علوم زیستی ورزشی - تابستان ۱۳۹۸
دورهٔ ۱۱، شمارهٔ ۲، ص: ۲۲۴ – ۲۰۹
تاریخ دریافت : ۲۲ / ۰۳ /۹۷
تاریخ پذیرش : ۲۷/ ۰۲ / ۹۸

مقایسهٔ اثر ترکیب هشت هفته تمرین مقاومتی با محدودیت جریان خون و سنتی براساس زمان‌بندی خطی و موجی بر هایپرتروفی، قدرت، استقامت عضلانی و توان انفجاری دختران فعال

شیما قرداشخانی[۱] – امین فرزانه حصاری[*۲]

۱. کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزش، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری، ساری، ایران ۲. استادیار فیزیولوژی ورزش، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری، ساری، ایران

چکیده

بیشتر مطالعات اغلب تمرینات مقاومتی سنتی را در زمان‌بندی تمرین به‌کار برده‌اند و اثر تمرینات مقاومتی با محدودیت جریان خون در زمان‌بندی تمرین روشن نیست. بنابراین، هدف از تحقیق حاضر، مقایسهٔ تأثیر ترکیب هشت هفته تمرین مقاومتی با محدودیت جریان خون و تمرین مقاومتی سنتی به‌صورت زمان‌بندی خطی و موجی بر هایپرتروفی، قدرت، استقامت و توان عضلانی دختران فعال بود. ۲۶ دختر فعال به‌صورت تصادفی در سه گروه تمرین مقاومتی بدون زمان‌بندی، زمان‌بندی خطی و زمان‌بندی موجی قرار گرفتند. شدت تمرین مقاومتی سنتی ۷۵ درصد و شدت تمرین مقاومتی با محدودیت جریان خون ۳۰ درصد یک تکرار بیشینه بود. در گروه زمان‌بندی خطی، ۴ هفتهٔ اول تمرین مقاومتی با محدودیت جریان خون و ۴ هفتهٔ دوم تمرین مقاومتی سنتی و در گروه زمان‌بندی موجی، یک روز تمرین با محدودیت جریان خون و روز دیگر تمرین مقاومتی سنتی و در گروه بدون زمان‌بندی، تمرین مقاومتی سنتی با شدت ثابت انجام گرفت. برای تحلیل آماری از آزمون تحلیل واریانس یکطرفه استفاده شد. نتایج نشان داد که افزایش معناداری از پیش‌آزمون به پس‌آزمون در تمام گروه‌ها برای سطح مقطع عضلات راست رانی و پهن داخلی، قدرت و استقامت عضلات چهارسرران و همسترینگ و توان انفجاری پاها مشاهده شد. تفاوت معناداری بین گروه‌ها در هیچ‌یک از متغیرها به‌غیر از سطح مقطع عضلهٔ پهن میانی وجود نداشت. ترکیب تمرین مقاومتی سنتی و تمرین با محدودیت جریان خون به هر دو شکل زمان‌بندی خطی و موجی تأثیرات مشابهی با تمرین مقاومتی بدون زمان‌بندی بر هایپرتروفی، قدرت، استقامت و توان انفجاری پاهای دختران فعال دارد.

واژه‌های کلیدی

زمان‌بندی تمرین مقاومتی، محدودیت جریان خون، هایپرتروفی عضلانی.

مقدمه

[*] نویسندهٔ مسئول : تلفن: ۰۹۱۱۳۷۰۷۴۹۲ Email:af.hessari@gmail.com

امروزه تمرینات مقاومتی رواج زیادی به‌ویژه در دو دههٔ اخیر پیدا کرده است. رایج‌ترین هدف تمرینات مقاومتی، تحریک هایپرتروفی عضلهٔ اسکلتی است. هایپرتروفی عضلانی به‌عنوان افزایش حجم عضلانی ناشی از تمرین توصیف می‌شود. تجمع پروتئین‌های انقباضی مهم‌ترین مکانیسمی است که به افزایش رشد عضله منجر می‌شود. عقیده بر آن است که تمرین مقاومتی با شدت ۸۵ - ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه و ۱۲-۸ تکرار به‌منظور هایپرتروفی عضله مورد نیاز است (۱). براساس نتایج مورتون و مک‌گلوری[1] (۲۰۱۵) حجم (بار× ست× تکرار) و تواتر تمرین، فاکتورهای مهم برای هایپرتروفی عضلانی‌اند (۲). طبق اصل اندازه، تمرینات مقاومتی سنگین و درون‌گرا به افزایش بیشتر در رشد عضله و کسب قدرت، اغلب از طریق فراخوانی بیشتر تارهای نوع دو، منجر می‌شود. بر این اساس تمرین با شدت کم ممکن است تنش کافی به‌منظور افزایش قدرت و حجم عضلانی را نداشته باشد (۱).

برحسب هدفی که از برنامهٔ تمرین مقاومتی دنبال می‌شود، متغیرهای مختلفی مثل شدت، مدت، تکرار، تناوب، فاصلهٔ استراحت قابل دستکاری است. در این بین «شدت»، مهم‌ترین متغیر برای دستیابی به اهداف تمرینی معرفی شده است (۱). اگر ورزشکاری به‌دلیل آسیب‌دیدگی قادر به انجام تمرینات مقاومتی سنگین نباشد، حفظ و بازسازی حجم عضلانی به‌منظور بازتوانی سریع‌تر حیاتی است (۳). روش نسبتاً جدیدی از تمرینات قدرتی با شدت کم که تمرینات مقاومتی همراه با محدودیت جریان خون خون[2] خوانده می‌شود، ممکن است راه‌حل مشکل مذکور باشد. این تمرین عبارت است از انجام تمرین مقاومتی با شدت کم که با بستن دور بخش فوقانی بازو یا ران همراه است (۴). معمولاً شدت این تمرینات ۳۰-۲۰ درصد یک تکرار بیشینه است که تقریباً معادل فعالیت روزانهٔ افراد است، بنابراین برای بیشتر افراد با ویژگی‌های جسمانی متفاوت قابل تحمل است. بیشتر مطالعات حاکی از آن است که تمرین با محدودیت جریان خون همان فواید تمرینات قدرتی سنتی را دارد (۵). اعتقاد بر این است که بارهای سنگین برای فراخوانی تمام تارهای عضلانی در یک عضلهٔ تمرین‌کرده ضروری است. با این حال به‌نظر می‌رسد که جریان خون وریدی محدودشده در تمرین با محدودیت جریان خون، آستانهٔ فراخوانی را (از طریق خستگی) بیشتر از تمرینات قدرتی رایج کاهش می‌دهد (۶).

