پژوهش‌نامهٔ فیزیولوژی ورزشی کاربردی **مقاله پژوهشی**
سال شانزدهم/ شماره سی و یکم/بهار و تابستان ۱۳۹۹

دریافت: ۹۸/۸/۲۰ پذیرش: ۹۸/۱۰/۷ ص ص: ۵۸-۴۵

تأثیر هشت هفته تمرین تناوبی با و بدون محدودیت جریان خون در شدت‌های مختلف بر عملکرد استقامتی، قدرت و سطح سرمی مایواستاتین در مردان ورزشکار

حمید سالاری کاریزمه[۱]، امیر حسین حقیقی[۲]، علیرضا حسینی‌کاخک[۳]

چکیده

سابقه و هدف: ایجاد محدودیت جریان خون به عنوان یک روش مکمل در بهبود شاخص‌های آمادگی جسمانی مطرح شده است. با این حال، تأثیر سودمندی این روش به همراه تمرینات تناوبی دویدن کمتر مورد توجه قرار گرفته است. هدف از مطالعه حاضر، بررسی اثر هشت هفته تمرین تناوبی با و بدون محدودیت جریان خون در شدت‌های مختلف بر عملکرد استقامتی، قدرت و سطح سرمی مایواستاتین در مردان ورزشکار بود.

مواد و روشها: ۳۲ ورزشکار جوان (سن= ۰/۴۹±۱۹/۶ سال، وزن= ۶/۴۴±۵۹/۳ کیلوگرم) به طور تصادفی به چهار گروه تقسیم شده و هر گروه براساس درصدی از حداکثر سرعت هوازی به تمرین پرداختند: گروه‌های تناوبی با شدت کمتر (۸۵ درصد حداکثر سرعت هوازی) با (۸ نفر) و بدون (۸ نفر) محدودیت جریان خون، گروه تناوبی شدت بالا (۱۰۰ درصد حداکثر سرعت هوازی) (۸ نفر) و گروه کنترل (۸ نفر). آزمودنی‌ها ۲۴ جلسه (۳ جلسه در هفته) تمرین انجام دادند و هر جلسه شامل دوره‌های تکراری دویدن (۲ دقیقه) روی نوارگردان با یک دقیقه استراحت بین تکرارها بود. قبل و پس از دوره تمرینی نمونه‌های خونی جمع‌آوری و آزمون‌های مورد نظر گرفته شد. از روش تجزیه و تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر برای بررسی تفاوت بین گروه‌ها استفاده گردید. سطح معنی‌داری آماری $P\leq$ ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها در قدرت عضلات پا، عملکرد استقامتی و سطح سرمی مایواستاتین مشاهده گردید ($P<$۰/۰۵). قدرت فقط در گروه تناوبی با شدت کمتر همراه با محدودیت جریان خون و عملکرد استقامتی در دو گروه تناوبی با شدت کمتر همراه با محدودیت جریان خون و گروه تناوبی شدت بالا افزایش معنی‌داری نشان داد. همچنین، کاهش معنی‌داری در سطح سرمی مایواستاتین در گروه تناوبی با شدت کمتر همراه با محدودیت جریان خون و گروه تناوبی شدت بالا مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: این نتایج پیشنهاد می‌کند که اجرای تمرین تناوبی با شدت کمتر همراه با محدودیت جریان خون منجر به بهبود همزمان آمادگی هوازی و قدرت عضلانی می‌گردد که در مقایسه با تمرینات تناوبی شدت بالا دارای مزایای بیشتری برای ورزشکاران است.

واژه‌های کلیدی: محدودیت جریان خون، قدرت، عملکرد استقامتی، مایواستاتین

۱ دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
۲ دانشیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. نویسنده مسئول: ah.haghighi@hsu.ac.ir
۳ دانشیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

مقدمه

بهبود آمادگی هوازی از یک سو منجر به بهبود عملکرد ورزشی (۱) و از سوی دیگر تسریع روند ریکاوری ورزشکار را به دنبال خواهد داشت (۲). بنابراین، با افزایش سطح آمادگی هوازی لزوم افزودن بر شدت تمرینات جهت بروز پاسخ تمرینی مناسب و حفظ آمادگی هوازی برجسته خواهد بود (۳). بر این اساس، ورزشکاران اغلب به منظور دستیابی به این هدف به تمرینات تناوبی شدت بالا[1] با شدتی معادل با ۹۰ تا ۱۳۰ حداکثر اکسیژن مصرفی نیاز دارند (۴). از طرف دیگر، به نظر می‌رسد انجام مکرر جلسات تمرینی شدید در مراحل مختلف آمادگی به دلیل فشار مکانیکی و فیزیولوژیکی زیاد، ورزشکاران را در معرض خطرآسیب دیدگی قرار داده و احتمالا در طولانی‌مدت روند صعودی پیشرفت ورزشکار را دچار اختلال می‌کند.

