The effect of strength training with vascular occlusion and traditional with linear and undulating periodization on hypertrophic hormones and indices in judoka girls

Amin Farzaneh Hesari *[1] , Mojtaba Farzaneh Sahebi[2] ,Yosef Goliyan [3]

1. Associate Professor, Department of Exercise Physiology, Sar.C., Islamic Azad University, Sari, Iran.
2. Ph.D. Student, Department of Exercise Physiology, Sar.C., Islamic Azad University, Sari, Iran.
3. M.Sc, Department of Exercise Physiology, Sar.C., Islamic Azad University, Sari, Iran.

Received: 15 June 2024; Accepted: 29 October 2024, Published: 21 December 2025

Abstract:

Introduction and Purpose: the effect of combination of resistance training with and without vascular occlusion based different periodization on muscular factors is not perfectly clear. The purpose of this study was the comparison of combination of resistant training with vascular occlusion and traditional strength training based linear and undulating periodization on GH, IGF-1, hypertrophy and strength in judoka girls.

Material and Methods: 25 judoka girls were selected and randomly divided into three groups: non-periodization, linear periodization and undulating periodization. Training program was conducted for 8 weeks and 3 days per week. Traditional strength training (TST) performed with 75% 1RM and strength training with vascular occlusion (STVO) performed with 30% 1RM. The non-periodization group performed TST with constant intensity during 8 weeks. In linear periodization, subjects performed STVO during the first 4 weeks and TST during the second 4 weeks. In undulating periodization, participants switch from STVO to TST every session. Before and after training program muscular GH, IGF-1, strength and hypertrophy were taken. The outcome data was analyzed using two-way analysis of variance and post hoc Benfroni test.

Results: There was significant increase for GH in undulating periodization than non-periodization group. There was no significant difference between groups for IGF-1, strength and hypertrophy.

Conclusion: Combination of STVO and TST based linear or undulating periodization has similar effect with non-periodization strength training on GH, IGF-1, hypertrophy and strength in judoka girls.

Keywords: strength training periodization, vascular occlusion training, hypertrophy

[1] . **Corresponding author**
Amin Farzaneh Hesari
Address: Department of Exercise Physiology, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran
Tel: 09113707492
Email: af.hessari@gmail.com

اثر تمرین قدرتی با انسداد عروق و سنتی با دوره‌بندی خطی و موجی بر میزان هورمونها و شاخص های هایپرتروفی عضلانی دختران جودوکار

امین فرزانه حصاری*[۱] ، مجتبی فرزانه صاحبی[۲]، یوسف قلیان[۳]

۱. دانشیار، گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران.
۲. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران.
۳. کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزشی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۸ ، تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰

چکیده:

مقدمه و هدف: اعمال دوره های کوتاه انسداد قبل از فعالیت منجر به بهبود عملکرد ورزشی منجر می‌شود، اما اثر مدت زمان بین اعمال انسداد و شروع فعالیت مشخص نیست. اثر ترکیب تمرین مقاومتی با و بدون انسداد عروق در قالب دوره‌بندی های مختلف تمرین بر فاکتورهای عضلانی مشخص نیست. بنابراین، تحقیق حاضر به مقایسه تأثیر تمرین قدرتی با انسداد عروق و قدرتی سنتی با دوره‌بندی خطی و موجی بر میزان GH، IGF-1، سطح مقطع و قدرت عضلانی دختران جودوکار پرداخت.

روش شناسی: ۲۵ دختر جودوکار به‌صورت تصادفی در سه گروه تمرین مقاومتی بدون دوره‌بندی، دوره‌بندی خطی و دوره‌بندی موجی قرار گرفتند. برنامه تمرینی به مدت ۸ هفته و ۳ جلسه در هفته انجام شد و شدت تمرین قدرتی سنتی ۷۵٪ و شدت تمرین قدرتی با انسداد عروق ۳۰٪ یک تکرار بیشینه بود. در گروه دوره بندی خطی، ۴ هفته اول تمرین قدرتی با انسداد عروق و ۴ هفته دوم تمرین قدرتی سنتی و در گروه دوره‌بندی موجی، یک روز تمرین با انسداد عروق و روز دیگر تمرین قدرتی سنتی و در گروه بدون دوره‌بندی، تمرین قدرتی سنتی با شدت ثابت در طول ۸ هفته انجام شد. قبل و بعد از برنامه تمرینی GH، IGF-1، سطح مقطع و قدرت عضلات چهارسران ارزیابی شد. از آزمون آماری تحلیل واریانس دوطرفه و آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که افزایش معنی‌داری برای GH در گروه دوره‌بندی موجی نسبت به گروه بدون دوره‌بندی وجود داشت. تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها برای IGF-1، سطح مقطع و قدرت عضلانی وجود نداشت.

نتیجه‌گیری: ترکیب تمرین قدرتی سنتی و تمرین با انسداد عروق به هر دو شکل دوره‌بندی خطی و موجی اثرات مشابهی با تمرین قدرتی بدون دوره‌بندی بر GH، IGF-1، سطح مقطع و قدرت چهارسر ران دختران جودوکار دارد.