مربیان و ورزشکاران با هدف به مطلوب رساندن تمرینات مقاومتی از ابزار زمان‌بندی استفاده می‌کنند. زمان‌بندی تمرین عبارت است از دستکاری روند تمرین و تغییرات منظم برای توسعهٔ سازگاری

1 . Morton and McGlory
2 . Blood flow restriction training

تمرین و اجتناب از فاز عدم سازگاری و یکنواختی در پاسخ‌های تمرینی. مدل‌های مختلفی از زمان‌بندی وجود دارد، ولی محققان بیشتر از دو نوع زمان‌بندی سنتی (خطی) و زمان‌بندی موجی (غیرخطی) استفاده می‌کنند. زمان‌بندی خطی به‌طور عمده برای ورزش‌هایی که دارای یک یا دو هدف تمرینی‌اند، استفاده می‌شود. اما زمان‌بندی غیرخطی بیشتر برای ورزش‌هایی توسعه یافته است که فصل رقابتی طولانی و اهداف تمرینی متفاوت دارند و نیاز است که ورزشکار خود را نزدیک به اوج در همهٔ مسابقات طی دوره‌های بلند حفظ کند (۷). بارتولومی[1] و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که زمان‌بندی موجی به افزایش بیشتر در سطح مقطع عضلانی نسبت به زمان‌بندی خطی پس از ۱۰ هفته تمرین قدرتی منجر شد (۸).

براساس نتایج مطالعات استراتژی‌های تمرینی مؤثر در هایپرتروفی عبارت‌اند از: تمرینات مقاومتی سنتی (شدت ۸۰-۷۰ درصد یک تکرار بیشینه و ۱۲-۸ تکرار) (۲)، تمرینات مقاومتی سنگین (شدت۹۰-۸۰ درصد یک تکرار بیشینه و ۷-۵ تکرار) (۱) و تمرین با محدودیت جریان خون (شدت ۳۰-۲۰ درصد یک تکرار بیشینه و ۳۰-۲۰ تکرار) (۶). با وجود پروتکل‌های تمرینی مختلف با شدت‌های متفاوت، مطالعه‌ای که استراتژی‌های مذکور را به‌منظور به حداکثر رساندن هایپرتروفی و در قالب زمان‌بندی‌های مختلف ترکیب کرده باشد، بسیار اندک است. در این زمینه، لاوری[2] و همکاران (۲۰۱۳) اثر ترکیب تمرین مقاومتی با محدودیت جریان خون و سنتی را در یک زمان‌بندی خطی بر هایپرتروفی عضلانی بررسی کرده و تفاوت معناداری را بین دو گروه در هایپرتروفی مشاهده نکردند (۹). ایسمایل[3] و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که ترکیب تمرین قدرتی سنتی و با محدودیت جریان خون نسبت به هر یک از دو تمرین به‌تنهایی اثر بیشتری بر قدرت و هایپرتروفی دارد (۱۰). در این مطالعات ترکیب تمرین قدرتی سنتی و با محدودیت جریان خون بدون زمان‌بندی صورت گرفته است.

با توجه به متفاوت بودن متغیر شدت در تمرین قدرتی با محدودیت جریان خون و نوع سنتی و با در نظر گرفتن دستکاری شدت تمرین در فازهای مختلف زمان‌بندی، پژوهشگران در تحقیق حاضر در پی بررسی این موضوع بودند که آیا ترکیب تمرینات مذکور به‌صورت زمان‌بندی‌های مختلف تأثیرات متفاوت بر عملکرد عضلانی دارد؟ بنابراین، هدف از مطالعهٔ حاضر، مقایسهٔ اثر ترکیب تمرین قدرتی با

1 . Bartolomi
2 . Lowery
3 . Ismail

محدودیت جریان خون و سنتی به‌صورت زمان‌بندی موجی و خطی بر هایپرتروفی، قدرت، استقامت و توان عضلانی دختران فعال است.

روش‌شناسی

جامعهٔ آماری تحقیق حاضر کلیهٔ دختران ۲۰ تا ۲۵ سال عضو باشگاه‌های بدنسازی شهر اندیشهٔ کرج بودند که بعد از اعلام فراخوان عمومی، ۲۶ دختر فعال (میانگین سن: ۳/۱۱± ۲۲/۱۵ سال، وزن: ۵/۳۳±۶۰/۷۱ کیلوگرم، قد: ۴/۱۵±۱۶۴/۲۲ سانتی‌متر) که بین ۶ تا ۱۲ ماه سابقهٔ تمرین مقاومتی منظم داشتند (آزمودنی‌ها به‌صورت منظم ۳ جلسه در هفته انواع تمرین مقاومتی شامل تمرین با وزنه، یا تمرین با کش یا TRX انجام می‌دادند)، به‌صورت داوطلبانه در این پژوهش شرکت کردند و به‌صورت تصادفی در سه گروه تمرین مقاومتی بدون زمان‌بندی (۹ نفر)، زمان‌بندی خطی (۸ نفر) و زمان‌بندی موجی (۹ نفر) قرار گرفتند. براساس سابقهٔ پزشکی، آزمودنی‌ها بیماری و مشکل پزشکی نداشتند و هیچ دارو یا مکملی استفاده نمی‌کردند. به‌منظور کنترل چرخهٔ قاعدگی در نمونه‌گیری، وضعیت یائسگی آزمودنی‌ها نیز مورد پرسش قرار گرفت. کلیهٔ شرکت‌کنندگان اطلاعات مکتوب در خصوص پژوهش را دریافت کردند و پس از مطالعه، از آنها درخواست شد تا رضایت‌نامهٔ کتبی را امضا کنند.

یک هفته پیش از شروع برنامهٔ تمرینی، سه جلسه آشنایی با مداخلات تحقیق (شامل محدودیت جریان و تمرین با وزنه) برای آزمودنی‌ها گذاشته شد. سپس از آزمودنی‌ها پیش‌آزمون شامل اندازه‌های آنتروپومتریک، سطح مقطع عضلات چهارسر ران (از طریق تصویربرداری ونوگرافی)، قدرت (از طریق اندازه‌گیری یک تکرار بیشینه (1RM)) (۱۱)، استقامت عضلانی (با انجام آزمون ۶۰ درصد 1RM تا حد خستگی) (۱۱)، توان انفجاری (با انجام آزمون پرش عمودی سارجنت) به‌عمل آمد (۱۲).