بدین منظور، ورزشکاران و مربیان همواره در جستجوی روش‌های مکمل برای تشدید اثربخشی تمرینی و در عین حال کاهش آسیب‌های احتمالی‌اند. ایجاد محدودیت جریان خون[2] (BFR) در تمرینات با شدت پائین یکی از این روش‌ها است که سازگاری‌های عضلانی ناشی از تمرین را تقویت می‌کند (۵). این روش به دلیل عدم تغییر سطح سرمی شاخص‌های آسیب عضلانی مانند کراتین کیناز (۶) به عنوان یک روش تمرینی کم‌خطر و ایمن مطرح شده است. پژوهش‌های بسیاری در این رابطه بر روی افراد مختلف و در حین انجام تمرینات متنوع اجرا شده است. پژوهش‌های اولیه نشان دادند که ایجاد محدودیت جریان خون در حین تمرینات مقاومتی کم شدت در ورزشکاران منجر به افزایش قدرت و حجم عضلات مشابه با تمرینات مقاومتی شدید می‌شود (۷، ۸). با این حال، پژوهش‌های بعدی گزارش کردند در افراد فعال جوان، ایجاد محدودیت جریان خون در حین تمرین هوازی کم شدت، افزایش همزمان قدرت یا حجم عضله، حداکثر اکسیژن مصرفی و زمان رسیدن به خستگی را به دنبال دارد (۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳). به عنوان مثال آبه[3] و همکاران (۲۰۱۰) مشاهده کردند که هشت هفته تمرین راه رفتن همراه با BFR منجر به افزایش قدرت ایزومتریک (۷/۷ درصد)، سطح مقطع عضلات ران (۳/۴ درصد) و حداکثر اکسیژن مصرفی (۶/۴ درصد) در آزمودنی‌های جوان فعال می‌شود (۱۰). به طور مشابه آرسپرانگ[4] (۲۰۱۶) گزارش نمود که حداکثر اکسیژن مصرفی و سطح مقطع عضلات ران در افراد فعال بعد از سه هفته راه‌رفتن همراه با BFR افزایش می‌یابد (۱۴). بنابراین، به نظر می‌رسد کاستن از شدت تمرین هوازی و همزمان ایجاد BFR، به عنوان روش تمرینی جدید در افزایش همزمان آمادگی هوازی و قدرت یا حجم عضلانی در افراد فعال مؤثر باشد. با این حال، پژوهش‌ها بر روی افراد ورزشکار محدود و بعضاً با نتایج افراد غیرورزشکار مغایرت دارد. به عنوان مثال پارک[5] و همکاران (۲۰۱۰) مشاهده کردند که در بسکتبالیست‌های دانشگاهی اجرای تمرین تناوبی هوازی کم شدت همراه با BFR علی رغم افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی تغییری در قدرت آنها ایجاد نکرد (۱۵). با توجه به نتایج پژوهش‌های فوق به نظر نمی‌رسد این نتایج قابل تعمیم به ورزشکاران که عموماً از سطح آمادگی جسمانی بالایی برخوردارند، باشد.

