاری در عضلات را فراهم می‌کند که یکی از عوامل ایجاد این سازگاریها افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی تندانقباض به‌خصوص در افراد تمرین‌کرده است (۲). به‌کارگیری بیشتر تارهای تندانقباض موجب ایجاد خستگی بیشتر هنگام تمرین و رسیدن سریع‌تر به واماندگی می‌شود (۳). اما بعضی افراد مانند افراد پیر یا در حال بازتوانی به‌دلیل فشار ناشی از تمرین‌هایی با این شدت بر مفاصلشان و افراد دارای بیماری قلبی-عروقی به‌دلیل فشار وارده به قلبشان قادر به انجام تمرین با این شدت نیستند (۴). به‌منظور حل مشکل این افراد متخصصان فیزیولوژی ورزشی پیشنهاد کرده‌اند که اگر تمرین مقاومتی با شدت کم اما همراه با کاهش جریان خون به عضله در حال فعالیت انجام گیرد، افزایش حجم و قدرتی قابل مقایسه با تمرینات با شدت بالا (۷۰ درصد 1-RM) حاصل می‌شود (۵-۸). یکی از مکانیسم‌هایی که موجب ایجاد این سازگاری می‌شود، افزایش تولید لاکتات در حین تمرین با کاهش جریان خون نسبت به شرایط عادی است. دلیل این پدیده به‌کارگیری بیشتر تارهای تندانقباض است که بیشتر از طریق سیستم بی‌هوازی انرژی تولید می‌کنند و در نتیجه تولید اسید لاکتیک افزایش می‌یابد (۹). تولید اسید لاکتیک بیشتر در این شرایط موجب ایجاد اسیدوز متابولیک می‌شود و عضله را خسته می‌کند و در نهایت این خستگی با دخالت در عمل انقباض عضلانی موجب کاهش عملکرد در حین جلسه تمرینی می‌شود (۱۰، ۱۱). وبرنوم و همکاران (۲۰۱۲) طی تحقیقی به بررسی تأثیر ۵ نوبت راست کردن زانو یکطرفه با ۳۰ درصد 1-RM با و بدون کاهش جریان خون بر خستگی عضلانی پرداختند. به‌منظور سنجش خستگی از شاخص اختلاف حداکثر قدرت ارادی<sup>۲</sup> (MVC) قبل و بلافاصله ۴، ۲۴، ۴۸، ۹۶ و ۱۶۸ ساعت پس از فعالیت استفاده کردند.

نتایج نشان داد که به‌دلیل اسیدوز متابولیک کاهش MVC و کوفتگی تأخیری در جلسه فعالیت با کاهش جریان خون بیشتر بوده است (۱۲). همچنین لئونیک و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی مشابه نشان دادند که فعالیت همراه با کاهش جریان خون موجب کاهش بیشتری در مقدار MVC بعد از

- 
1. One repetition maximum
  2. Maximum Voluntary contraction

فعالیت می‌شود. به‌علاوه مقیاس درک فشار<sup>۱</sup> (RPE) در حالت فعالیت همراه با کاهش جریان خون بیشتر بود (۱۳).

در جدیدترین تحقیق در این زمینه نتو و همکاران (۲۰۱۴) دوازده مرد ورزشکار را به انجام حرکت اسکوات با و بدون کاهش جریان خون با ۸۰ درصد 1-RM واداشتند. آزمودنی‌ها حرکت را تا خستگی کانسنتریک انجام می‌دادند. بلافاصله بعد از اتمام فعالیت از آزمودنی‌ها MVC گرفته می‌شود و مقدار EMG در حین تست MVC ثبت می‌شود. نتایج نشان داد که مقدار کاهش EMG عضلهٔ پهن میانی در حالت فعالیت همراه با کاهش جریان خون بیشتر بوده است. محققان دلیل این کاهش را خستگی بیشتر در حین فعالیت همراه با کاهش جریان خون دانسته‌اند (۱۴). تحقیقات اشاره‌شده در بالا و بقیهٔ تحقیقات انجام‌گرفته در زمینهٔ تأثیر فعالیت همراه با کاهش جریان خون بر شاخص‌های خستگی عضلانی از انقباض‌های ایزوتونیک یا ایزوکنتریک استفاده کرده‌اند. همچنین مقدار فشارهٔ استفاده‌شده برای کاهش جریان خون بدون هیچ قاعدهٔ خاصی و صرفاً براساس تحقیقات قبلی تعیین شده است. از طرفی اگر تمرین مقاومتی همراه با کاهش جریان خون به‌صورت انقباض ایزومتریک انجام گیرد، فشار کمتری بر مفاصل وارد می‌کند و برای افراد پیر یا در حال بازتوانی که مخاطبان اصلی این نوع تمرینات هستند، بهتر خواهد بود. به‌علاوه در تمرینات ایزومتریک به‌دلیل اینکه تغییری در طول عضله رخ نمی‌دهد، انرژی حاصل از انقباض عضلانی موجب ایجاد فشار زیادی بر رگ‌های خون‌رسان به عضله می‌شود. همین فشار می‌تواند موجب تنگ شدن رگ‌ها شود و در نتیجه خون کمتری به عضله برسد (۱۵). بنابراین ترکیب تمرینات ایزومتریک با کاهش جریان خون احتمالاً می‌تواند تأثیر این تمرینات را دو برابر کند. بنابراین هدف از این تحقیق بررسی پاسخ حاد شاخص‌های مختلف خستگی عضلانی به یک جلسه فعالیت ایزومتریک با شدت‌های مختلف با و بدون کاهش جریان خون بود که مقدار فشار اعمال‌شده جهت کاهش جریان خون براساس قاعدهٔ بیان‌شده توسط لئونیک و همکاران (۲۰۱۲) تعیین شد (۱۶).