پس از انجام آزمون‌های اولیه، آزمودنی‌ها به مدت دو هفته و دو جلسه در هفته به‌منظور آشنایی با تمرین و بعد از آن در برنامهٔ تمرینی اصلی شرکت کردند. برنامهٔ تمرین به مدت ۸ هفته و هفته‌ای ۳ جلسه و هر جلسه شامل ۱۰ دقیقه گرم کردن عمومی، برنامهٔ تمرین اصلی و ۱۰ دقیقه سرد کردن بود. برنامهٔ تمرین اصلی برای تمام گروه‌ها شامل سه حرکت پرس پا (با دستگاه)، پشت پا (با دستگاه پشت پا) و باز شدن زانو (با دستگاه جلو پا) و با ترتیب یادشده بود (۱۳). در گروه بدون زمان‌بندی حرکات با شدت ۷۵ درصد یک تکرار بیشینه و در سه ست ۱۰ تکراری در کل مدت تمرین انجام گرفت. اصل اضافه‌بار براساس رکورد جدیدی که هر دو هفته از آزمودنی‌ها گرفته شد، لحاظ شد (۱۴). در گروه

زمان‌بندی خطی، ۴ هفتهٔ اول تمرین قدرتی با محدودیت جریان خون و در ۴ هفتهٔ دوم تمرین قدرتی سنتی انجام پذیرفت (۱۴). در گروه زمان‌بندی موجی، یک روز تمرین با محدودیت جریان خون و روز دیگر تمرین قدرتی سنتی انجام گرفت. تمرین قدرتی سنتی برای گروه‌های زمان‌بندی خطی و موجی مشابه گروه بدون زمان‌بندی بود (۱۵).

برای تمرین با محدودیت جریان خون، پیش از شروع هر حرکت، قسمت پروگزیمال هر دو ران با کاف برزنتی (۸۵ سانتی‌متر طول و ۶ سانتی‌متر عرض) استفاده شد که درون آن تیوپ لاستیکی قرار داشت و دارای دو مجرا، یکی برای ورود هوا و دیگری برای نصب بارومتر بود (طراحی و ثبت‌شده توسط حسینی کاخک و همکاران در دانشگاه حکیم سبزواری (۱۳)) (شکل ۱) بسته و به مقدار لازم باد شد. هر حرکت با شدت ۳۰ درصد یک تکرار بیشینه و در چهار ست، ست اول ۳۰ تکرار و ست دوم تا چهارم ۱۵ تکرار انجام گرفت (۱۳). کاف در بین انجام حرکات باز و قبل از اجرای حرکت بعدی بسته می‌شد. در هر دو گروه شدت تمرین با محدودیت جریان خون مشابه بود. در تمرین قدرتی سنتی استراحت بین ست‌ها دو دقیقه و بین ایستگاه‌ها سه تا چهار دقیقه و در تمرین با محدودیت جریان خون استراحت بین ست‌ها یک دقیقه و بین ایستگاه‌ها سه دقیقه بود (جدول ۱). شایان ذکر است که هر دو هفته آزمون یک تکرار بیشینه انجام می‌گرفت و شدت تمرین براساس رکورد جدید تنظیم می‌شد. پس از اتمام برنامهٔ تمرینی، از تمام آزمودنی‌ها مجدداً پس‌آزمون شامل تمام آزمون‌های پیش‌آزمون در شرایط مشابه به‌عمل آمد (۱۳). شایان ذکر است که بار حجمی (ست×تکرار×شدت) در هر جلسه و برای تمام گروه‌ها مشابه بود.

شکل ۱. کاف فشار برای محدود کردن جریان خون

به‌منظور تعیین فشار مناسب کاف جهت محدود کردن جریان خون برای هر آزمودنی، حداکثر فشار انسداد برای چند آزمودنی با حجم ران متفاوت محاسبه شد. برای این منظور، از آزمودنی خواسته شد تا به‌صورت طاقباز بخوابد و کاف فشار دور قسمت پروگزیمال پا بسته شد. کاف به اندازهٔ ۵۰ میلی‌متر جیوه

به مدت ۳۰ ثانیه باد شد و سپس میزان باد به‌صورت متناوب ۴۰ میلی‌متر جیوه اضافه شد تا زمانی‌که نبض شریانی در قسمت قوزک داخلی پا مشهود نباشد. مجدداً فشار کاف به‌صورت متناوب به اندازهٔ ۱۰ میلی‌متر جیوه کم شد تا نبض دوباره برقرار شود. بالاترین فشاری که در آن نبض شریانی مشخص نبود، به‌عنوان حداکثر فشار انسداد تعیین شد (۱۶). پروتکل تمرینی با محدودیت جریان خون با فشار ۷۰ درصد حداکثر فشار انسداد انجام گرفت (۱۷، ۱۶).

جدول ۱. پروتکل تمرینی گروه‌های تحقیق

گروه ها	جلسات تمرین	تعداد دور و تکرار	شدت	استراحت
بدون زمان بندی	جلسهٔ ۱ تا ۲۴ (هفتهٔ اول تا هشتم)	۳×۱۰	٪۷۵ 1RM	۲ دقیقه
زمان‌بندی خطی	جلسهٔ ۱ تا ۱۲ (هفتهٔ اول تا چهارم)	۱× ۳۰ + ۳×۱۵	٪۳۰ 1RM	۱ دقیقه
	جلسهٔ ۱۳ تا ۲۴ (هفتهٔ پنجم تا هشتم)	۳ ×۱۰	٪۷۵ 1RM	۲ دقیقه
زمان‌بندی موجی	جلسات فرد (۲۳، ۲۱، ۱۹، ۱۷، ۱۵، ۱۳، ۱۱، ۹، ۷، ۵، ۳، ۱)	۱× ۳۰ + ۳×۱۵	٪۳۰ 1RM	۱ دقیقه
	جلسات زوج (۲۴، ۲۲، ۲۰، ۱۸، ۱۶، ۱۴، ۱۲، ۱۰، ۸، ۶، ۴، ۲)	۳ ×۱۰	٪۷۵ 1RM	۲ دقیقه

برای ارزیابی سطح مقطع عضلانی، از مبدل ۱۲ مگاهرتزی پروب خطی دستگاه سونوگرافی Voluson E8 مدل ۲۰۱۳ و با ورژن نرم‌افزاری BT13 و استفاده شد. برای این منظور، آزمودنی به حالت طاقباز و با زانوی باز دراز کشید. فاصلهٔ بین خار خاصره‌ای قدامی فوقانی و وسط استخوان کشکک اندازه‌گیری و نقطهٔ میانی و دوسوم این فاصله روی پوست مشخص شد. ژل بر روی پروب ریخته شد و پروب در راستای مسیر مشخص شده و با فشار متوسط توسط دکتر متخصص به‌صورت دقیق روی پوست حرکت داده شد. دو عکس از سطح مقطع عضلات راست رانی و پهن میانی پای برتر گرفته شد (شکل ۲).