در بررسی مکانیسم‌های احتمالی این روش تمرینی پژوهش‌ها نشان دادند، تمرین همراه با BFR از طریق کاهش جریان خون منجر به تجمع متابولیت‌ها و در نتیجه افزایش فشار متابولیکی می‌شود (۱۶). این افزایش فشار

[1] High Intensity Interval Training (HIIT)
[2] Blood Flow Restriction (BFR)
[3] Abe
[4] Ursprung
[5] Park

متابولیک به عنوان مکانیسم اولیه، از طریق فعال کردن مکانیسم‌های ثانویه، در بروز سازگاری‌ها و هایپرتروفی ناشی از تمرین همراه با BFR نقش کلیدی بازی می‌کند (۱۷ ،۱۸). مسیر پیام رسانی مایواستاتین[1] به عنوان یکی از مکانیسم‌های ثانویه مد نظر قرار گرفته است (۱۹). مایواستاتین عضو جدید خانوادهٔ بزرگ فاکتور رشدی تغییر شکل دهنده بتا (β-TGF)[2] است که کاهش بیان آن منجر به هایپرتروفی عضلانی می‌شود (۲۰). با این حال، در رابطه با محدودیت جریان خون و مایواستاتین، مطالعات اندک و اغلب به دنبال تمرینات مقاومتی انجام شده است. در تنها پژوهش موجود بعد از هشت هفته تمرین مقاومتی کم شدت همراه با BFR، بیان مایواستاتین کاهش یافت که این امر با افزایش قدرت و حجم عضله همراه بود (۲۱).

به طور کلی، با توجه به اینکه بهبود آمادگی هوازی و قدرت عضلانی نیازمند جلسات تمرینی مجزا و صرف زمان است. بنابراین گسترش روش‌های تمرینی که به طور همزمان اجزاء آمادگی جسمانی را از طریق یک روش تمرینی واحد بهبود ببخشند، بسیار مورد علاقه مربیان است. همچنین مطالعه ادبیات پژوهش نشان می‌دهد، هنوز پروتکل مورد توافقی در مورد برنامه تمرین هوازی همراه با BFR برای ورزشکاران وجود ندارد. از منظر دیگر، اگر چه سازگاری‌های مرکزی و محیطی مشابهی به دنبال تمرین هوازی همراه با BFR (۵، ۲۲) و تمرینات تناوبی شدت بالا گزارش شده است (۴). با این وجود، اینکه این تشابه در سازگاری‌ها نتایج عملکردی یکسانی به همراه داشته باشند، مورد تردید است. بنابراین، پژوهش حاضر در نظر دارد به پرسش زیر پاسخ دهد که آیا انجام تمرین تناوبی با شدت کمتر همراه با BFR، منجر به افزایش همزمان آمادگی هوازی، قدرت و حجم عضلات در ورزشکارن می‌شود و آیا تفاوتی بین این نتایج با نتایج تمرینات تناوبی شدت بالا وجود دارد؟

روش پژوهش

روش تحقیق پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی و شامل یک طرح پیش و پس آزمون همراه با مداخله تمرینی بود. کل مدت پژوهش ۱۰ هفته شامل هشت هفته تمرین و دو هفته آزمون‌گیری بود. در پیش آزمون متغیرهای وابسته‌ی قدرت پویای عضلات پا و عملکرد استقامتی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و بعد از هشت هفته تمرین، دوباره همین متغیرها در پس آزمون اندازه‌گیری گردید. سطح پایه‌ی متغیر خونی مایواستاتین قبل از اولین جلسه و ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه تمرین به منظور بررسی پاسخ‌های سازگارانه آن اندازه‌گیری شد. همچنین، پاسخ کراتین کیناز به اولین جلسه تمرین، ۲۴ ساعت بعد از اولین جلسه تمرین مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش در خارج از فصل مسابقات اجرا گردید و هیچ یک از آزمودنی‌ها سابقه تمرین قدرتی منظم حداقل دو ماه قبل از این پژوهش را نداشتند.

تعداد آزمودنی‌های این پژوهش ۳۲ نفر بود (قد=۱/۶±۱۷۰ سانتی‌متر، سن= ۰/۴۹±۱۹/۶ سال، وزن= ۴۴/۳±۵۹ کیلوگرم) که بصورت داوطلبانه و هدفمند از میان ۷۰ فوتبالیست انتخاب شدند (جدول۱). ملاک انتخاب آزمودنی‌ها حداکثر اکسیژن مصرفی بالای ۵۰ میلی لیتر در دقیقه به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن بود که توسط آزمون شاتل ران برآورد گردید (۲۳). سپس آزمودنی‌ها به طور تصادفی به چهار گروه تقسیم شدند: گروه تناوبی با شدت کمتر (۸۵ درصد حداکثر سرعت هوازی) بدون BFR (گروه ۸۵) ، گروه تناوبی با شدت کمتر (۸۵ درصد حداکثر سرعت هوازی) همراه با BFR (گروه BFR+۸۵)، گروه تناوبی شدت بالا (۱۰۰ درصد حداکثر سرعت

[1] Myostatin
[2] Transforming Growth Factor- β (β-TGF)

هوازی) (گروه ۱۰۰) و گروه بدون تمرین (کنترل). تمام شرکت‌کنندگان با روش‌ها، شیوه انجام و خطرات پژوهش آشنا شده بودند.