واژه‌های کلیدی: دوره‌بندی تمرین قدرتی، تمرین با انسداد عروق، هایپرتروفی عضلانی

[۱] . **نویسنده مسوول**

امین فرزانه حصاری

نشانی: گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

تلفن: ۰۹۱۱۳۷۰۷۴۹۲

ایمیل: af.hessari@gmail.com

مقدمه

فعالیت ورزشی مقاومتی سنگین اثرات مثبتی برافزایش قدرت و هایپرتروفی عضلانی دارد. این افزایش حجم و قدرت در اثر افزایش ترشح هورمونهای آنابولیک مختلف ازجمله هورمون های رشد و تستوسترون حاصل می‌شود (۱). کالج آمریکایی طب ورزشی (ACSM) انجام تمرینات مقاومتی با بارکار بیشتر ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه (1RM) را برای افزایش حجم و قدرت عضلانی ضروری می‌داند. اگرچه استفاده از وزنه‌های سنگین اثرات مثبت بسیاری دارد؛ یکی از مهمترین فاکتور برای هایپرتروفی عضلانی حجم تمرین و تواتر تمرین می‌باشد (۲). برای افزایش بیشتر در رشد عضله، تمرینات مقاومتی سنگین که منجر به فراخوانی بیشتر تارهای نوع دو می‌شود ضروری است و بنابراین تمرین با شدت پایین ممکن است تنش کافی به منظور افزایش قدرت و حجم عضلانی را ایجاد نکند (۳). اما استفاده از شدت بالای تمرین برای برخی از افراد مقدور نمی‌باشد؛ به عنوان مثال، افراد پیر یا ورزشکاران در حال بازتوانی به دلیل فشاری که از این وزنه‌ها بر مفاصل آنها وارد می‌شود و یا افراد دارای مشکلات، بازتوانی قلبی به دلیل فشار بیش ازحد واردشده بر قلب آنها قادر به استفاده از وزنه‌های سنگین نبوده و صرفاً به استفاده از وزنه‌های سبک محدود می‌شوند. با وجود اینکه انجام تمرینات سبک برای این افراد بهتر از بی‌تحرک بودن است؛ اما طبق توصیهٔ کالج آمریکایی طب ورزشی، به منظور افزایش حجم و قدرت عضلانی می‌بایست از وزنه‌های سنگین استفاده شود (۲). از این رو ابداع روش‌های ایمن و مؤثر جهت حفظ و توسعه قدرت عضلانی برای دامنه گسترده‌ای از مردم که تحمل شدت‌های بالای تمرینی را ندارند همواره مورد نظر محققان بوده است. بر این اساس، محققان نوعی از تمرینات با عنوان تمرینات مقاومتی همراه با انسداد جریان خون را معرفی کرده‌اند که در آن با بستن قسمت پروگزیمال بازو یا ران حین فعالیت، جریان خون اندام مورد نظر محدود می شود (۴). بسیاری از محققان گزارش کردند که این تمرینات منجر به افزایش حجم و قدرت عضلانی قابل مقایسه با تمرین مقاومتی با شدت بالا مشاهده می‌شود (۵). یکی از مکانیسم‌های اصلی تمرین با انسداد جریان خون، تحریک ترشح هورمون رشد از هیپوفیز توسط افزایش متابولیت‌هایی مانند لاکتات و یون هیدروژن می‌باشد. به دلیل فراخوانی بیشتر تارهای تند انقباض تولید لاکتات و یون هیدروژن افزایش می‌یابد. ازسوی دیگر، استفاده از کاف (شریان‌بند) سبب بستن جریان خروجی خون در عضله می‌شود و این امر منجر به افزایش بیشتر این متابولیت‌ها در عضله می‌گردد .افزایش غلظت متابولیت‌ها (لاکتات و یون هیدروژن) نیز سبب تحریک گیرنده‌های شیمیایی و انتقال پیام به هیپوفیز گشته و هیپوفیز در پاسخ به این آورانها، ترشح هورمون رشد و محرک هورمون تستسترون را افزایش می‌دهد (۶،۷).

مربیان و ورزشکاران با هدف به مطلوب رساندن تمرینات قدرتی از ابزار دوره‌بندی استفاده می‌کنند. دوره‌بندی تمرین عبارتست از دستکاری متغیرهای تمرینی به منظور پیشرفت مناسب آمادگی و اجتناب از فاز عدم سازگاری و و بیش تمرینی ورزشکار است. دوره‌بندی سنتی (خطی) و دوره بندی موجی (غیرخطی) از مدلهای رایج دوره‌بندی هستند که مدل خطی عمدتا برای ورزش‌هایی که دارای یک یا دو هدف تمرینی هستند مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی دوره‌بندی غیرخطی بیشتر برای ورزش‌های دارای فصل رقابتی طولانی و اهداف تمرینی متفاوت که ورزشکار خود را نزدیک به اوج در همه مسابقات طی دوره‌های بلند حفظ کند مناسب است (۸). بعضی محققان گزارش کردند که دوره‌بندی موجی منجر به افزایش بیشتر در سطح مقطع عضلانی نسبت به دوره‌بندی خطی بعد از ۱۰ هفته تمرین قدرتی شد (۹).

بررسی پیشینه مطالعات نشان می دهد که تمرینات قدرتی سنتی (شدت ٪۸۰-۷۰ یک تکرار بیشینه و ۱۲-۸ تکرار)، تمرینات قدرتی سنگین (شدت ٪۸۰-۹۰ یک تکرار بیشینه و ۷-۵ تکرار) و تمرین با انسداد عروق (شدت ٪۲۰-۳۰ یک تکرار بیشینه و ۲۰-۳۰ تکرار) از جمله استراتژی‌های تمرینی موثر برای بهبود سازگاری هورمونی، هایپرتروفی و قدرت عضلانی هستند. با وجود پروتکل‌های تمرینی مختلف، بعضی مطالعات با هدف افزایش اثربخشی تمرین، استراتژی‌های مذکور را در قالب دوره بندی‌های مختلف ترکیب کرده‌اند. در این رابطه، قرداشخانی و همکاران (۲۰۱۹) اثر ترکیب تمرین قدرتی با انسداد عروق و سنتی در یک

دوره‌بندی خطی و موجی بر قدرت، استقامتی و توان عضلانی را بررسی کردند و تفاوت معناداری بین دو گروه در این شاخصها مشاهده نکردند(۱۰). ایسمایل و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که ترکیب تمرین قدرتی سنتی و با انسداد عروق نسبت به هر یک از دو تمرین به تنهایی اثر بیشتری بر قدرت و هایپرتروفی دارد (۱۱). در این مطالعات ترکیب تمرین قدرتی سنتی و با انسداد عروق بدون دوره‌بندی صورت گرفته است.