## روش‌شناسی تحقیق

روش اجرای این تحقیق از نوع نیمه‌تجربی با آزمون مکرر بود که در آن یک گروه آزمودنی سه پروتکل مختلف را با حداقل فاصلهٔ زمانی یک هفته بین هر دو جلسه انجام دادند. ۱۰ دانشجوی پسر با میانگین

1. Rate of perceive exertion

سنی  $24/9 \pm 2/5$  سال که سابقه تمرین مقاومتی را داشتند، در این تحقیق شرکت کردند. آزمودنی‌ها از طریق اطلاعیه و به صورت هدفمند برای حضور در تحقیق انتخاب شدند. از آزمودنی‌ها خواسته شد تا حداقل ۷۲ ساعت پیش 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 فشار خون، ضربان قلب و اولین نمونه خونی برای تعیین سطوح استراحتی لاکتات گرفته شد. در ادامه پس از ۱۵ دقیقه، پروتکل گرم کردن شامل ۵ دقیقه رکاب زدن روی دوچرخه کارسنج با بار ۷۰ وات و سپس ۳ نوبت انقباض ایزومتریک زیر بیشینه (کمتر از ۲۰ درصد MVC) عضله چهار سر ران در زاویه ۷۰ درجه، انجام گرفت. مدت هر انقباض ۵ ثانیه و استراحت بین انقباض‌ها ۱۰ ثانیه بود (۱۷). زاویه‌ای که در آن انقباض ایزومتریک صورت گرفت، بدین صورت تعیین شد 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 چهارسر ران به سمت جلو (برگشتن به حالت راست) به دستگاه بایودکس سیستم ۴ نیرو وارد کنند. دلیل انتخاب این زاویه این بود که بیشترین نیرو در انقباض ایزومتریک ران برای عضلات چهارسر در این زاویه قابلیت اعمال شدن دارد (۱۸). جلسات فعالیت به شکلی که در زیر توضیح داده می‌شود، اجرا شد.

#### جلسه فعالیت همراه با کاهش جریان خون

در این جلسه پس از گرم کردن مقدار MVC تعیین شد و بعد از آن آزمودنی‌ها ۵ دقیقه استراحت کردند. سپس کاف در نقطه پروگزیمال ران پای غالب آزمودنی‌ها بسته شده و تا فشار تعیین شده باد شده (که بعداً توضیح داده می‌شود) و ۵ ثانیه این شرایط حفظ شد تا آزمودنی‌ها با این شرایط سازگار شوند. بعد کاف برداشته شد و آزمودنی‌ها ۲ دقیقه استراحت کردند. پس از ۲ دقیقه کاف دوباره بسته شده و تا مقدار تعیین شده باد شد و جلسه فعالیت آغاز شد که شامل ۶ انقباض ۱۰ ثانیه‌ای به صورت ایزومتریک بود. بین هر دو انقباض ۶۰ ثانیه استراحت داده شد. بار کار ۶۵ درصد MVC بود. پس از آخرین انقباض کاف برداشته شد و بلافاصله خون‌گیری به عمل آمد. آخرین خون‌گیری هم ۱۰ دقیقه پس از فعالیت انجام گرفت (۱۷، ۱۶).

#### جلسه‌های فعالیت بدون کاهش جریان خون

طی این جلسات نیز پس از گرم کردن مقدار MVC تعیین شد و بعد از ۵ دقیقه استراحت، جلسه فعالیت آغاز شد که شامل ۶ انقباض ۱۰ ثانیه‌ای ایزومتریک بود و بین هر دو انقباض ۶۰ ثانیه استراحت

وجود داشت. بار کار یک جلسه ۱۰۰ و یک جلسه ۶۵ درصد MVC بود. پس از آخرین انقباض بلافاصله خون‌گیری انجام گرفت. آخرین خون‌گیری هم ۱۰ دقیقه پس از فعالیت انجام گرفت (۱۵،۱۸).

#### نحوه تعیین MVC

در هر جلسه از آزمون پس از گرم کردن مقدار MVC آزمودنی‌ها تعیین می‌شد تا به وسیله آن مقدار بار مورد نظر برای اعمال در آن جلسه مشخص شود. تعیین مقدار MVC به این صورت انجام گرفت که پس از قرار گرفتن آزمودنی روی دستگاه سایبکس، حالت آناتومیکی بدن وی با اتصالات دستگاه هماهنگ می‌شد و سپس پای آزمودنی در ۷۰ درجه (نسبت به رفرنس صفر درجه در حالت راست بودن کامل زانو) قرار گرفت (که برای تعیین دقیق این زاویه از گونیامتر استفاده شد) و سپس از آزمودنی‌ها خواسته شد که بیشترین مقدار نیروی ممکن را به وسیله عضلات چهارسر ران و رو به جلو وارد کنند. مدت انقباض ۵ ثانیه بود و این پروتکل دو بار تکرار شد. بیشترین مقدار نیرویی که آزمودنی می‌توانست در یک لحظه اعمال کند، به عنوان MVC در نظر گرفته شد (۱۷، ۱۲).