شکل ۲. تصویر سونوگرافی عضلات راست رانی (چپ) و پهن میانی (راست)

حداکثر قدرت عضلانی برای حرکات جلو پا و پشت پا، با قرار دادن مقدار وزنهٔ جابه‌جاشده و تعداد تکرار آن (وزنهٔ برآوردشده توسط خود آزمودنی تا حد خستگی) در فرمول برزیسکی به‌دست آمد (۱۱):

[۰/۰۲۷۸ (تعداد تکرار- ۱/۰۲۷۸] / وزنهٔ جابه‌جاشده (کیلوگرم) = یک تکرار بیشینه

آزمون استقامت عضلانی پویا، پس از مشخص شدن 1RM در حرکت جلو پا آزمودنی‌ها، ۶۰ درصد از 1RM آنها در حرکت جلوپا به‌صورت انفرادی و جداگانه محاسبه شد و از آنها خواسته شد تا حداکثر تکرار را با آن وزنه انجام دهند. دربارهٔ سرعت حرکت، به آزمودنی‌ها گفته شده بود که حرکت در رفت یک ثانیه و در برگشت یا بالا آوردن وزنه حدود ۲ ثانیه طول بکشد. در پایان تعداد تکرار انجام‌گرفته به‌عنوان استقامت موضعی عضله د ر نظر گرفته شد (۱۱).

توان عضلانی پایین‌تنهٔ آزمودنی‌ها با استفاده از آزمون پرش عمودی (آزمون پرش سارجنت) به روش براون و ویر ارزیابی شد. پس از گرم کردن اولیه، هر آزمودنی سه پرش آزمایشی با فاصلهٔ استراحت یک‌دقیقه‌ای انجام داد و پرش چهارم به‌عنوان پرش اصلی، در نظر گرفته شد (۱۲). با استفاده از مقدار ارتفاع پرش عمودی و معادلات ارائه‌شده توسط هارمن (۱۹۹۱) توان بیشینه محاسبه شد (۱۸).

حداکثر توان (W)=۶۱/۹×(ارتفاع پرش)(cm) + ۳۶ × (شاخص تودهٔ بدنی)(kg)- ۱۸۲

برای مقایسهٔ تغییرات فیزیولوژیکی ایجادشده پس از هشت هفته تمرین قدرتی، از آزمون تحلیل واریانس یکطرفه و آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. کلیهٔ عملیات و تجزیه‌وتحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 انجام گرفت. سطح معناداری در این پژوهش (P<۰/۰۵) در نظر گرفته شد.

نتایج

در جدول ۲، تغییرات میزان هایپرتروفی عضلات راست رانی و پهن میانی، قدرت عضلات پایین‌تنه، استقامت عضلات پایین‌تنه و توان انفجاری پاها در پیش و بعد از آزمون آورده شده است.

جدول ۲. مقادیر سطح مقطع، قدرت، استقامت و توان انفجاری عضلات پاها قبل و بعد از تمرین در گروه‌های تحقیق

گروه	بدون زمان‌بندی		زمان‌بندی خطی		زمان‌بندی موجی	
شاخص	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون
سطح مقطع راست رانی (mm^2)	۱۹/±۲ ۲/۳	۲۰/۴ ۲±/۶	۱۸/۹ ۴± / ۱	۲۱ ۴±/۴	۲۰/۴۴ ۳± /۴	۲۱/۵۵ ۳±/۳
سطح پهن میانی (mm^2)	۱۸/۷ ۳±/۶	۲۰/۱ ۳±/۶	۲۱/۸۱ ۴. /۶	۲۴/۷۵ ۴±/۲	۲۰/۴۲ ۳±/۷	۲۱/۷۷ ۲±/۸
قدرت باز کردن زانو (کیلوگرم)	۲۵/۷۵ ۵±/۱	۳۱/۱ ۶±/۱	۲۴/۳۷ ۳±/۱	۳۰/۱۸ ۳±/۷	۲۶/۳۳ ۳±/۳	۳۲/۴۴ ۸±/۱
قدرت خم کردن زانو (کیلوگرم)	۲۱/۱۴ ۵±/۲	۲۷/۱۴ ۷±/۴	۲۵/۵ ۴± /۱	۳۱/۵ ۲±/۵	۲۷/۱ ۷±/۲	۳۲/۲۲ ۷±/۶
استقامت عضلانی چهارسر ران (تکرار)	۲۳/۱۴ ۴± /۲	۲۸/۱۴ ۲±/۵	۲۸/۳۷ ۸±/۶	۳۴/۷۵ ۲±/۵	۲۴ /۵۵ ۴/۲	۳۲/۲۲ ۷±/۶
توان انفجاری پاها (وات)	۶۷۵/±۷۴ ۶۱	۷۲۳ /±۵۵ ۴۸	۷۱۴/۵۱ ۵۹±	۷۶۴/۳ ۴۲±	۶۸۷/۶ ۵۱	۷۳۹/۲۲ ۵۶±

جدول ۳. نتایج آزمون تجزیه‌وتحلیل واریانس یکطرفه برای متغیرهای تحقیق

متغیر	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	P
سطح مقطع راست رانی	۶/۳۴۹	۲	۸۳/۷۱۰	۰/۲۵۱	۰/۷۸۰
	۲۶۵/۶۵۱	۲۳	۸۷/۴۶۵		
	۲۷۲/۰۰	۲۵			
سطح مقطع پهن میانی	۱۳۶/۱۴۱	۲	۶۸/۰۷۰	۵/۴۲۵	۰/۰۱۳
	۲۶۳/۹۸۴	۲۳	۱۲/۵۷۱		
	۴۰۰/۱۲۵	۲۵			
قدرت باز کردن زانو	۲۲/۲۹۹	۲	۱۱/۱۴۹	۰/۲۷۲	۰/۷۷۲
	۸۹۳/۱۹۱	۲۳	۴۲/۵۳		
	۹۱۵/۴۹	۲۵			
قدرت خم کردن زانو	۱۱۳/۵۸	۲	۵۶/۷۹	۱/۴۷۳	۰/۱۹۹
	۶۸۴/۴۱	۲۳	۳۲/۵۹۱		
	۷۹۸/۰۰	۲۵			
استقامت عضلانی چهارسر ران	۱۶۷/۴۲	۲	۸۳/۷۱	۰/۹۵۷	۰/۴۰۱
	۱۸۳۶/۵۷	۲۳	۸۷/۴۵		
	۲۰۰۴/۰۰	۲۵			
توان انفجاری پاها	۶۲۹/۲۱۲	۲	۳۱۴/۶۰	۰/۴۳۸	۰/۱۴۳
	۸۶۸/۶۲	۲۳	۴۱/۳۶		
	۱۴۹۷/۸۳	۲۵			