لذا، با توجه به متفاوت بودن متغیر شدت در تمرین قدرتی با انسداد عروق و سنتی و با در نظر گرفتن دستکاری شدت تمرین در فازهای مختلف دوره‌بندی، پژوهشگران در تحقیق حاضر به دنبال بررسی این موضوع هستند که آیا ترکیب تمرینات مذکور در قالب دوره‌بندی‌های مختلف می‌تواند اثرات متفاوت بر شاخص های هایپرتروفی داشته باشد؟ بنابراین، هدف از مطالعه حاضر، مقایسه اثر تمرین قدرتی با انسداد عروق و سنتی بصورت دوره‌بندی موجی و خطی بر غلظت برخی هورمون‌های آنابولیک و حجم و قدرت عضلانی جودوکاران زن می‌باشد.

روش‌شناسی

۲۵ دختر جودوکار (میانگین سن: ۴/۳۳ ± ۲۰/۲۶ سال، وزن: ۵/۱۷ ± ۵۸/۲۴ کیلوگرم، قد: ۴/۳۸ ± ۱۶۴/۷۴ سانتی متر) در رده سنی جوانان و بزرگسالان که حداقل ۳ سال سابقه تمرین منظم جودو داشتند به صورت داوطلبانه در این پژوهش شرکت نمودند و بصورت تصادفی در سه گروه: تمرین مقاومتی بدون دوره‌بندی (۸ نفر)، دوره‌بندی خطی (۸ نفر) و دوره‌بندی موجی (۹ نفر) قرار گرفتند. براساس سابقهٔ پزشکی، آزمودنی‌ها بیماری و مشکل پزشکی نداشتند و هیچ دارو یا مکملی استفاده نمی‌کردند. آزمودنی ها همگی در دوره آماده‌سازی عمومی بودند و یک برنامه تمرین جودو یکسان با حجم سه روز در هفته انجام می‌دادند. تغذیه آزمودنی ها در سه روز متوالی بررسی شد و با استفاده از نرم‌افزار مقدار درشت مغذی ها (با نسبت ۶۰ درصد کربوهیدرات، ۲۵ درصد چربی و ۱۵ درصد پروتئین) در طول دوره تحقیق برای تمام آزمودنی ها یکسان شد. یک هفته قبل از شروع برنامه 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 چهار سر ران (با استفاده از فرمول هووش)، قدرت (با استفاده از فرمول برزیسکی) و برای تعیین سطح سرمی هورمون رشد (GH) و IGF-1 نمونه گیری خون به عمل آمد.

پس از انجام آزمون‌های اولیه، آزمودنی‌ها به مدت دو هفته و ۲ جلسه در هفته جهت آشنایی با تمرین و بعد از آن در برنامه تمرینی اصلی شرکت کردند. برنامه تمرین به مدت ۸ هفته و هفته‌ای ۳ جلسه و هر جلسه شامل ۱۰ دقیقه گرم کردن عمومی، برنامه تمرین اصلی و ۱۰ دقیقه سرد کردن بود. برنامه تمرین اصلی برای تمام گروه‌ها شامل سه حرکت باز شدن زانو، پرس پا و پشت پا بود. در گروه بدون دوره‌بندی حرکات با شدت ۷۵ درصد یک تکرار بیشینه و در سه ست ۱۰ تکراری در کل مدت تمرین انجام شد. در گروه دوره‌بندی خطی، ۴ هفته اول تمرین قدرتی با انسداد عروق و در ۴ هفته دوم تمرین قدرتی سنتی انجام شد. در گروه دوره بندی موجی؛ یک روز تمرین با انسداد عروق و روز دیگر تمرین قدرتی سنتی انجام شد. تمرین قدرتی سنتی برای گروه‌های دوره بندی خطی و موجی مشابه گروه بدون دوره بندی بود. برای محدود کردن جریان خون، قبل از شروع تمرین اصلی قسمت پروگزیمال هر دو ران با کاف فشار بسته شد و تمرین با شدت ۳۰ درصد یک تکرار بیشینه و در چهار ست: ست اول ۳۰ تکرار و ست دوم تا چهارم ۱۵ تکرار انجام شد (۱۲). در هر دو گروه شدت تمرین با انسداد عروق مشابه بود. در تمرین قدرتی سنتی استراحت بین ست‌ها ۲ دقیقه و بین ایستگاه‌ها سه تا چهار دقیقه و در تمرین با انسداد عروق استراحت بین ست‌ها یک دقیقه و بین استگاه‌ها سه دقیقه بود. شایان ذکر است که هر دو هفته آزمون یک تکرار بیشینه انجام و شدت تمرین بر اساس رکورد جدید تنظیم می‌شد. پس از اتمام برنامه تمرینی، از تمام آزمودنی‌ها مجدداً پس‌آزمون شامل تمام آزمون‌های پیش‌آزمون در شرایط مشابه به عمل آمد (۱۲).

به منظور تعیین فشار مناسب کاف جهت محدود کردن جریان خون برای هر آزمودنی، حداکثر فشار انسداد برای چند آزمودنی با حجم ران متفاوت محاسبه گردید. برای این منظور، از آزمودنی خواسته شد تا بصورت طاق باز خوابیده و کاف فشار دور قسمت پروگزیمال پا بسته شد. کاف به اندازه ۵۰ میلیمتر جیوه برای ۳۰ ثانیه باد شد و سپس میزان باد بصورت متناوب ۴۰ میلیمتر جیوه اضافه شد تا زمانی که نبض شریانی در قسمت قوزک داخلی پا مشهود نباشد. مجدداً فشار کاف بصورت متناوب به اندازه ۱۰ میلیمتر جیوه کم شد تا نبض دوباره برقرار شود. بالاترین فشاری که در آن نبض شریانی مشخص نبود به عنوان حداکثر فشار انسداد تعیین شد (۱۳). پروتکل تمرینی با انسداد عروق با فشار ۷۰٪ حداکثر فشار انسداد انجام شد (۱۳،۱۴).