#### نحوه تعیین مقدار فشار کاف برای هر آزمودنی

برای تعیین مقدار فشار کاف در جلسه فعالیت همراه با کاهش جریان خون آزمودنی‌ها قبل از شروع پروتکل تحقیقی برای تعیین فشار سیستولی قوزک پا به بیمارستان طالقانی مراجعه کردند. در بخش رادیولوژی این بیمارستان و زیر نظر متخصص سونوگرافی با دستگاه داپلر فشار سیستولی قوزک پا مطابق مراحل زیر اندازه‌گیری شد و در جلسه فعالیت همراه با کاهش جریان خون به کار گرفته شد. ابتدا آزمودنی‌ها در حالت خوابیده قرار گرفتند و سپس همان کافی که در جلسه فعالیت برای کاهش جریان خون استفاده می‌شد، در نقطه پروگزیمال ران پای غالب آزمودنی‌ها بسته شد و سپس براساس پروتکل زیر کار ادامه یافت:

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 گرفته‌شده از بازو، سپس خالی کردن باد کاف و ۱۰ ثانیه استراحت. در مرحله بعد ۴۰ میلی‌متر جیوه به عنوان نقطه شروع در نظر گرفته شد و کاف به صورت افزایش یافته باد شده و در هر وهله ۴۰ میلی‌متر جیوه به مقدار قبلی اضافه می‌شد. در هر وهله فشار به مدت ۳۰ ثانیه حفظ می‌شد 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 وسیله دستگاه داپلر رنگی دیده می‌شد، قطع شود. پس از قطع خون فشار کاف در

هر مرحله ۱۰ میلی‌متر جیوه به صورت کاهنده، کمتر می‌شد تا جایی که برقراری مجدد جریان خون به وسیله دستگاه داپلر تشخیص داده می‌شد و همین مقدار فشار کاف ثبت شده و در جلسه فعالیت همراه با کاهش جریان خون ۱۰ میلی‌متر جیوه بیشتر از این فشار جهت کاهش جریان خون استفاده می‌شد (۱۶). میانگین فشار استفاده شده برای کاهش جریان خون در آزمودنی‌ها ۲۱۰ میلی‌متر جیوه بود.

#### نمونه‌گیری خون

نمونه‌های خونی هر بار به مقدار ۵ سی‌سی و به وسیله 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 شدند. سپس برای جداسازی پلاسما، نمونه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ قرار داده شد و پس از جداسازی، پلاسما 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 کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. پس از اطمینان از طبیعی بودن توزیع داده‌ها برای مقایسه پاسخ شاخص‌های خستگی (لاکتات، میانگین فرکانس توان<sup>۱</sup> (MPF)، اختلاف MVC قبل و بلافاصله بعد از فعالیت و RPE) به سه پروتکل از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌های مکرر استفاده شد. همچنین از آزمون بونفرونی به عنوان آزمون تعقیبی استفاده شد. مقدار  $\alpha$  در تمامی تحلیل‌های آماری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

#### یافته‌ها

##### اطلاعات توصیفی آزمودنی‌ها

اطلاعات توصیفی آزمودنی‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

---

1. Mean power frequency

جدول ۱. اطلاعات توصیفی آزمودنی‌ها

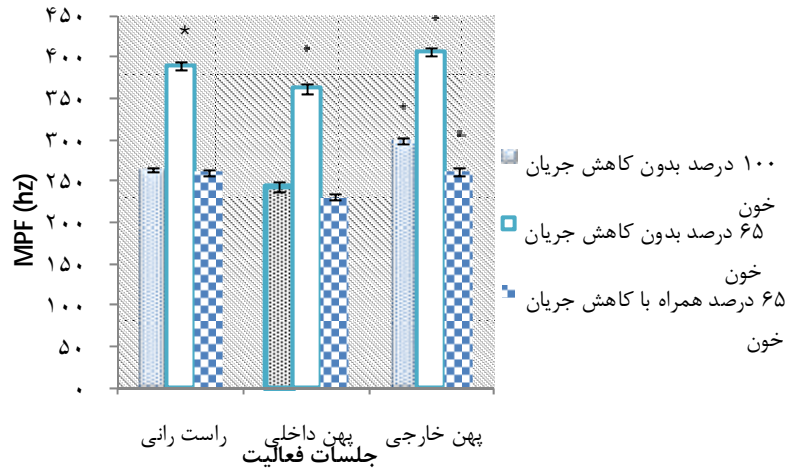
سن (سال)	وزن (کیلوگرم)	قد (سانتی متر)	ضربان قلب (ضربه در دقیقه)	BMI (کیلوگرم / متر <sup>۲</sup> )	فشار خون گرفته شده از قوزک پا (میلیمتر جیوه)
۲۴/۹±۲/۵	۷۸/۴±۷/۶۲	۱۷۹/۶±۸/۶	۷۰±۷/۴۳	۲۴/۰۸±۲/۸۰	۲۰۰±۷/۴۷

### نتایج مربوط به شاخص MPF

از بین عضلات چهارسر ران عضلهٔ پهن میانی به دلیل عمقی بودن و نیاز به داشتن EMG عمقی از این تحقیق حذف شد. همچنین به منظور بررسی دقیق‌تر تأثیر شدت‌های مختلف فعالیت در هر جلسه مقدار MPF و عدد مربوط به مقیاس RPE در هر شش ست به طور جداگانه ثبت شد و در نهایت میانگین مقادیر این شش ست به عنوان شاخص MPF و RPE برای آن جلسه در تجزیه و تحلیل آماری استفاده شد. شایان ذکر است که به منظور سهولت در ارائهٔ نتایج و بحث جلسهٔ فعالیت با ۱۰۰ درصد MVC بدون کاهش جریان خون به عنوان جلسهٔ اول، جلسهٔ فعالیت با ۶۵ درصد MVC بدون کاهش جریان خون به عنوان جلسهٔ دوم و جلسهٔ فعالیت با ۶۵ درصد MVC همراه با کاهش جریان خون به عنوان جلسهٔ سوم در نظر گرفته شد.