جدول۱: ویژگیهای آنتروپومتریک آزمودنی‌ها (میانگین± انحراف استاندارد) **در گروه‌های مختلف**

گروه	درصد چربی			وزن(کیلوگرم)		
	قبل از تمرین	بعد از تمرین	درصد تغییرات	قبل از تمرین	بعد از تمرین	درصد تغییرات
گروه ۸۵	۶/۵۶±۱	۶/۳۷±۱	-۲/۷۶	۶۱/۵ ± ۴/۷۸	۶۰/۲۵±۴/۲	-۱/۹۷
گروه ۱۰۰	۶/۵۱±۱/۲۲	۶/۲۳±۱/۱۵	-۴/۱۴	۵۷/۶۲±۹/۵۹	۵۶/۲۵±۱۰/۷۹	-۲/۶۶
گروه ۸۵+ BFR	۵/۶۳±۱/۶۲	۴/۸۶±۱/۴۷	-۱۳/۲	۶۲/۲۵±۶/۲۲	۶۰/۳۷±۵/۶۸	-۲/۹۴
کنترل	۵/۹۵±۱/۱۱	۵/۹۵±۱/۲	-۰/۲۲	۵۴/۷۵±۷/۴۵	۵۳/۵±۷/۷۶	-۲/۳۴

محدودیت جریان خون به کمک باندهای ارتجاعی محقق ساخته (با عرض۷۰ میلی متری) و به روش ویلسون[1] و همکاران (۲۰۱۳) انجام شد (۲۴). به طور خلاصه، ابتدا آزمودنی‌ها با مقیاس فشار درک شده صفر تا ۱۰ آشنا شدند: فشار صفر به معنای عدم فشار، فشار هفت از ۱۰ به معنای فشار متوسط بدون درد و فشار ۱۰ از ۱۰ به معنای فشار شدید همراه با درد بود. باند روی بخش فوقانی پا در قسمت کشاله ران بسته می‌شد. فشار درک شده هفت از ۱۰ به عنوان میزان فشار باند ارتجاعی در کل تمرینات در نظر گرفته شد. در حین تمرینات، کل روند بستن باند توسط یک فرد انجام شد. باند بعد از هر تکرار به سرعت باز شده و قبل از تکرار بعدی بسته می‌شد. اندازه‌گیری‌ها در پیش آزمون: پیش آزمون شامل دو روز آزمون‌گیری بود. در روز اول به ترتیب آزمون‌های اندازه‌های پیکرسنجی (قد، وزن و درصد چربی بدن توسط روش چربی زیر پوستی به کمک فرمول سه نقطه‌ای جکسون و پولاک[2]) (۲۵)، قدرت پویای عضلات پا و حداکثر سرعت هوازی اجرا گردید.

اندازه‌گیری قدرت عضلانی پایین تنه (در حرکت پرس پا) به روش آزمون یک تکرار بیشینه انجام شد. ابتدا وزنه‌ای به طور تخمینی حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد توانائی هر فرد با توجه به تمرین‌های جلسه آشنایی در نظر گرفته شد، به طوری‌که آزمودنی قادر به انجام چند تکرار بود. پس از سه تا پنج دقیقه استراحت، در پنج الی شش مرحله وزنه اضافه شد تا جایی‌که آزمودنی در نهایت فقط موفق به انجام یک حرکت باشد. این میزان وزنه به عنوان رکورد فرد ثبت گردید (۲۶).