حجم عضلانی با استفاده از روش آنتروپومتری برای عضلات مجموعه ران (چهارسررانی و همستریگ) طبق روش هووش محاسبه شد. برای این منظور بطن ران با متر نواری و چین پوستی جلوی ران با استفاده از کالیپر اندازه گیری شد و در فرمول زیر قرار گرفت (۱۵).

(ضخامت چین پوستی در ناحیه قدامی ران(mm)× ۱/۲۵) – (نصف محیط ران (mm)×۲/۵۲): سطح مقطع عرضی چهارسر ران

حداکثر قدرت عضلانی، با قرار دادن مقدار وزنه جابه‌جا شده و تعداد تکرار آن (وزنه برآوردشده توسط خودآزمودنی و اجرای حرکت جلو پا تا حد خستگی) در فرمول برزیسکی به دست آمد (۱۶).

[۱/۰۲۷۸ – تعداد تکرار) ۰/۰۲۷۸ / وزنه جابجا شده (کیلوگرم) = یک تکرار بیشینه

نمونه‌های خونی قبل و بعد از ۸ هفته تمرین، ساعت ۸ صبح و بعد از ۱۲ ساعت ناشتایی گرفته شد. در خونگیری اول از آزمودنیها خواسته شد ۲۴ ساعت قبل از آزمایش خون از انجام هرگونه فعالیت ورزشی خودداری کنند. خونگیری در مرحله پس آزمون ۲۴ ساعت بعد از آخرین جلسه تمرین انجام گرفت. سطح سرمی GH توسط کیت هورمونی مخصوص انسان، ساخت شرکت monobind کشور آمریکا و سطح سرمی IGF-1 توسط کیت هورمونی مخصوص انسان، شرکت immunodiagnostic system ساخت کشور انگلستان به روش الایزا اندازه گیری شد. برای مقایسهٔ تغییرات فیزیولوژیکی ایجاد شده بعد از ۸ هفته تمرین قدرتی، آزمون تحلیل واریانس یک طرفه و آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. کلیهٔ عملیات و تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SPSS 16 انجام شد. سطح معنی‌داری در این پژوهش ($P<0.05$) در نظر گرفته شد.

نتایج

در جدول ۱، تغییرات هورمون رشد، IGF-1، سطح مقطع و قدرت عضلانی پاها در پیش و بعد از آزمون ارائه شده است. نتایج آزمون تحلیل واریانس نشان داد که تفاوت معنی‌داری در سطوح IGF-1 ($F=۰/۵۱۶، p=۰/۶۸۳$)، قدرت عضلات بازکننده زانو ($F=۰/۷۷۲، p=۰/۲۷۲$) و سطح مقطع عضلات چهارسررانی ($F=۰/۵۳۹، p=۰/۶۳۶$) بین گروه‌ها وجود ندارد در حالیکه بررسی درون گروهی نشان داد که قدرت عضلانی در تمام گروه‌ها و سطح مقطع عضلانی فقط در گروه‌های بدون دوره‌بندی و دوره‌بندی خطی افزایش معنی‌داری از پیش‌آزمون به پس‌آزمون داشت ($p\leq ۰/۰۵$) . برای سطح GH تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده شد ($F=۳/۵۱۲، p=۰/۰۲۲$). نتایج آزمون تعقیبی نشان داد که گروه دوره‌بندی موجی نسبت به گروه بدون دوره‌بندی افزایش معنی‌داری داشت ($p=۰/۰۲۱$) ولی بین گروه دوره‌بندی خطی و دوره‌بندی موجی ($p=۰/۲۱۴$) و همچنین دوره‌بندی خطی و بدون دوره‌بندی ($p=۰/۱۵۸$) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

جدول ۱. مقایسه هورمون رشد، IGF-1، قدرت و سطح مقطع عضلانی در گروه‌های تحقیق

متغیر	گروه ها	قبل	بعد	P درون گروهی	F بین گروهی	P بین گروهی
سطح مقطع چهارسر ران (mm^2)	بدون زمانبندی	۵۶/۵ ±۸/۲	۵۸/۲ ± ۱۰/۴	۰/۰۰۷	۰/۵۳۹	۰/۶۳۶
	زمانبندی خطی	۴۹/۲۴± ۱۳/۱	۵۱/۵ ± ۱۲/۵	۰/۰۰۲		
	زمانبندی موجی	۵۴/۹ ± ۱۱/۲	۵۵/۸ ± ۱۲/۴	۰/۲۲۴		
قدرت باز کردن زانو (کیلوگرم)	بدون زمانبندی	۲۵/۷۵ ±۵/۱	۳۱/۱ ± ۶/۱	۰/۰۰۱	۰/۷۷۲	۰/۲۷۲
	زمانبندی خطی	۲۴/۳۷ ±۳/۱	۳۰/۱۸ ± ۳/۷	۰/۰۰۲		
	زمانبندی موجی	۲۶/۳۳ ± ۳/۳	۳۲/۴۴ ± ۸/۱	۰/۰۰۱		
IGF-1 (ng/ml)	بدون زمانبندی	۳۶۲/۷ ± ۱۳۰/۶	۳۸۶/۶ ± ۱۲۶/۱	۰/۴۲۷	۰/۵۱۶	۰/۶۸۳
	زمانبندی خطی	۳۱۵/۶ ± ۱۱۰/۵	۳۴۰/۲۵ ± ۹۶/۸	۰/۳۸		
	زمانبندی موجی	۲۹۸/۲ ± ۱۱۱/۷	۳۱۸/۷ ± ۱۱۶/۵	۰/۳۹۷		
هورمون رشد (ng/ml)	بدون زمانبندی	۶/۲ ± ۱/۳	۷/۴ ± ۱/۶	۰/۱۰۳	۳/۵۲۲	۰/۰۲۲
	زمانبندی خطی	۷/۹ ± ۱/۱	۱۰ ± ۱/۴	۰/۰۰۲		
	زمانبندی موجی	۸/۴ ± ۱/۹	۱۲/۵ ± ۱/۸	۰/۰۰۱		

سطح معنی داری $p\leq$۰/۰۵ است

بحث و نتیجه‌گیری

هدف عمده در این مطالعه بررسی اثر تمرین قدرتی سنتی و تمرین با انسداد عروق بر اساس دوره‌بندی موجی و خطی بر هایپرتروفی، قدرت، استقامت عضلانی و توان انفجاری اندام تحتانی در دختران جودوکار بود. بعد از هشت هفته برای IGF-1، قدرت و سطح مقطع عضلانی تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده نشد. سطوح هورمون رشد در گروه دوره‌بندی موجی نسبت به گروه بدون دوره‌بندی افزایش معنی‌داری داشت.