میانگین و انحراف معیار مقادیر MPF هر سه عضله (راست رانی، پهن داخلی و پهن خارجی) در سه جلسه فعالیت در نمودار ۱ نشان داده شده است. تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر اختلاف معنادار را برای عضلهٔ راست رانی نشان داد ( $P=0/00$  و  $F_{2,18}=328/91$ ). به دنبال آن استفاده از آزمون بونفرونی (به عنوان آزمون تعقیبی) نشان داد که تفاوت بین جلسات ۱ و ۲ ( $P=0/00$ ) و جلسات ۲ و ۳ ( $P=0/00$ ) معنادار بود، اما تفاوت بین جلسات ۱ و ۳ ( $P=1/00$ ) معنادار نبود.

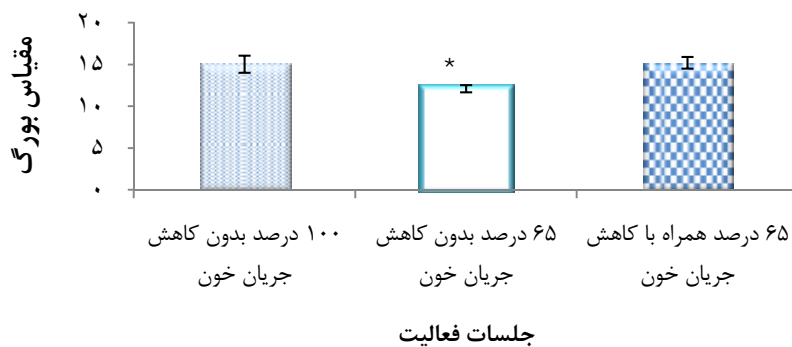
نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر برای عضلهٔ پهن داخلی نیز تفاوت معناداری را نشان داد ( $P=0/00$  و  $F_{2,18}=29/33$ ). در ادامه آزمون بونفرونی تفاوت بین جلسات ۱ و ۲ ( $P=0/00$ ) و جلسات ۲ و ۳ ( $P=0/00$ ) را معنادار و تفاوت جلسات ۱ و ۳ ( $P=0/268$ ) را غیر معنادار نشان داد. در نهایت آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر برای عضلهٔ پهن خارجی نیز تفاوت را معنادار نشان داد ( $P=0/00$  و  $F_{2,18}=384/81$ ). آزمون بونفرونی نشان داد که تفاوت مشاهده شده بین جلسات ۱ و ۲، ۲ و ۳، ۱ و ۳ معنادار بوده است. در این سه آنالیزها مقدار  $P=0/00$  بود.



نمودار ۱. میانگین ( $\pm$  انحراف استاندارد) MPF در شش ست فعالیت برای عضلات راست رانی، پهن داخلی و پهن خارجی در هر سه جلسه. علامت \* نشان‌دهنده تفاوت معنادار یک جلسه با سایر جلسات

#### نتایج مربوط به RPE

میانگین و انحراف معیار RPE در سه جلسه فعالیت در نمودار ۲ نشان داده شده است. آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر نشان داد که تفاوت مشاهده‌شده در مقادیر مقیاس بورگ معنادار است ( $F_{2,18} = 30.8/13$  و  $P = 0/00$ ) و با توجه به نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی این اختلاف بین جلسات ۱ و ۲ ( $P = 0/006$ ) و جلسات ۲ و ۳ ( $P = 0/000$ ) معنادار و بین جلسات ۱ و ۳ ( $P = 1/00$ ) معنادار نبود.

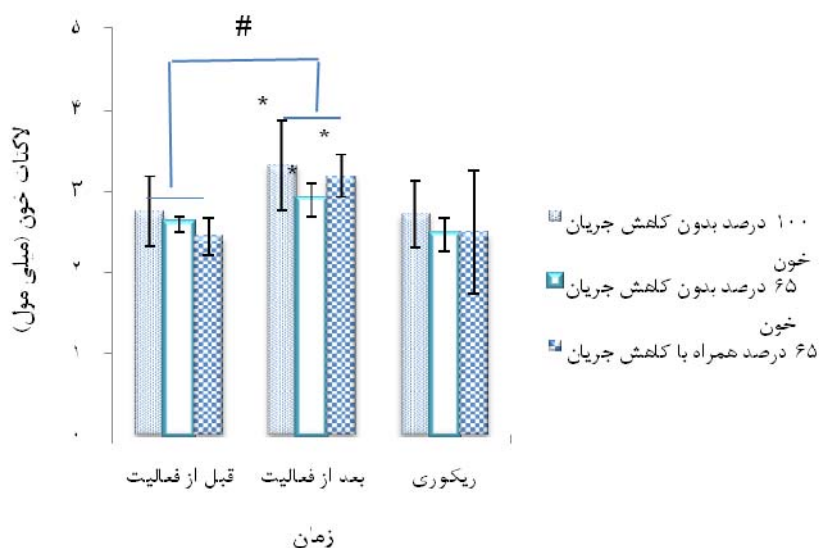


نمودار ۲. میانگین ( $\pm$  انحراف استاندارد) مقادیر مربوط به RPE در هر سه جلسه فعالیت. علامت \* نشان‌دهنده تفاوت معنادار جلسه ۲ با جلسات ۱ و ۳