نتایج آزمون تحلیل واریانس نشان داد که تفاوت معناداری در سطح مقطع عضلهٔ راست رانی (F=۰/۲۵۱، P=۰/۷۸۰)، قدرت عضلات بازکنندهٔ زانو (F=۰/۷۷۲، P=۰/۲۷۲)، قدرت عضلات خم‌کنندهٔ زانو (F=۱/۷۴۳، P=۰/۱۹۹)، استقامت عضلانی چهارسر رانی (F=۰/۹۵۷، P=۰/۴۰۱) و توان انفجاری پاها (F=۰/۴۳۸، P=۰/۱۴۳) بین گروه‌ها وجود ندارد، درحالی‌که از پیش‌آزمون به پس‌آزمون در تمام

گروه‌ها افزایش معناداری مشاهده شد (P≤۰/۰۵). برای سطح مقطع عضلهٔ پهن میانی تفاوت معناداری بین گروه‌ها مشاهده شد (F=۵/۴۲۵، P=۰/۰۱۳). نتایج آزمون تعقیبی نشان داد که بین گروه زمان‌بندی خطی و گروه بدون زمان‌بندی تفاوت معناداری وجود دارد (P=۰/۰۰۹)، ولی بین گروه زمان‌بندی خطی و زمان‌بندی موجی (P=۰/۱۵۷) و همچنین زمان‌بندی موجی و بدون زمان‌بندی (P=۰/۲۱۹) تفاوت معناداری مشاهده نشد.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف عمده در این مطالعه بررسی اثر ترکیب تمرین قدرتی سنتی و تمرین با محدودیت جریان خون براساس زمان‌بندی موجی و خطی بر هایپرتروفی، قدرت، استقامت عضلانی و توان انفجاری اندام تحتانی بود. پس از هشت هفته هایپرتروفی، قدرت، استقامت عضلانی و توان انفجاری در تمام گروه‌ها افزایش یافت، ولی تفاوت معناداری بین گروه‌ها مشاهده نشد. هایپرتروفی عضلهٔ راست رانی در گروه زمان‌بندی خطی، موجی و بدون زمان‌بندی به‌ترتیب ۱۱/۱۱ ، ۵/۴۳ و ۶/۳۵ درصد، هایپرتروفی عضلهٔ پهن میانی به‌ترتیب ۱۳/۴۸، ۶/۶۱ و ۷/۴۸ درصد، قدرت چهار سر ران به‌ترتیب ۲۵/۶، ۲۳/۱ و ۲۴/۲ درصد و قدرت همسترینگ به‌ترتیب ۲۴/۶، ۲۳/۳ و ۲۸ درصد افزایش داشت.

در مورد اثر ترکیب تمرینات قدرتی سنتی با شدت بالا و تمرین با محدودیت جریان خون مطالعات اندکی صورت گرفته است. در این زمینه، نتایج مطالعات لاوری و همکاران (۲۰۱۳) و ایسمایل و همکاران (۲۰۱۴) با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. در تحقیق ایسمایل و همکاران، آزمودنی‌ها ورزشکار بودند و در سه گروه تمرینات قدرتی سنتی، تمرین با محدودیت جریان خون و ترکیبی قرار گرفتند. مدت تمرینات هفت هفته بود که گروه تمرین با محدودیت جریان خون با شدت ۳۰ درصد یک تکرار بیشینه و ۲ روز در هفته، گروه قدرتی سنتی ۴ روز در هفته با شدت ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه و گروه ترکیبی به مدت ۶ روز به‌طوری‌که ۴ روز تمرین قدرتی سنتی و ۲ روز تمرین با محدودیت جریان خون انجام دادند (۱۰). نتایج نشان داد که قدرت پرس پا در گروه‌های تمرین قدرتی سنتی، تمرین با محدودیت جریان خون و ترکیبی به‌ترتیب ۶، ۶/۶ و ۱۱/۷۷ درصد افزایش داشت که مشابه تحقیق حاضر بود. در تحقیق لاوری و همکاران (۲۰۱۳) ۲۰ ورزشکار بدنساز شرکت کردند که به‌صورت متقاطع هفت هفته تمرین قدرتی ترکیبی را انجام دادند. گروه اول چهار هفته نخست تمرین با محدودیت جریان خون و چهار هفتهٔ دوم تمرین قدرتی سنتی و گروه دوم چهار هفتهٔ اول تمرین قدرتی

سنتی و چهار هفتهٔ دوم تمرین با محدودیت جریان خون را انجام دادند. نتایج نشان داد که در ضخامت عضلانی تفاوت معناداری بین دو گروه وجود نداشت (۹).

تحقیقات در زمینهٔ اثر تمرینات قدرتی بر روی تغییرات قدرت در سالیان اخیر نشان داده است که تمرینات زمان‌بندی‌شده موجب افزایش قدرت بیشتری نسبت به برنامه‌های بدون زمان‌بندی می‌شود. همچنین مطالعات در خصوص مقایسهٔ دو مدل تمرین با وزنهٔ خطی و غیرخطی بر روی تغییرات قدرت نیز نشان داده است که مدل غیرخطی موجب دستاورد قدرت بیشتر در مقایسه با مدل خطی می‌شود. با این حال، یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج مطالعات سیمائو[1] و همکاران (۲۰۱۲) (۱۹)، رئا[2] و همکاران (۲۰۰۹) (۲۰)، مطالعات کوک[3] و همکاران (۲۰۰۹) (۲۱)، هافمن[4] و همکاران (۲۰۰۹) (۲۲) قابل مقایسه نیست، زیرا در تمام این مطالعات از تمرین قدرتی سنتی استفاده شده است.