پاسخ GH به تمرینات قدرتی بسیار متفاوت است. نتایج تحقیق نشان داد که GH در گروه بدون دوره‌بندی، دوره‌بندی موجی و دوره‌بندی خطی به ترتیب ۱۹/۲، ۴۸ و ۲۵ درصد افزایش داشت. در رابطه با اثر تمرین با انسداد عروق بر GH باید اظهار داشت که کاهش اکسیژن رسانی (سرکوب متابولیسم هوازی) موجب تجمع لاکتات در محل عضله مورد نظر شده و به افزایش ترشح GH از هیپوفیز قدامی منجر می‌گردد (۱۷). افزایش GH در گروه بدون انسداد به عوامل متعددی بستگی دارد. مطالعات نشان دادند که تمرینات قدرتی با شدت متوسط و تکرار زیاد منجر به افزایش هورمون رشد می شود که دلیل احتمالی این امر افزایش نیتریک اکساید (NO) و لاکتات است. نیتریک اکسید یکی از مهم‌ترین انتقال دهنده‌های درون‌سلولی و بین سلولی است که نقش مهمی در کنترل رهاسازی هورمون از محور هیپوتالاموس - هیپوفیز دارد. بنابراین، به نظر می‌رسد نیتریک اکسید می‌تواند سبب تسهیل رهاسازی هورمون رشد از هیپوفیز به گردش خون عمومی می‌شود (۱۸). علاوه براین، افزایش فعالیت سیستم عصبی سمپاتیک سبب ترشح اپی نفرین، نوراپی نفرین و تحریک فعالیت نورون‌های مرکزی آدرنرژیک شده که درپی آن میزان ترشح هورمون رشد نیز افزایش می‌یابد (۱۹).

یافته‌های پژوهش حاضر با وکیلی و همکاران (۲۰۲۱) و کیم و همکاران (۲۰۱۴) همخوانی نداشت (۲۰،۲۱). بنابر بسیاری از تحقیقات، دلایل این تفاوت به عوامل متعددی ازجمله سطح تمرین، ترکیب بدنی، جنسیت و سن آزمودنی‌ها برمی‌گردد که بر میزان ترشح هورمون رشد تأثیر می‌گذارند (۲۲). در مطالعه‌ای دیگر، هورمون رشد فقط در گروه انسداد عروق افزایش معنی‌داری

داشت و در گروه بدون انسداد؛ حتی کاهش هورمون رشد نیز دیده شد. از جمله دلایل ناهمخوانی این نتایج را می‌توان به نوع پروتکل و زمان خون‌گیری آنها نسبت داد (۲۳). علاوه براین، از آنجایی که شدت تمرین و پروتکل طراحی شده در بعضی تحقیقاتی که نتایج متفاوتی در میزان افزایش GH گزارش کردند، تقریباً مشابه بود، لذا احتمالاً میزان فشار شریان‌بند، دلیل اصلی تفاوت بین مطالعات مختلف است.

با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر، به نظر می‌رسد که تمرین با انسداد عروق منجر به افزایش بیشتری در GH نسبت به تمرین مقاومتی سنتی شده است. در تأیید این موضوع، توجه به پروتکل‌های تمرینی طراحی شده می‌تواند کمک‌کننده باشد: در دوره‌بندی موجی از تمرین قدرتی با انسداد در طول ۸ هفته تمرین به صورت منظم و متناوب اجرا شده ولی در دوره‌بندی خطی در ۴ هفته اول، تمرین با انسداد و در ۴ هفته دوم، تمرین قدرتی سنتی استفاده شده است. علاوه‌براین، گروه بدون دوره‌بندی فقط از تمرین قدرتی سنتی اجرا کرد. بنابراین، شاید اگر تمرین مقاومتی سنتی با شدت بیشتری انجام می‌گرفت، این تفاوت به معنی‌داری نزدیکتر بود؛ چراکه تحقیقات نشان می‌دهند به منظور اثرگذاری تمرین بر GH به شدت‌های بالای تمرین نیاز است. فاکتورهای تنظیمی میوژنیک و مسیر GH- IGF-1 نقش مهمی در هایپرتروفی عضله اسکلتی ناشی از تمرین مقاومتی بازی می کنند. در این راستا، ۸ هفته ترکیب تمرین مقاومتی بصورت دوره‌بندی خطی و موجی و بدون دوره‌بندی به ترتیب منجر به افزایش IGF-1 به اندازه ۷/۹، ۶/۷ و ۷/۲ درصد شد. مکانیسم پاسخ IGF-1 در گردش به تمرین مقاومتی کم شدت با انسداد عروق در مطالعات مختلف متفاوت است. افزایش استرس‌متابولیک و فراخوانی تارهای‌عضلانی تند انقباض با تمرین با محدودیت جریان خون افاق می افتد. ازسوی دیگر گزارش شده است که تمرین همراه بامحدودیت‌جریان خون، با افزایش هیپوکسی و لاکتات‌همراه است. تغییرات ایجاد شده در میزان این متابولیت‌ها، با تأثیر برهورمون رشد به رهایش IGF-1 منجر می‌شود (۲۴). با توجه نتایج تحقیق حاضر، عدم افزایش IGF-1 احتمالاً به دلیل افزایش نه چندان زیاد GH در گروه‌های تمرینی باشد.