### نتایج مربوط به لاکتات

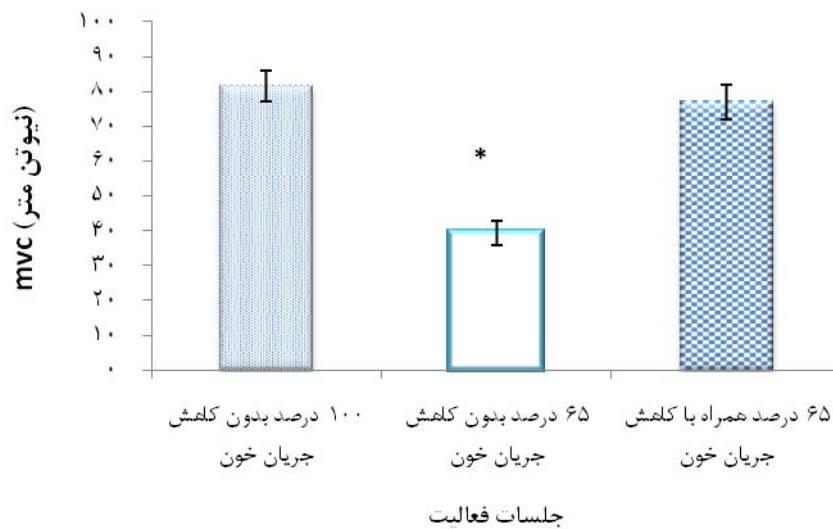
نتایج مربوط به تأثیر جلسات مختلف فعالیت بر لاکتات خون که در نمودار ۳ ارائه شده است، نشان داد که در جلسه اول بین زمان‌های قبل و بلافاصله پس از تمرین ( $P=0/00$ ) و بلافاصله بعد و ریکاوری ( $P=0/00$ ) تفاوت معنادار بود. همچنین در جلسه دوم بین زمان‌های قبل و بلافاصله پس از تمرین ( $P=0/00$ ) و بلافاصله بعد و ریکاوری ( $P=0/00$ ) تفاوت معنادار بود. در جلسه سوم مقادیر لاکتات بین زمان‌های قبل و بلافاصله بعد از تمرین ( $P=0/00$ ) و بلافاصله بعد و ریکاوری ( $P=0/00$ ) نیز به‌طور معنادار متفاوت بود. اما نتایج آزمون تحلیل واریانس مکرر هیچ تفاوت معناداری را در عامل جلسه نشان نداد ( $P=0/42$ ). درحالی‌که نتایج این آزمون تفاوت معنادار بین جلسات دوم و سوم در فاصله زمانی قبل و بلافاصله پس از تمرین (تعامل زمان و جلسه) را اثبات کرد ( $P=0/00$ ).



نمودار ۳. تغییرات لاکتات در جلسات فعالیت. علامت \* نشان‌دهنده تفاوت معنادار مقادیر لاکتات در زمان بعد از فعالیت نسبت به زمان قبل از فعالیت و علامت # نشان‌دهنده تفاوت معنادار مقادیر لاکتات بین جلسات ۲ و ۳ در فاصله زمانی قبل و بعد از فعالیت.

### نتایج مربوط به اختلاف MVC قبل و بلافاصله بعد از فعالیت

میانگین ( $\pm$  انحراف استاندارد) مربوط به اختلاف MVC قبل و بلافاصله بعد از فعالیت در نمودار ۴ ارائه شده است. تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر نشان داد که تفاوت مشاهده‌شده در اختلاف MVC قبل و بلافاصله پس از فعالیت معنادار بود ( $P=0/00$  و  $F_{2,18}=57/90$ ). همچنین نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که این تفاوت در جلسات اول و دوم ( $P=0/000$ ) و جلسات دوم و سوم ( $P=0/000$ ) معنادار ولی بین جلسات اول و سوم ( $P=0/09$ ) معنادار نبود.



نمودار ۴. اختلاف MVC قبل و بلافاصله پس از فعالیت در هر سه جلسه. علامت \* نشان‌دهنده تفاوت معنادار جلسه ۲ با جلسات ۱ و ۳

### بحث

دو محرک عمده افزایش حجم و قدرت عضلانی تجمع متابولیک‌ها (۲۰، ۱۹) و خستگی (۲۱) ایجاد شده در حین فعالیت است. در نتیجه هر روشی که موجب تجمع متابولیت‌ها یا ایجاد خستگی شود، می‌تواند حجم و قدرت عضلانی را افزایش دهد (۲۲). بنابراین تحقیق حاضر به دنبال مقایسه پاسخ حاد شاخص‌های خستگی به فعالیت با و بدون کاهش جریان خون با شدت‌های مختلف است تا بدین وسیله پیشنهاد کرد که کدام نوع از این فعالیت‌ها و با چه شدتی موجب ایجاد خستگی بیشتری می‌شود و در نتیجه افزایش حجم و قدرت در کدام فعالیت می‌تواند بیشتر باشد. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که

شاخص MPF در دو عضله راست رانی و پهن داخلی در جلسه دوم بیشتر از جلسات اول و سوم است، اما بین جلسات اول و سوم تفاوت معناداری وجود ندارد. اما در عضله پهن خارجی مقدار MPF در هر سه جلسه به‌طور معنادار متفاوت است. بنابراین فرضیه این تحقیق مبنی بر بیشتر بودن MPF در جلسات اول و سوم نسبت به جلسه دوم و نبود تفاوت بین خود این دو جلسه را می‌توان با احتیاط قبول کرد.