[1] Wilson
[1] Jackson and Pollock

در پژوهش حاضر، شدت تمرینات تناوبی برحسب درصدی از حداکثر سرعت هوازی[1] (MAS) به عنوان یک روش کنترل شدت تمرین محاسبه گردید (۴). برای تعیین حداکثر سرعت هوازی بعد از ۱۰ دقیقه گرم کردن، از آزمودنی‌ها خواسته شد که برای کسب بیشترین مسافت به مدت پنج دقیقه دور یک پیست دوومیدانی بدوند. این روش با داده‌های حاصل از آزمون‌های آزمایشگاهی دویدن روی تردمیل همبستگی بالایی (r=۰/۹۴) دارد. پس از مشخص شدن مسافت (d) پیموده شده از حاصلضرب آن در عدد ۱۲، حداکثر سرعت هوازی برحسب کیلومتر بر ساعت برای هر فرد به دست آمد (۲۷). بعد از ۴۸ ساعت استراحت، در روز دوم آزمون تناوبی ریکاوری یویو سطح یک (۲۸) اجرا گردید و مسافت پیموده شده به عنوان عملکرد استقامتی ثبت گردید.

بعد از ۷۲ ساعت استراحت از آخرین روز پیش آزمون پروتکل تمرینی اجرا گردید. کل جلسات تمرین ۲۴ جلسه بود. شدت تمرینات براساس درصدی از حداکثر سرعت هوازی در دو گروه تناوبی با شدت کمتر با و بدون BFR معادل با ۸۵ درصد حداکثر سرعت هوازی و در گروه تناوبی شدت بالا معادل با ۱۰۰ درصد حداکثر سرعت هوازی بود. حجم تمرینات برای تمام گروه‌ها مشابه بود به این صورت که تمرینات با پنج تکرار دو دقیقه‌ای با یک دقیقه استراحت بین تکرارها شروع شد و هر هفته یک تکرار تا هفته چهارم به آن اضافه گردید. در هفته پنجم حجم تمرین به شش تکرار کاهش یافت. دوباره در هفته ششم تا هشتم حجم تمرین به هشت تکرار برگشت. بار تمرین در سه هفته پایانی از طریق افزایش سرعت دویدن به میزان ۲/۵ درصد از حداکثر سرعت هوازی در هر هفته افزایش یافت.

نمونه‌های خونی در پیش و پس آزمون بعد از ۱۰–۱۲ ساعت ناشتایی از ورید بازوئی به مقدار ۵ سی سی جمع‌آوری گردید. همچنین بلافاصله و ۲۴ ساعت بعد از اولین جلسه تمرین نمونه‌های خونی گرفته شد. سپس خون بدست آمده سانتریفیوژ و سرم حاصله در فریزر ۸۰– درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سطح سرمی مایواستاتین (با دامنه ۵-۲۰۰۰ ng/L ، حساسیت:۲/۵۴ ng/L) توسط کیت شرکت استبیوفارم[2] به روش الایزا اندازه‌گیری شد. همچنین سطح سرمی کراتین کیناز (با دامنه ۲۴ U/L- ۱۲۰۰ U/L، حساسیت: ۱ U/L) توسط کیت آلمانی شرکت گرینر[3] به روش فوتومتریک اندازه‌گیری گردید.

کلیه آزمودنی‌ها سالم فرض شده که قادر به انجام تمرینات شدید با توجه به نظر پزشک بودند. همه شرکت‌کنندگان فرم رضایت نامه را تکمیل نمودند. طرح توسط کمیته اخلاق دانشگاه حکیم سبزواری (IR.HEC.REC.1397.003) تأیید شد.

از آمار توصیفی (میانگین و انحراف استاندارد) برای توصیف داده‌ها و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش آماری آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر استفاده گردید. بدین صورت که اثر زمان، گروه و اثر تعاملی زمان–گروه مورد تحلیل قرار گرفت. تجزیه و تحلیل با استفاده از SPSS نسخه ۲۲ صورت گرفت. برای بررسی پذیره‌های زیر بنایی مدل آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر، آزمون لِوین در قبل و بعد از تمرین (برای بررسی برابری واریانس خطای مدل) و آزمون شاپیرو–ویلک و کولوموگروف–اسمیرنوف (لیلی‌فورس) در قبل و بعد از تمرین (برای بررسی نرمال بودن توزیع خطاهای مدل) اجرا گردید. با توجه به اینکه p–مقدار در تمام موارد فوق بزرگتر از ۵ صدم بود،

[2] Maximal Aerobic Speed (MAS)
[1] Eastbiopharm
[2] Greiner

از آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر به روش کمترین توان‌های دوم استفاده شد. سطح معنی‌داری ۰/۰۵ ≥ P در نظر گفته شد.