در رابطه با اثر ترکیب تمرینات قدرتی سنتی با شدت بالا و تمرین با انسداد عروق مطالعات اندکی صورت گرفته است. در این راستا، مطالعات قرداشخانی و همکاران (۲۰۱۹) 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 انسداد عروق و ترکیبی قرار گرفتند. مدت تمرینات ۷ هفته بود که گروه تمرین با انسداد عروق با شدت ۳۰٪ یک تکرار بیشینه و ۲ روز در هفته، گروه قدرتی سنتی ۴ روز در هفته با شدت ۸۰٪ یک تکرار بیشینه و گروه ترکیبی به مدت ۶ روز بطوریکه ۴ روز تمرین قدرتی سنتی و ۲ روز تمرین با انسداد عروق انجام دادند. نتایج نشان داد که قدرت پرس پا در گروه‌های تمرین قدرتی سنتی، تمرین با انسداد عروق و ترکیبی به ترتیب ۶٪، ۶/۶٪ و ۱۱/۷۷٪ افزایش داشت که مشابه تحقیق حاضر بود. در تحقیق قرداشخانی و همکاران زنان فعال شرکت کردند که ۸ هفته تمرین قدرتی ترکیبی را انجام دادند. گروه اول ۴ هفته نخست تمرین با انسداد عروق و ۴ هفته دوم تمرین قدرتی سنتی و گروه دوم یک جلسه در میان تمرین قدرتی سنتی و تمرین با انسداد عروق را انجام دادند. گروه سوم هم ۸ هفته تمرین مقاومتی بدون زمانبندی را انجام دادند. نتایج تحقیق نشان داد که در قدرت و استقامت عضلانی تفاوت معناداری بین سه گروه وجود نداشت.

تحقیقات در زمینه اثر تمرینات قدرتی بر روی تغییرات قدرت در سالیان اخیر نشان داده است که تمرینات دوره بندی شده موجب افزایش قدرت بیشتری نسبت به برنامه‌های بدون دوره بندی می‌شود. همچنین مطالعاتی که به مقایسه دو مدل تمرین با وزنه خطی و غیرخطی بر روی تغییرات قدرت انجام شده نیز نشان داده است که مدل غیرخطی موجب دستاورد قدرت بیشتر در مقایسه با مدل خطی می‌شود. با این حال، یافته‌های پژوهش حاضر با مطالعات سیمائو و همکاران (۲۰۱۲)، رئا و همکاران (۲۰۰۹)، مطالعات کوک و همکاران (۲۰۰۹)، هافمن و همکاران (۲۰۰۹) قابل مقایسه نیست، زیرا در تمام این مطالعات تمرین قدرتی سنتی استفاده شده است. رئا و همکاران (۲۵) در مطالعات خود نشان داده‌اند که مدل غیرخطی موجب افزایش قدرت

بیشتری در پرس سینه و پرس پا در مقایسه با مدل خطی بعد از ۱۲ هفته تمرین شده است (۱۹). سیمائو و همکاران (۲۶) نیز با مقایسه دو مدل برنامه خطی و غیر خطی روزانه افزایش معنی داری را در قدرت پرس سینه، پشت بازو و جلو بازو در مدل غیر خطی نسبت به مدل خطی نشان دادند. در این مطالعه از یک مدل ترکیبی در مدل غیرخطی استفاده کرده بود، به طوریکه گروه غیرخطی ابتدا به مدل ۶ هفته تمرینات خطی و به دنبال آن ۶ هفته تمرینات غیرخطی روزانه را اجرا کردند و با مدل خطی که هر چهار هفته حجم و شدت تغییر پیدا کرده بود، مورد مقایسه قرار دادند. در مطالعه کوک و همکاران (۲۷) با مقایسه دو مدل برنامه با وزنه خطی و غیرخطی بر روی زنان تمرین‌نکرده به مدت ۹ هفته مورد بررسی قرار دادند، افزایش قابل توجهی در قدرت اسکوات و پرس سینه به ترتیب در مدل غیرخطی ۴۱/۲٪ و ۲۸/۳٪ نسبت به مدل خطی ۳۴/۸٪ و ۲۱/۸٪ نشان دادند. اگرچه میزان این تغییرات در مدل غیرخطی بیشتر از مدل خطی بوده است ولی در بین دو گروه معنی دار نبوده است. به نظر می رسد عدم اختلاف معنی دار در بین دو گروه، به دلیل مدت زمان کم پروتکل تمرینی بوده است.