دلیل کاهش MPF را می‌توان فشار متابولیکی ناشی از فعالیت همراه با کاهش جریان خون دانست (۲۳). در فعالیت همراه با کاهش جریان خون به دلیل کمبود خون در عضله و در نتیجه کمبود اکسیژن در دسترس، فشار متابولیکی افزایش می‌یابد و عضلات نوع اول خیلی زود خسته می‌شوند و در نتیجه تکیه بر عضلات تندانقباض و متابولیسم غیرهوازی بیشتر می‌شود (۲۵، ۲۴، ۱). این درگیری بیشتر تارهای عضلانی تندانقباض موجب افزایش تولید متابولیت‌ها به‌ویژه  $H^+$  می‌شود (۲۶). از طرفی در انقباض‌های ایزومتریک به دلیل عدم تغییر طول عضله و اینکه تمام نیروی تولیدی موجب تولید فشار در عضله می‌شود، فشار ناشی از انقباض بر رگ‌های داخل عضله افزایش می‌یابد. این فشار موجب تنگ شدن رگ‌ها می‌شود و در نتیجه خروج متابولیت‌ها از عضله کاهش می‌یابد (۲۷). بنابراین در فعالیت ایزومتریک همراه با کاهش جریان خون از یک طرف تولید  $H^+$  بیشتر به دلیل به‌کارگیری بیشتر تارهای تندانقباض و از طرف دیگر جلوگیری از خروج متابولیت‌ها به دلیل تنگ شدن سیاهرگ‌های عضله موجب تجمع متابولیت‌ها می‌شود. تجمع  $H^+$  موجب تحریک آوران‌های نوع ۳ و ۴ (گیرنده‌های شیمیایی) داخل عضله می‌شود. تحریک این آوران‌ها موجب کاهش تحریک نورون حرکتی آلفا توسط مغز می‌شود (۲۷). وقتی تحریک نورون حرکتی آلفا کاهش می‌یابد، یکی از فاکتورهایی که تحت تأثیر قرار می‌گیرد، MPF است که یکی از شاخص‌های خستگی مرکزی نیز محسوب می‌شود (۱۷). بنابراین تجمع متابولیت‌ها و به‌خصوص  $H^+$  (که دلیل کمتر بودن MPF است) در جلسه اول ناشی از فشار مکانیکی بیشتر و در جلسه سوم ناشی از فشار متابولیکی بیشتر بوده است. بیشتر بودن تجمع لاکتات در جلسات اول و سوم در این تحقیق درستی تحلیل مذکور را تأیید می‌کند. داده‌های این تحقیق نتایج تحقیقات یاسودا و همکاران (۲۰۰۸) (۱۷) و نتو و همکاران (۲۰۱۴) (۱۴) را تأیید می‌کند. در این زمینه کاربولت و همکاران (۲۰۱۰) چهارده مرد فعال را به دو گروه فعالیت با و بدون کاهش جریان خون تقسیم کردند. پروتکل فعالیت شامل ۵ ست ۲۰ تکراری حرکت اکستنشن زانو با ۲۰ درصد 1-RM بود. این محققان بیان کرده‌اند که کاهش MPF در هر دو گروه یکسان بوده است که دلیل تضاد نتیجه تحقیق خود با تحقیقات دیگر را تأثیر عوامل دیگر مانند ضخامت لایه زیرپوستی، سطح قدرت آزمودنی‌ها یا اختلال در اندازه‌گیری

دانسته‌اند (۲۸). دو عامل دیگر که می‌توانند بر تغییرات MPF تأثیرگذار باشند، تغییر شکل پتانسیل عمل یا کاهش سرعت انتقال پتانسیل عمل در سلول‌های عضلانی است (۳۰، ۲۹). این تغییرات به دلیل تجمع  $H^+$  روی می‌دهند و چون در این تحقیق مقدار لاکتات (و در نتیجه  $H^+$ ) در جلسات اول و سوم بیشتر بود، این امکان نیز وجود دارد که کمتر بودن MPF در این جلسات ناشی از این دو عامل باشد.

یکی دیگر از فاکتورهای که به‌عنوان شاخص خستگی در این تحقیق استفاده شد، اختلاف MVC قبل و بلافاصله پس از فعالیت بود. این شاخص در جلسه دوم با دیگر جلسات به‌طور معنادار متفاوت و کمتر بود. اما بین جلسات اول و سوم اختلاف معناداری مشاهده نشد. دلیل این تفاوت را نیز می‌توان در مقدار تجمع متابولیت‌ها یافت. همان‌طور که بیان شد در جلسه اول به دلیل فشار مکانیکی بیشتر و در جلسه سوم به دلیل فشار متابولیکی بیشتر، تجمع متابولیت‌ها (به‌ویژه  $H^+$ ) بیشتر بوده است. این تجمع موجب اسیدی شدن محیط شده است. اسیدی شدن محیط موجب کاهش خروج کلسیم از شبکه سارکوپلاسمی، کاهش حساسیت به کلسیم و کاهش قدرت تولید نیرو به‌وسیله هر پل عرضی می‌شود (۳۱، ۳۲). بنابراین به دلیل ایجاد خستگی محیطی بیشتر در جلسات اول و سوم مقدار MVC بلافاصله پس از تمرین در این جلسات کاهش بیشتری یافته است. نتایج این تحقیق در خصوص اختلاف MVC نتایج بیشتر تحقیقات انجام‌گرفته را که شامل تحقیقات پیرس و همکاران (۲۰۰۶) (۳۳)، سامر و همکاران (۲۰۰۷) (۴)، یاسودا و همکاران (۲۰۰۸) (۱۷)، یاسودا و همکاران (۲۰۰۹) (۳۴)، کاربولت و همکاران (۲۰۱۰) (۲۸)، ورنبوم و همکاران (۲۰۱۲) (۱۲)، و نتو و همکاران (۲۰۱۴) (۱۴) است، تأیید می‌کند. همچنین در تحقیقی کامل لئونیک و همکاران (۲۰۱۲) آزمودنی‌ها را به دو گروه تقسیم کردند: گروه اول یک پا فعالیت را همراه با کاهش جریان خون و پای دیگر فعالیت را بدون کاهش جریان خون انجام دادند. گروه دوم یک پا فقط کاهش جریان خون داشت (بدون فعالیت) و پای دیگر بدون کاهش جریان خون و بدون فعالیت به‌عنوان کنترل استفاده شد. نتایج نشان داد که مقدار کاهش MVC پس از فعالیت در گروه فعالیت همراه با کاهش جریان خون بیشتر بوده است (۱۳). اما تنها تحقیقی که نتایجش در تضاد با نتایج تحقیق حاضر قرار دارد، تحقیق کاربولیت و همکاران (۲۰۰۶) است. این محققان دوازده آزمودنی را به انجام ۵ ست فعالیت ایزومتریک با ۳۰ ثانیه استراحت بین ست‌ها یک بار با و یک بار بدون کاهش جریان خون واداشتند. بار کار ۲۰ درصد 1-RM بود. نتایج نشان داد که هیچ اختلاف معناداری در مقدار کاهش MVC پس از فعالیت بین دو حالت وجود ندارد. محققان علت معنادار نشدن اختلاف را کم بودن بار کار استاده‌شده دانستند (۱۵).