یافته‌ها

در پیش آزمون در شاخص‌های قد، وزن و درصد چربی بین گروه‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. تغییرات درصد چربی و وزن بدن پس از هشت هفته تمرین در تمام گروه‌ها در جدول۱ نشان داده شده است. نتایج تحلیل آماری در مورد پاسخ کراتین کیناز به اولین جلسه تمرین نشان داد که اثر تعاملی زمان و گروه معنی‌دار نیست (p=۰/۰۶) (جدول ۲). به عبارت دیگر بین گروه‌ها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.

جدول۲: نتایج (میانگین± انحراف استاندارد) پاسخ حاد اولین جلسه تمرین تناوبی در گروه-های مختلف با و بدون BFR برسطح سرمی کراتین کیناز

		گروه ۸۵	گروه ۱۰۰	گروه BFR+۸۵
کراتین کیناز (واحد در لیتر)	پیش	۱۶۱/۲۵±۳۲/۵۶	۱۹۷/۶۲±۶۳/۶۳	۲۱۸/۳۷±۴۰/۲۷
	۲۴ ساعت بعد از اولین جلسه تمرین	۲۰۹/۵±۵۲/۵	۲۷۱/۷۵±۷۱/۵۹	۲۶۸/۷۵±۳۲/۴
	درصد تغییرات	+۳۰/۴۶	+۴۲/۴۱	+۳۵/۱

عملکرد استقامتی: نتایج تحلیل آماری نشان داد که اثر تعاملی زمان و گروه معنی‌دار است (جدول۳). نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی حاکی از وجود عدم تفاوت معنی‌دار بین هیچ یک از گروه‌های تجربی در پس آزمون بود. همچنین عملکرد استقامتی در دو گروه ۱۰۰ (p=۰/۰۰۶) و BFR+۸۵ (p=۰/۰۰۶) از قبل به بعد از تمرین افزایش معنی‌دار و در گروه کنترل (p=۰/۰۰۱) کاهش معنی‌داری را نشان داد.

قدرت پویای عضلات پا: نتایج تحلیل آماری نشان داد که اثر تعاملی زمان و گروه معنی‌دار است (جدول۳). لذا آزمون تعقیبی بونفرونی تفاوت معنی‌داری در پس آزمون بین گروه BFR+۸۵ با گروه‌های ۱۰۰ و ۸۵ نشان داد. همچنین تفاوت معنی‌داری بین گروه ۱۰۰ و گروه ۸۵ در پس آزمون مشاهده شد (p=۰/۰۰۱). قدرت عضلانی تنها در گروه BFR+۸۵ (p=۰/۰۰۱) از قبل به بعد از تمرین افزایش معنی‌داری داشته است.

سطح سرمی مایواستاتین: نتایج تحلیل آماری نشان داد که اثر تعاملی زمان و گروه معنی‌دار است (جدول۳). نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که تفاوت معنی‌داری در پس آزمون بین گروه ۸۵ با گروه‌های ۱۰۰ و BFR+۸۵ وجود دارد. همچنین گروه BFR+۸۵ با گروه ۱۰۰ (p=۰/۰۰۱) تفاوت معنی‌داری نشان داد. سطح سرمی مایواستاتین در دو گروه BFR+۸۵ (p=۰/۰۰۱) و ۱۰۰ (p=۰/۰۴) از قبل به بعد از تمرین کاهش معنی‌داری داشته است.

جدول۳: نتایج (میانگین± انحراف استاندارد) هشت هفته دویدن تناوبی با و بدون BFR در شدت‌های مختلف بر عملکرد استقامتی، قدرت پویای عضلات پا و سطح سرمی مایواستاتین