سیمائو و همکاران (۲۰۱۲) نیز با مقایسهٔ دو مدل برنامهٔ خطی و غیرخطی روزانه افزایش معناداری را در قدرت پرس سینه، پشت‌بازو و جلوبازو در مدل غیرخطی نسبت به مدل خطی نشان دادند. در این مطالعه از یک مدل ترکیبی در مدل غیرخطی استفاده شده بود، به‌طوری‌که گروه غیرخطی ابتدا مدل شش هفته تمرینات خطی و در پی آن شش هفته تمرینات غیرخطی روزانه را اجرا کردند و با مدل خطی که هر چهار هفته حجم و شدت تغییر پیدا کرده بود، مقایسه کردند (۱۹). رئا و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعات خود نشان دادند که مدل غیرخطی موجب افزایش قدرت بیشتری در پرس سینه و پرس پا در مقایسه با مدل خطی بعد از دوازده هفته تمرین شده است (۲۰). در مطالعهٔ کوک و همکاران (۲۰۰۰۹) با مقایسهٔ دو مدل برنامه با وزنهٔ خطی و غیرخطی بر روی زنان تمرین‌نکرده به مدت ۹ هفته، افزایش چشمگیری را در قدرت اسکوات و پرس سینه به‌ترتیب در مدل غیرخطی ۴۱/۲ و ۲۸/۳ درصد نسبت به مدل خطی ۳۴/۸ و ۲۱/۸ درصد نشان دادند. اگرچه میزان این تغییرات در مدل غیرخطی بیشتر از مدل خطی بود، در بین دو گروه معنادار نبود. به‌نظر می‌رسد نبود اختلاف معنادار در بین دو گروه، به‌دلیل مدت زمان کم پروتکل تمرینی بوده است (۲۱).

براساس نتایج تحقیق حاضر، قدرت عضلانی در تمرینات مقاومتی ترکیبی سنتی + با محدودیت جریان خون مشابه تمرینات مقاومتی سنتی رایج بود. قدرت ممکن است از طریق مکانیسم‌های مختلفی

1. Simao
2. Rhea
3. Kok
4. Haffman

افزایش یابد که از جمله مهم‌ترین آنها، سازگاری‌های سیستم عصبی عضلانی و تغییر شرایط متابولیکی عضله است (۵). به‌طوری‌که اعتقاد بر این است که تمرین مقاومتی در شرایط هایپوکسی موجب تجمع مواد متابولیتی (اسید لاکتیک، ADP و غیره)، فراخوانی بیشتر واحدهای حرکتی و افزایش فعالیت الکتریکی عضله می‌شود (۵). تاکارادا[1] و همکاران (۲۰۰۰) در تحقیقی نشان دادند که مقادیر EMG فعالیت عضله در طی تمرین با محدودیت جریان خون با شدت ۴۰ درصد یک تکرار بیشینه به‌طور معناداری نسبت به گروه کنترل بالاتر بود و این مقادیر برابر با مقادیر تمرین بدون محدودیت خون با شدت بالا (٪۸۰ یک تکرار بیشینه) بود (۲۳). این موضوع نشان می‌دهد که واحدهای حرکتی که به‌طور طبیعی غیرفعال بودند، در طی تمرین با محدودیت جریان خون به‌کار گرفته شدند (۲۴). دلیل افزایش فعالیت عضله در تمرین با محدودیت خون در سطوح پایین ممکن است این باشد که طی آن تارهای نوع II گلیکولتیک بیشتری به‌کار گرفته می‌شوند تا سطح یکسان از تولید نیرو را حفظ کنند (۲۵). آستانهٔ به‌کارگیری واحدهای حرکتی در طی خستگی ناشی از تمرین با شدت پایین همراه با انسداد کاهش می‌یابد، آنچنان‌که تارهای نوع ۲ به‌کار می‌روند تا با افزایش تولید نیرو، حالت خستگی را کاهش دهند. همچنین تجمع متابولیت‌ها و ذخیرهٔ پایین اکسیژن در عضلات اسکلتی موجب تغییرات میزان آتش بار واحدهای حرکتی و به‌کارگیری الگوهایی می‌شود که سازگاری‌های عصبی عضلانی و قدرت را افزایش می‌دهد (۲۶). در برخی تحقیقات، علاوه‌بر سازگاری عصبی عضلانی، سازگاری‌های هورمونی ناشی از تمرین مقاومتی با محدودیت خون نیز بررسی شده است. این تحقیقات نشان می‌دهند تجمع متابولیک‌ها در تمرین با شرایط هایپوکسی عضلانی به افزایش غلظت هورمون رشد و IGF-1 منجر می‌شود و این عوامل رشد عضلانی و افزایش قدرت را به‌دنبال دارد (۲۵). از جمله سازوکارهای دیگر افزایش قدرت در اثر تمرینات با محدودیت جریان خون را می‌توان به افزایش مقادیر گزانتین اکسیداز و فعال‌سازی سلول‌های ماهواره‌ای (۲۳)، افزایش سطح مقطع و هایپرتروفی عضلانی (۲۷) نسبت داد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که برای سطح مقطع عضلهٔ راست رانی تفاوت معناداری بین گروه‌ها وجود ندارد، ولی برای سطح مقطع عضلهٔ پهن میانی تفاوت معناداری بین گروه‌ها مشاهده شد. نتایج تحقیق ایسمایل نشان داد که دور ران در گروه‌های تمرین قدرتی سنتی، تمرین با محدودیت جریان خون و ترکیبی به‌ترتیب ۲/۶، ۳/۷ و ۵/۱ درصد افزایش داشت که مشابه تحقیق حاضر بود. در واقع در هر دو تحقیق سطح مقطع عضلات ران در گروه ترکیبی بیشتر از گروه‌های دیگر بود. افزایش سایز عضله

1 . Takarada

در پی تمرین مقاومتی و تمرین هوازی با محدودیت جریان خون نیز مشاهده شده است (۲۸، ۲۳). افزایش به‌کارگیری تارهای تندانقباض در طی تمرین با انسداد ممکن است نقش مهمی در افزایش سایز عضله داشته باشد. مطالعات با استفاده از MRI افزایش ۸۵ درصدی در سطح مقطع عضله در پی ۲ تا ۳ هفته تمرین باانسداد را نشان دادند (۲۸) که بیان‌کنندهٔ این است که هایپرتروفی به‌طور معناداری در عرض دورهٔ کوتاهی، اتفاق افتاده است.