آخرین شاخص خستگی اندازه‌گیری شده در این تحقیق RPE بود. مقدار این شاخص بین جلسات دوم و سوم دارای تفاوت معنادار اما بین جلسات اول و دوم و همچنین اول و سوم تفاوت معنادار نبود. به نظر می‌رسد که علت معنادار شدن تفاوت در جلسات دوم و سوم (که بار تمرین در این جلسات برابر بود) استفاده از کاف در جلسه سوم به منظور جلوگیری از رسیدن خون به اندام مورد نظر بوده است. چراکه استفاده از کاف می‌تواند موجب ایجاد کبودی و درد ناشی از فشار بر بافت‌های نرم اطراف عضله شود (۳۵) و به این دلیل آزمودنی احساس فشار بیشتر در حین فعالیت همراه با کاهش جریان خون داشته‌اند. در جلسه اول نیز به دلیل بیشتر بودن فشار مکانیکی درک خستگی بیشتر بوده است. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات لئونیک و همکاران (۲۰۱۲)(۱۳)، فوکودا و همکاران (۲۰۱۳)(۳۶) و ویریا و همکاران (۲۰۱۴)(۳۷) موافق و با تحقیقات ورنبوم و همکاران (۲۰۰۹)(۱۸) و لئونیک و همکاران (۲۰۱۱)(۳۸) مخالف است. پروتکل فعالیت در دو تحقیق مخالف تا خستگی اجرا شده است و بنابراین در هر دو حالت با و بدون کاهش جریان خون آزمودنی‌ها تا حد واماندگی فعالیت انجام داده‌اند و امکان بیشتر بودن شاخص‌های خستگی در فعالیت همراه با کاهش جریان خون وجود نداشته است.

### نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که در بار کار برابر مقدار شاخص‌های خستگی در فعالیت ایزومتریک همراه با کاهش جریان خون بیشتر بود. همچنین اگر فعالیت همراه با کاهش جریان خون با بار ۶۵ درصد MVC انجام گیرد، مقدار خستگی ایجاد شده برابر با فعالیت با بار ۱۰۰ درصد MVC ولی بدون کاهش جریان خون است که دلیل آن ایجاد خستگی محیطی و مرکزی بیشتر در فعالیت همراه با کاهش جریان خون است. به دلیل اینکه هر عاملی که موجب ایجاد خستگی زیاد شود می‌تواند حجم و قدرت عضلانی را افزایش دهد، فعالیت ایزومتریک همراه با کاهش جریان خون با شدت ۶۵ درصد MVC می‌تواند برای افراد پیر یا در حال بازتوانی که قصد افزایش قدرت را دارند، اما توانایی کار با وزنه‌های سنگین را ندارند، به کار رود.

**منابع و مأخذ**

1. American College of Sports M. American College of Sports Medicine position stand. "Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and science in sports and exercise*. 2009;41(3):687-708.
2. Ahtiainen JP HK. "Strength athletes are capable to produce greater muscle activation and neural fatigue during high-intensity resistance exercise than nonathletes". *J Strength Cond Res*. 2009;23:1129-1134
3. Fleck SJ, Kreamer WJ. "Designing Resistance Training Programs". *Human Kinetics*. 2014.
4. Summer B. Cook BCC, and Lorl L. Ploutz-snyder. "Effects of Exercise Load and Blood-Flow Restriction on Skeletal Muscle Function". *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39: 1708-1713
5. 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". *Journal of applied physiology*. 2007;103(3):903-10.
6. Laurentino GC, Ugrinowitsch C, Roschel H, Aoki MS, Soares AG, Neves M, Jr., et al. "Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression". *Medicine and science in sports and exercise*. 2012;44(3):406-12.
7. 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". *Journal of sports science & medicine*. 2010;9(3):452-8.
8. 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". *European journal of applied physiology*. 2012;112(11):3915-20.
9. Khoramipour kaivan, Ebrahim khosro.hovanlo faribrez. "Comparison the effects of isometric exercises with different load with and without blood flow occlusion on muscle function". master desertation. 2014.
10. Summer B. Cook BCC, and Lorl L. Ploutz-snyder. "Effects of Exercise Load and Blood-Flow Restriction on Skeletal Muscle Function". *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39: 1708-1713
11. Cook SB MB, LaBarbera KE. "Neuromuscular Function following a Bout of Low-Load Blood Flow restriction exercise". *Medicine and science in sports and exercise*. 2013;45: 67-74.
12. M Wernbom GP, TS Nilsen, J Hisdal et al. "Contractile function and sarcolemmal permeability after acute low-load resistance exercise with blood flow restriction". *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 2012;vol.112:2051-2063.
13. Jeremy PL, Robert ST, Christopher AF, Lindy MR, Takashi A, Michael G Bembem . "Blood flow restriction does not result in prolonged decrease in torque". *European journal of applied physiology*. 2013 Apr 27;113(4):923-31