متغیر	زمان	گروه ۸۵	گروه ۱۰۰	گروه BFR+۸۵	گروه کنترل	گروه × زمان
عملکرد استقامتی (متر)	قبل از تمرین	۲۱۳۵/۷۱±۲۳۷/۰۸	۲۰۳۹/۳±۲۸۸/۴۵	۲۰۵۵/۹۵±۳۱۸/۲۶	۲۰۳۲/۱۴±۴۷۵/۲۱	۰/۰۰۱**
	بعد از تمرین	۲۱۵۱/۱۹±۲۵۹/۰۱	۲۲۰۷/۱۴±۱۸۰/۷*	۲۲۰۷/۱۴±۳۲۰/۲۸*	۱۵۵۲/۳۸±۶۴۰/۸۶†	
	درصد تغییرات	+۰/۳	+۲/۷۲	+۲/۳۸	−۷/۵۵	
قدرت پویا (کیلوگرم)	قبل از تمرین	۲۱۳±۱۱/۶۳	۱۸۳±۳۳/۲۶	۲۱۱±۱۶/۶۳	۱۸۵±۳۹/۰۹	۰/۰۰۱**
	بعد از تمرین	۲۱۹±۱۴/۹۸	۱۸۸±۳۵/۲۲	۲۴۵±۱۳/۶۲*	۱۸۴±۴۴/۹۱	
	درصد تغییرات	+۲/۸۷	+۳	+۱۶/۲۸	−۰/۸۲	
میوستاتین (نانوگرم بر لیتر)	قبل از تمرین	۷۶۲±۳۹/۵	۷۳۷±۲۹/۶۲	۷۰۲/۷۵±۹۴/۵۶	۷۴۳/۷۵±۵۰/۷۷	۰/۰۰۱**
	بعد از تمرین	۷۵۸±۴۰/۱۵	۷۲۹ ±۳۰/۹۹†	۶۹۰±۱۰۱/۳۱†	۷۴۰/۷۵±۴۷/۴۳	
	درصد تغییرات	−۰/۵۲	−۱/۰۹	−۱/۹۸	−۰/۳۷	

* افزایش معنی‌دار نسبت به پیش آزمون ($P \leq ۰/۰۵$)

† کاهش معنی‌دار نسبت به پیش آزمون ($P \leq ۰/۰۵$)

** وجود اختلاف معنی‌دار بین گروه‌ها در پس آزمون ($P \leq ۰/۰۵$)

بحث و بررسی

یافته‌های اصلی این پژوهش نشان داد که هشت هفته دویدن تناوبی با شدت کمتر همراه با BFR به طور همزمان منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد استقامتی و قدرت و کاهش معنی‌دار سطح سرمی مایواستاتین در مردان ورزشکار شد. همچنین مقایسه نتایج دویدن تناوبی با شدت‌کمتر همراه با BFR با گروه تناوبی شدت بالا نشان داد که دویدن تناوبی همراه با BFR علی رغم شدت کمتر دارای نتایج عملکردی مشابه و حتی بهتری نسبت به دویدن تناوبی شدت بالا است.

در پژوهش حاضر، عملکرد استقامتی به عنوان شاخص آمادگی هوازی مورد بررسی قرار گرفت. عملکرد استقامتی در گروه BFR+۸۵ پس از هشت هفته دویدن تناوبی افزایش معنی‌داری نشان داد. با این حال، این افزایش منجر به ایجاد تفاوت معنی‌دار بین گروه BFR+۸۵ با گروه ۸۵ بدون BFR در پس‌آزمون نشد. میزان بهبود عملکرد استقامتی در پژوهش حاضر (۲/۳۸ درصد) کمتر از سایر پژوهش‌ها روی افراد فعال و ورزشکار بود (۱۰، ۱۳، ۱۵) که دلیل آن را می‌توان سطح بالای آمادگی قلبی–تنفسی در آزمودنی‌های پژوهش حاضر بیان کرد. مشابه با پژوهش حاضر، پارک و همکاران (۲۰۱۰) افزایش معنی‌داری را در حداکثر اکسیژن مصرفی به عنوان شاخص آمادگی هوازی در گروه همراه با محدودیت جریان خون گزارش کردند (۱۵) که دلیل این همخوانی احتمالا استفاده از برنامه تمرینی مشابه در دو پژوهش است. همچنین، امانی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش نمودند که حداکثر اکسیژن مصرفی و زمان رسیدن به خستگی در دختران فعال دانشگاهی بعد از دویدن همراه با محدودیت جریان خون افزایش معنی‌داری پیدا کرده است (۹) که به نظر می‌رسد شدت تمرینی تقریباً مشابه دلیل همخوانی نتایج با پژوهش حاضر باشد. در پژوهش حاضر احتمالا هایپوکسی موضعی و افزایش تنش برشی ناشی از باز توزیع مجدد خون در بین تکرارها به