یکی از دلایل افزایش جریان خون همراه با انسداد عروق که در مطالعهٔ پترسون و فرگوسن[1] (۲۰۱۱) مشاهده شده، افزایش پاسخ‌های میوژنیک یا متابولیک عضله یا به‌دلیل افزایش خون شبکهٔ مویرگی عضله عنوان شده است که موجب افزایش خاصیت تبادل خون در بافت‌ها و به‌تبع آن افزایش سطح منطقهٔ انتشار مواد و متابولیت‌ها می‌شود (۲۹). کاوادا[2] (۲۰۰۴) بیان می‌کند که طی تمرین مقاومتی با محدودیت جریان خون محیط‌های هایپوکسی تولید عوامل القایی هایپوکسی $HIF-1\alpha$ عوامل رشد اندوتلیال را تحرک می‌کنند که به موجب آن تشکیل عروق جدید را در داخل عضلهٔ اسکلتی موجب می‌شود (۳۰). بنابراین احتمالاً بخشی از افزایش سطح مقطع عضله در تمرین با محدودیت جریان خون به علت افزایش حجم عروق باشد. سازوکار احتمالی دیگر ممکن است به پرفشارخونی واکنشی و در نتیجه تجمع متابولیک‌ها مربوط باشد. پرفشار خونی واکنشی به تورم سلول عضلانی در حین تمرین با محدودیت جریان خون منجر می‌شود و این موضوع با فعال شدن مسیرهای سیگنالینگ mTOR و MAPK و مهار مکانیسم‌های کاتابولیک همراه است (۳۱). این موضوع تعادل پروتئین را در جهت آنابولیسم تغییر می‌دهد که به هایپرتروفی در تمرینات مقاومتی با محدودیت جریان خون می‌انجامد (۳۲).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که استقامت عضلانی بین گروه‌های مختلف تفاوت معناداری ندارد، با این حال در گروه زمان‌بندی خطی، موجی و غیرزمان‌بندی به‌ترتیب ۲۱/۴، ۲۳/۲ و ۲۱/۷ درصد افزایش داشت. در تحقیقی کوک[3] و همکاران (۲۰۱۰) سازگاری‌های عضلهٔ اسکلتی را به‌دنبال محدودیت جریان خون در طی ۳۰ روز بی‌حرکت نگه‌داشتن اندام پایین‌تنه در ۱۶ زن و مرد (۱۸ تا ۵۰ ساله) بررسی کردند. آزمودنی‌ها به دو گروه تمرین با انسداد با شدت ۲۰ درصد یک تکرار بیشینه و گروه کنترل بدون محدودیت جریان خون و تمرین تقسیم شدند. در هر دو گروه اندام پایین‌تنه به‌صورت یکطرفه طی ۳۰

1. Patterson and Fergosen
2. Kavada
3 . Cook

روز بدون حرکت نگه‌داشته شد، به‌جز مواقعی که گروه تمرین فعالیت تعیین‌شده را انجام می‌داد. پس از ۳۰ روز بی‌حرکتی اندام، استقامت عضلانی در گروه تمرین ۳۱ درصد افزایش درحالی‌که در گروه کنترل ۲۴ درصد کاهش را نشان داد (۳۳). افزایش مشاهده‌شده در این تحقیق مشابه تحقیق ما در اکستنسورهای زانو بود و علت آن تا حدودی به تعداد جلسات یکسان در هفته و شدت تمرین مشابه و تکرارهای انجام‌گرفته تا حد خستگی در گروه تمرین مربوط است که با تحقیق ما همسوست. در تحقیقی که پترسون و فرگوسن (۲۰۱۱) مقدار خون در عضلات را قبل و بعد از انجام تمرینات مقاومتی با و بدون محدودیت جریان خون بعد از چهار هفته (هر هفته ۳ جلسه تمرین) اندازه‌گیری کردند، نتایج حاکی از افزایش مقدار جریان خون در عضلات بود. افزایش پاسخ‌های میوژنیک یا متابولیک عضله یا افزایش مویرگ‌زایی در عضلات از دلایل افزایش جریان خون بعد از محدود کردن جریان خون بیان شده است. افزایش در مویرگ‌زایی موجب افزایش تبادل خون در بافت‌ها می‌شود، آنچنان‌که افزایش این شبکهٔ مویرگی ممکن است به افزایش سطح منطقهٔ انتشار مواد و متابولیت‌ها منجر شود که موجب افزایش زمان تبادل انتشار بین خون و بافت می‌شود. این افزایش در تبادل خون – بافت ممکن است کارهای عملکردی را که به فعالیت استقامتی نیاز دارند، بهبود دهد. در هر حال بهبودی استقامت در یک عضلهٔ تمرین‌کرده همراه با محدودیت جریان خون می‌تواند با افزایش ذخیرهٔ خون موجب رهایی اکسیژن بیشتری در عضلات شود (۲۹).

عدم تفاوت معنادار بین زمان‌بندی‌های مختلف تمرین مقاومتی ممکن است به‌دلیل یکسان بودن بار حجمی (شدت×ست×تعداد) تمرین در هر سه مدل زمان‌بندی تمرین مقاومتی باشد. در تحقیق حاضر بار حجمی هفتگی تمام گروه‌ها یکسان (برابر با ۲۲۵۰) بود که این موضوع موجب شد تقریباً فشار تمرینی یکسانی در طول برنامهٔ تمرینی به تمام گروه‌ها وارد شود. با توجه به مطالعات انجام‌گرفته در زمینهٔ تأثیر زمان‌بندی خطی و موجی تمرینات قدرتی در افراد تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده، به‌نظر می‌رسد ورزشکاران نخبه و بیشتر تمرین‌کرده نسبت به افراد مبتدی پاسخ بهتری به زمان‌بندی تمرین می‌دهند. همچنین، هفته‌های اول تمرین قدرتی (تقریباً تا ۸ هفته) نوع زمان‌بندی تمرین قدرتی (زمان‌بندی خطی، موجی و حتی بدون زمان‌بندی) ممکن است عامل مهمی در کسب قدرت افراد مختلف (برای مثال مبتدی و نیمه‌تمرین‌کرده) نباشد (۳۴).

به‌طور کلی، نتایج این مطالعه سودمندی ترکیب تمرینات قدرتی با محدودیت جریان خون و قدرتی سنتی را به شکل هر دو نوع زمان‌بندی خطی و موجی بر سطح مقطع عضلانی و عملکردهای مهم عضله

مثل قدرت، استقامت و توان انفجاری در دختران فعال نشان داد. مشاهده شد که این دو نوع تمرین به‌مراتب اثری مشابه و گاه بهتری نسبت به تمرینات قدرتی سنتی بر فاکتورهای مرتبط قدرت و استقامت عضلانی دارد. بنابراین کسانی که گاهی از تمرینات قدرتی شدید خسته می‌شوند، می‌توانند در بعضی جلسات از تمرین با محدودیت جریان خون که با شدت کمتر انجام می‌گیرد، استفاده کنند.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد ساری است. از تمامی آزمودنی‌هایی که در این مطالعه شرکت کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع و مآخذ