14. Neto GR, Santos HH, Sousa JB, Júnior AT, Araújo JP, Aniceto RR, Sousa MS "Effects of High-Intensity Blood Flow Restriction Exercise on muscle fatigue". *Journal of Human Kinetics*. 2014;volume 41:163-72.
15. M. Karabulut JTC, E. D. Ryan, R. L. Anderson, H. R. Hull, Y. Sato, T. Abe, M. G. Bembem. "Effects of KAATSU on muscular function during isometric exercise". *Health and Exercise Science, University of Oklahom*. 2006;73019-6081:19-28.
16. Loenneke JP FC, Rossow LM, Sherk VD, Thiebaud RS, Abe T, Bembem DA, Bembem MG. "effect of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise". *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 2012;112(2903–2912).
17. Yasuda T, Brechue WF, Fujita T, Sato Y, Abe T. "Muscle activation during low-intensity muscle contractions with varying levels of external limb compression". *Journal of sports science & medicine*. 2008;7(4):467-74.
18. Mathias Wernbom RJ, Mikael A. "acute effects of blood flow restriction on muscle activity and endurance during fatiguing dynamic knee extensions at low load". *journal of strength and conditioning Research*. 2009;23(8)/2389–2395.
19. Smith RC, Rutherford OM. The role of metabolites in strength training. I. "A comparison of eccentric and concentric contractions". *Eur J Appl Physiol*. 1995;71:332–6.
20. Schott JI, McCully K, Rutherford OM "The role of metabolites in strength training. II. Short versus long isometric contractions". *European journal of applied physiology*. 1995;71:337–341.
21. Rooney KJ, Herbert RD, Balnave RJ. "Fatigue contributes to the strength training stimulus". *Medicine and science in sports and exercise*. 1994;26(9):1160-4.
22. Schoenfeld BJ. "Potential Mechanisms for a Role of Metabolic Stress in Hypertrophic Adaptations to Resistance Training". *Sports Med*. 2013;Volume 43, Issue 3, pp 179-194.
23. Thorstensson A, Karlsson J. "Fatiguability and fibre composition of human skeletal muscle". *Acta Physiol Scand*. 1976;98: 318 –322.
24. Booth FW, Chakravarthy MV, Gordon SE, Spangenburg EE. "Waging war on physical inactivity: using modern molecular ammunition against an ancient enemy". *Journal of applied physiology*. 2002;93(1):3-30.
25. Ringholm S. KK, Guadalupe-Grau A, Aachmann-Andersen NJ, Saltin B, Plomgaard P, Lundby C, Wojtaszewski JF, Calbet JA, Pilegaard H. "Bed rest reduces metabolic protein content and abolishes exercise-induced mRNA responses in human skeletal muscle". *Am J Physiol Endocrinol*. 2011;301, E649– 658.
26. Kubota A, Sakuraba K, Sawaki K, Sumide T, Tamura Y. "Prevention of disuse muscular weakness by restriction of blood flow". *Medicine and science in sports and exercise*. 2008;40(3):529-34.
27. Babault N, Desbrosses K, Fabre MS, Michaut A, Pousson M. "Neuromuscular fatigue development during maximal concentric and isometric knee extensions". *Journal of applied physiology*. 2006;100(3):780-5.

28. Karabulut M, Abe T, Sato Y, Bembem MG. "The effects of low-intensity resistance training with vascular restriction on leg muscle strength in older men". *European journal of applied physiology*. 2010;108(1):147-55.
29. Charles MG. "Muscles alive: their functions revealed by electromyography". Baltimore: Williams and Wilkins. 1985.
30. Hermens HJ BT, Baten CTM, Rutten WLC, Boom HBK. "The median frequency of the surface EMG power spectrum in relation to motor unit firing action potential properties". *J Electromyogr Kinesiol* 1992;2:15-25.
31. Nicolas Place JDBaHW. "Mechanisms of fatigue induced by isometric contractions in exercising humans and in isolated mouse single muscle fibres". *Australian Physiological Society*. 2008;39: 115-122.
32. Place N BJ, Westerblad H. "Mechanisms of fatigue induced by isometric contractions in exercising humans and in mouse isolated single muscle fibres". *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 2009;36: 334-339
33. Joseph R. Pierce BCC, Lori L. Ploutz-Snyder and Jill A. Kanaley. "Growth hormone and muscle function responses to skeletal muscle ischemia". *J Appl Physiol*. 2006;101:1588-1595.
34. Yasuda T, Brechue WF, Fujita T, Shirakawa J, Sato Y, Abe T. "Muscle activation during low-intensity muscle contractions with restricted blood flow". *Journal of sports sciences*. 2009;27(5):479-89.
35. Loenneke JP, Wilson JM, Wilson GJ, Pujol TJ, Bembem MG. "Potential safety issues with blood flow restriction training". *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2011;21(4):510-8.
36. Fukuda T. "low-intensity kaatsu resistance exercises using an elastic band enhance muscle activation in patients with cardiovascular diseases". *intjkaatsu training res*. 2013; 331 - . 5
37. Vieira A1 GA, Ferreira-Junior JB, Vieira CA, de Melo Keene von Koenig Soares E, Cadore EL. "Session rating of perceived exertion following resistance exercise with blood flow restriction". *Clin Physiol Funct Imaging*. 2014 Jan 19 doi: 101111/cpf12126,
38. Jeremy P. Loenneke AB, Austin D. Thrower , Jeremy Barnes Thomas J. . "Blood flow restriction reduces time to muscular failure". *European Journal of Sport Science*. 2011;12:3, 238-243.