دی سانتوز و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که قدرت ممکن است از طریق مکانیسم‌های مختلفی افزایش پیدا کند که از جمله مهم‌ترین آنها، سازگاری‌های ایجاد شده از طریق سیستم عصبی و عضلانی می‌باشد (۵). گارسیا و همکاران (۲۰۲۳) انجام دادند نشان دادند که فعالیت الکتریکی عضله در فعالیت اسکات با انسداد عروق مشابه با فعالیت اسکات بدون محدودیت خون با شدت بالا بود (۲۹). این موضوع نشان می‌دهد که واحدهای حرکتی که به طور نرمال غیرفعال بودند در طی تمرین با انسداد عروق به کار گرفته شدند. افزایش فعالیت عضله در تمرین با محدودیت خون در سطوح پایین ممکن است به این دلیل باشد که طی آن فیبرهای نوع II گلیکولتیک بیشتری به کار گرفته می‌شوند تا سطح یکسان از تولید نیرو را حفظ کنند (۳۰). آستانه بکارگیری واحدهای حرکتی در طی خستگی ناشی از تمرین با شدت پایین همراه با انسداد کاهش می‌یابد آنچنانکه فیبرهای نوع ۲ به کار گرفته می‌شوند تا با افزایش تولید نیرو، حالت خستگی را کاهش دهند. هم‌چنین فاکتورهای دیگری مانند: تجمع متابولیت‌ها (اسید لاکتیک، ADP و غیره) و ذخیره پایین اکسیژن در عضلات اسکلتی موجب تغییرات میزان آتش بار واحدهای حرکتی می‌شود که منجر به بکارگیری الگوهایی می‌شود که سازگاری‌های عصبی عضلانی و قدرت را افزایش می‌دهد (۳۱).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که برای سطح مقطع عضله چهارسر رانی تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها وجود اشت. نتایج تحقیق ایسمایل و همکاران نشان داد که دور ران در گروه های تمرین قدرتی سنتی، تمرین با انسداد عروق و ترکیبی به ترتیب ۲/۶٪، ۳٪/۷ و ۵/۱٪ 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 بدنبال تمرین مقاومتی و تمرین هوازی با انسداد عروق نیز مشاهده شده است (۲۹). افزایش بکارگیری فیبرهای تند انقباض در طی تمرین با انسداد ممکن است نقش مهمی در افزایش سایز عضله داشته باشد (۵). مطالعات با استفاده از MRI یک افزایش ۸۵٪ در سطح مقطع عضله بدنبال ۲ تا ۳ هفته تمرین با انسداد عروق را نشان دادند (۲۴) که بیان کننده‌ی این است هایپرتروفی به طور معناداری در عرض یک دورهٔ کوتاه، اتفاق افتاده است.

یکی از دلایل افزایش جریان خون همراه با انسداد عروق که در مطالعه پترسون و فرگوسن (۲۰۱۱) مشاهده شده است، افزایش پاسخ‌های میوژنیک یا متابولیک عضله و یا به دلیل افزایش خون شبکه مویرگی عضله عنوان شده است که موجب افزایش خاصیت تبادل خون در بافت‌ها و به تبع آن افزایش سطح منطقه انتشار مواد و متابولیت‌ها می‌گردد (۳۲). کاوادا (۲۰۰۴) پیشنهاد می‌کند که در طی تمرین مقاومتی با انسداد عروق محیط‌های هایپوکسی تولید عوامل القایی هایپوکسی $HIF-1\alpha$ عوامل رشد اندوتلیال را تحرک کرده که به موجب آن تشکیل عروق جدید را در داخل عضلهٔ اسکلتی باعث می‌شود (۳۳). بنابراین احتمالاً بخشی از افزایش سطح مقطع عضله در تمرین با انسداد عروق می‌تواند به علت افزایش حجم عروق باشد.

با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه تأثیر دوره بندی خطی و موجی تمرینات قدرتی در افراد تمرین‌کرده و نکرده، به نظر می‌رسد ورزشکاران نخبه و بیشتر تمرین‌کرده نسبت به افراد مبتدی پاسخ بهتری به دوره بندی تمرین می‌دهند. همچنین،

هفته‌های اول تمرین قدرتی (تقریباً تا ۸ هفته) نوع دوره بندی تمرین قدرتی (دوره بندی خطی، موجی و حتی بدون دوره بندی) ممکن است فاکتور مهمی در کسب قدرت افراد مختلف (برای مثال مبتدی و نیمه تمرین‌کرده) نباشد (۳۴). به نظر می‌رسد دلیل عدم تفاوت معنی‌دار بین دوره بندی‌های موجی و خطی برای IGF-1، قدرت و سطح مقطع عضلانی در مطالعه حاضر کمتر بودن زمان برنامه تمرین و آمادگی آزمودنیها باشد.

بر اساس نتایج تحقیق انجام تمرینات قدرتی با انسداد عروق و قدرتی سنتی به شکل دوره بندی خطی (۴ هفته اول تمرین قدرتی سنتی و ۴ هفته دوم با انسداد عروق) و موجی (یک جلسه در میان) بر سطوح هورمون رشد، IGF-1 و قدرت عضلانی در دختران جودوکار مشابه با تمرین قدرتی سنتی بدون زمانبندی بود. بنابراین، دختران جودوکار در طی آماده سازی خود می‌توانند از این تمرینات بصورت جایگزین بهره ببرند.

تشکر و قدردانی

از تمامی آزمودنی‌هایی که در این مطالعه شرکت کرده‌اند تشکر و قدردانی می‌گردد.

حامی مالی

این مقاله حامی مالی ندارد.

تعارض منافع

در این مقاله، هیچ گونه تعارض منافعی برای نویسندگان وجود ندارد.

منابع

1. Kraemer WJ, Marchitelli L, Gordon SE, Harman E, Dziados JE, Mello R. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. J Appl Physiol 1990; 69(4): 1442-50. DOI: 10.1152/jappl.1990.69.4.1442

2. The American College of Sports Medicine. Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. Medicine and Science in Sports and Exercise. 2009, 41(3): 687-708. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3181915670

3. Morton RW, McGlory C, Phillips SM. Nutritional interventions to augment resistance training-induced skeletal muscle hypertrophy. Frontiers in Physiology 2015, 6: 245-10. doi: 10.3389/fphys.2015.00245.

4. 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 2006; 101(6): 1616-22. doi: 10.1152/japplphysiol.00440.2006.

5. Dos Santos LP, Santo RCDE, Ramis TR, Portes JKS, Chakr RMDS, Xavier RM. The effects of resistance training with blood flow restriction on muscle strength, muscle hypertrophy and functionality in patients with osteoarthritis and rheumatoid arthritis: A systematic review with meta-analysis. PLoS One. 2021,0;16(11):e0259574. doi: 10.1371/journal.pone.0259574

6. 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. doi: 10.1152/japplphysiol.00195.2007.