1. Ratamess N, Alvar B, Evetoch T, Housh T, Kibler W, Kraemer W. Progression models in resistance training for healthy adults [ACSM position stand]. Med Sci Sports Exerc. 2009;41(3):687-708.
2. Morton RW, McGlory C, Phillips SM. Nutritional interventions to augment resistance training-induced skeletal muscle hypertrophy. Frontiers in physiology. 2015;6:245.
3. Wall BT, Dirks ML, Snijders T, Senden JM, Dolmans J, Van Loon LJ. Substantial skeletal muscle loss occurs during only 5 days of disuse. Acta physiologica. 2014;210(3):600-11.
4. Sato Y. The history and future of KAATSU training. International Journal of KAATSU Training Research. 2005;1(1):1-5.
5. Patterson SD, Ferguson RA. Increase in calf post-occlusive blood flow and strength following short-term resistance exercise training with blood flow restriction in young women. European journal of applied physiology. 2010;108(5):1025-33.
6. Wernbom M, Augustsson J, Raastad T. Ischemic strength training: a low- load alternative to heavy resistance exercise? Scandinavian journal of medicine & science in sports. 2008;18(4):401-16.
7. Gamble P. Strength and conditioning for team sports: sport-specific physical preparation for high performance: Routledge; 2013.
8. Bartolomei S, Stout JR, Fukuda DH, Hoffman JR, Merni F. Block vs. weekly undulating periodized resistance training programs in women. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2015;29(10):2679-87.
9. Lowery RP, Joy JM, Loenneke JP, de Souza EO, Machado M, Dudeck JE, et al. Practical blood flow restriction training increases muscle hypertrophy during a periodized resistance training programme. Clinical physiology and functional imaging. 2014;34(4):317-21.

10. Ismail D. The effects of traditional strength and blood flow restriction training versus a combination of both on measures of strength, hypertrophy and power in elite athletes: Cardiff Metropolitan University; 2014.
11. Y H, G N, B M. The effects of one period strength training with two loading patterns (double-pyramid & flat pyramid) on muscle strength, endurance, hypertrophy and anaerobic power in judo young athletes. Sport Physiology. 2014;22:29-42.
12. Brown L, Weir J, ASEP PRI. Accurate assessment of muscular strength and power. Journal of Exercise Physiology. 2001;4(3):1-21.
13. Hosseini Khakhk SA, Sharifi A, R HNM. A comparison of the effect of traditional resistance training with resistance training with vascular occlusion on muscular function and cardiovascular endurance in young females. Sport Bioscience 2011;3:95-114.
14. Hartmann H, Bob A, Wirth K, Schmidtbleicher D. Effects of different periodization models on rate of force development and power ability of the upper extremity. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2009;23(7):1921-32.
15. Spineti J, Figueiredo T, Salles BFd, Assis M, Fernandes L, Novaes J, et al. Comparison between different periodization models on muscular strength and thickness in a muscle group increasing sequence. Revista Brasileira de Medicina do Esporte. 2013;19(4):280-6.
16. Scott BR, Loenneke JP,,Slattery KM, Dascombe BJ. Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. Sports medicine. 2015;45(3):313-25.
17. Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Laurentino G, Libardi CA, Aihara AY, Cardoso FN, et al. Effects of exercise intensity and occlusion pressure after 12 weeks of resistance training with blood-flow restriction. European Journal of Applied Physiology. 2015;115:2471-80.
18. Harman EA, Rosenstein MT, Frykman PN, Rosenstein RM, Kraemer WJ. Estimation of human power output from vertical jump. The Journal of Strength & Conditioning Research. 1991;5(3):116-20.
19. Simão R, Spineti J, de Salles BF, Matta T, Fernandes L, Fleck SJ, et al. Comparison between nonlinear and linear periodized resistance training: hypertrophic and strength effects. The Journal of strength & conditioning research. 2012;26(5):1389-95.
20. Rhea MR, Ball SD, Phillips WT, Burkett LN. A comparison of linear and daily undulating periodized programs with equated volume and intensity for strength. The Journal of strength &&onditioning research. 2002;16(2):250-5.
21. Kok L-Y, Hamer PW, Bishop DJ. Enhancing muscular qualities in untrained women: linear versus undulating periodization. Medicine and science in sports and exercise. 2009;41(9):1797-807.
22. Hoffman JR, Ratamess NA, Klatt M, Faigenbaum AD, Ross RE, Tranchina NM, et al. Comparison between different off-season resistance training programs in Division III American college football players. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2009;23(1):11-9.

23. Takarada Y, Sato Y, Ishii N. Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. European journal of applied physiology. 2002;86(4):308-14.
24. 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. European journal of applied physiology. 2010;108(1):147.
25. Sundberg CJ. Exercise and training during graded leg ischaemia in healthy man with special reference to effects on skeletal muscle. Acta physiologica Scandinavica Supplementum. 1994;615:1-50.
26. Goto K, Ishii N, Kizuka T, Takamatsu K. The impact of metabolic stress on hormonal responses and muscular adaptations. Medicine and science in sports and exercise. 2005;37(6).۳۳-۵۵۵:
27. Takarada Y, Tsuruta T, Ishii N. Cooperative effects of exercise and occlusive stimuli on muscular function in low-intensity resistance exercise with moderate vascular occlusion. The Japanese journal of physiology. 2004;54(6):585-92.
28. Abe T,,Yasuda T, Midorikawa T, Sato Y, Inoue K, Koizumi K, et al. Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily "KAATSU" resistance training. International Journal of KAATSU Training Research. 2005;1(1):6-12.
29. Patterson SD, Ferguson RA. Enhancing strength and postocclusive calf blood flow in older people with training with blood-flow restriction. Journal of aging and physical activity. 2011;19(3):201-13.
30. Kawada S. What phenomena do occur in blood flow-restricted muscle? International Journal of KAATSU Training Research. 2005;1(2):37-44.
31. Thiebaud RS, Loenneke JP, Abe T. COPD and muscle loss: is blood flow restriction a potential treatment? Journal of Trainology. 2014;3(1):1-5.
32. Loenneke J, Fahs C, Rossow L,,Abe T, Bemben M. The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling. Medical hypotheses. 2012;78(1):151-4.
33. Cook SB, Brown KA, DeRuisseau K, Kanaley JA, Ploutz-Snyder LL. Skeletal muscle adaptations following blood flow-restricted training during 30 days of muscular unloading. Journal of Applied Physiology. 2010;109(2):341-9.
34. Apel JM, Lacey RM, Kell RT. A comparison of traditional and weekly undulating periodized strength training programs with total volume and intensity equated. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2011;25(3):694-703.