7. Takano H, Morita T, Iida H, Asada KI, 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. doi: 10.1007/s00421-005-1389-1.
8. Gamble P. Strength and conditioning for team sports: sport-specific physical preparation for high performance: Routledge; 2013. doi: 10.1519/JSC.0000000000000948.
9. Bartolomei S, Stout J R, Fukuda D H, Hoffman J R, Merni F. Block vs. Weekly Undulating Periodized Resistance Training Programs in Women. Journal of Strength and Conditioning Research 2015, 29(10): 2679-2687. doi: 10.1519/JSC.0000000000000948.
10. Gardashkhani, S., Farzaneh, A. The Comparison of Combination of 8 Weeks of Resistance Training with Blood Flow Restriction and Traditional Resistance Training Based on Linear and Undulating Periodization on Hypertrophy, Strength, Muscular Endurance and Explosive Power in Active Girls. *Journal of Sport Biosciences*, 2019; 11(2): 209-224. doi: 10.22059/jsb.2019.257801.1274
11. 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. Bachelor thesis, 2013.
12. Hosseini Khakhk SA, Sharifi A, Hamedi Nia MR. 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 J 2011; 3(10): 95-114. doi: 10.22059/jsb.2012.22000
13. 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: 313-325. doi: 10.1007/s40279-014-0288-1.
14. 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: 2471-2480. doi: 10.1007/s00421-015-3253-2.
15. Housh Dona J, Terry J, Joseph P, Loree L, Glen O. Anthropometric estimation of thigh muscle cross-sectional area. Journal medicine Scinci sport exercise 1995;27(5):784-91. PMID: 7674885.
16. Brzycki M. A Practical Approach to Strength Training. McGraw-Hill; 1998, p. 48-53.
17. Goto K, Ishii N, Takamatsa K. Growth hormone response to training regimen with combined high and low- intensity exercise. Int J Sport Health Sci 2004;2:111-8. doi.org/10.5432/ijshs.2.111
18. Zouhal H, Jayavel A, Parasuraman K, Hayes L, Tourny C, Rhibi F, et al. Efects of exercise training on anabolic and catabolic hormones with advanced age: a systematic review. Sports Med. 2021;52:1353. doi: 10.1007/s40279-021-01612-9.
19. Legerlotz K, Marzilger R, Bohm S, Arampatzis A. Physiological adapta- tions following resistance training in youth athletes—A narrative review. Pediatr Exerc Sci. 2016;28:501–20. doi: 10.1123/pes.2016-0023.
20. Vakili J, Amirsasan R, Sanei P. Effects of 4 weeks Resistance Training with and Without Blood Flow Restriction on GH, IGF-1, NO and Lactate in male Rock Climbers. *Journal of Sport Biosciences*, 2022; 14(1): 33-48. doi: 10.22059/jsb.2021.323313.1468
21. Kim E, Gregg LD, Kim L, Sherk VD, Bemben MG, Bemben DA. Hormone responses to an acute bout of low intensity blood flow restricted resistance exercise in college-aged females. J Sports Sci Med 2014 Jan;13(1):91-6. PMID: 24570611; PMCID: PMC3918573.
22. Kraemer WJ, Sraron RS, Hagerman FC, Hikida RS, Fry AC, Gordon SE, et al. The effects of short-term resistance training on endocrine function in men and women. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1998;78(1):69-76. doi: 10.1007/s004210050389.
23. Leite SN, Reis AC, Colnezi GL, Souza FH, Ferracini HF. Influence of Vascular Occlusion in Concentration of Growth Hormone and Lactate in Athletes during Strengthening Quadriceps Exercise. Occup Med Health Aff 2015;3:195. DOI:10.4172/2329-6879.1000195

24. Abe T, Yasuda T, Midorikawa T, Sato Y, Kearns C, Inoue 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):612. doi.org/10.3806/ijktr.1.6
25. Rhea MR, Simon G. A comparison of linear and daily undulating periodized programs with equated volume and intensity for strength. The Journal of Strength & Conditioning Research 2002, 16(2): 250-255. PMID: 11991778.
26. Simão R, Loenneke JP, Slattery KM. Comparison between nonlinear and linear periodized resistance training: Hypertrophic and strength effects. The Journal of Strength & Conditioning Research 2012, 26(5): 1389-1395. doi: 10.1519/JSC.0b013e318231a659.
27. Kok LY, Hamer A, Bishop DJ. Enhancing muscular qualities in untrained women: linear versus undulating periodization. Medicine and science in sports and exercise 2009, 41(9): 1797-1807. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181a154f3.
28. Hoffman JR, Libardi CA, Kraemer WJ. Comparison between different off-season resistance training programs in Division III American college football players. The Journal of Strength & Conditioning Research 2009, 23(1): 11-19. doi: 10.1519/jsc.0b013e3181876a78.
29. García-Sillero M, Maroto-Izquierdo S, Galván-García M, Benitez-Porres J, Vargas-Molina S, Jurado-Castro JM. Acute Effects of Blood Flow Restriction Training on Movement Velocity and Neuromuscular Signal during the Back Squat Exercise. J Clin Med. 2023,21;12(14):4824. doi: 10.3390/jcm12144824.
30. Miller BC, Tirko AW, Shipe JM, Sumeriski OR, Moran K. The Systemic Effects of Blood Flow Restriction Training: A Systematic Review. IJSPT. 2021;16(4):978-990. doi: 10.26603/001c.25791.
31. Lim Z.X, Goh J. Effects of blood flow restriction (BFR) with resistance exercise on musculoskeletal health in older adults: a narrative review. Eur Rev Aging Phys Act. 2022, 19, 15S. doi: 10.1186/s11556-022-00294-0.
32. Patterson SD, Ferguson RA. Resistance training with blood flow restriction enhances the increase in strength and calf blood flow in older people. Journal of Aging and Physical Activity 2011, 19: 201-13. doi: 10.1123/japa.19.3.201
33. Kawada S. What phenomena do occur in blood flow-restricted muscle? Int J Kaatsu Training Res 2005, 1: 37–44. doi.org/10.3806/ijktr.1.37
34. Apel JM, Lacey RM, Kell RT. A comparison of traditional and weekly undulating periodized strength training programs with total volume and intensity equated. J Strength Cond Res 2011; 25(3): 694-703. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c69ef6.