عنوان محرک‌های قوی تنظیم مثبت فاکتورهای مویرگ‌زایی از جمله فاکتور رشد اندوتلیال عروق (VEGF) (۲۹) منجر به افزایش چگالی مویرگی در عضلات شده و بهبود عملکرد استقامتی را به همراه داشته است. در همین راستا، اوانز و همکاران (۲۰۱۰) افزایشی را در شاخص چگالی مویرگی عضلات بعد از تمرین همراه با محدودیت جریان خون گزارش کردند (۳۰). علاوه بر این، در پژوهش حاضر مکانیسم احتمالی دیگری که بهبود عملکرد استقامتی را می‌توان به آن نسبت داد، عوامل همودینامیک مانند حجم ضربه‌ای، ضربان قلب و برون ده قلبی می‌باشد (۱۵). بنابراین، در پژوهش حاضر احتمالا عملکرد استقامتی در اثر بروز سازگاری‌های مرکزی و محیطی ناشی از تمرینات هوازی همراه با محدودیت جریان خون بهبود یافته است. برخلاف پژوهش حاضر، کرامیداس[1] و همکاران (۲۰۱۲) بعد از شش هفته دوچرخه‌سواری با شدت ۹۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی همراه با BFR افزایشی را در حداکثر اکسیژن مصرفی و زمان رسیدن به خستگی روی آزمودنی‌های بی‌تمرین مشاهده نکردند (۳۱). دلیل این مغایرت احتمالا مربوط به تفاوت در روش تمرینی (دوچرخه‌سواری در مقابل دویدن) بین دو پژوهش است. از آنجائی که مکانیسم اولیه برای ظهور سازگاری‌های ناشی از تمرین همراه با BFR افزایش فشار متابولیک است (۱۴)، لذا احتمالا دوچرخه‌سواری در مقایسه با دویدن در پژوهش حاضر به دلیل عدم تحمل وزن حین تمرین فشار متابولیک کمتری را به وجود آورده و در نتیجه سازگاری لازم را ایجاد نکرده و منجر به بهبود حداکثر اکسیژن مصرفی نشده است. همچنین پاتون[2] و همکاران (۲۰۱۷) گزارش نمودند که پس از هشت جلسه دویدن همراه با محدودیت جریان خون حداکثر اکسیژن مصرفی در۶۰ مرد جوان فعال افزایش پیدا نکرده است (۳۲). احتمالا دوره‌ی تمرینی کوتاه (۸ جلسه) و برنامه تمرینی متفاوت (دوره‌های تکراری ۳۰ ثانیه‌ای) در مقایسه با پژوهش حاضر علی رغم شدت تمرینی تقریباً مشابه (۸۰ در مقابل ۸۵ درصد حداکثر سرعت هوازی) دلیل این مغایرت نتایج است.

علاوه بر این، عملکرد استقامتی در گروه تناوبی شدت بالا (گروه ۱۰۰) پس از هشت هفته تمرین افزایش معنی‌داری نشان داد. مقایسه نتایج تفاوتی را در افزایش عملکرد استقامتی بین گروه تناوبی شدت بالا (۲/۷۲ درصد) و گروه BFR+۸۵ (۲/۳۸ درصد) نشان نداد (جدول۳). از آنجائی که ورزشکاران به دلیل سطح آمادگی بالا برای حفظ و ارتقاء استقامت قلبی–تنفسی نیاز به تمرینات شدید (۹۰–۱۰۰درصد حداکثر اکسیژن مصرفی) دارند (۵، ۳۳)، لذا تمرینات تناوبی شدت بالا برای ورزشکارن بسیار لازم و ضروری است. به نظر می‌رسد در پژوهش حاضر محدودیت جریان خون سازگارهای ناشی از تمرین هوازی با شدت کمتر را تقویت کرده است، به طوری که نتایج بهبود عملکرد استقامتی در گروه دویدن تناوبی با شدت کمتر ولی همراه با BFR با نتایج گروه دویدن تناوبی شدت بالا مشابه بود. بنابراین ورزشکاران می‌توانند به منظور کاهش فشار مکانیکی در حین تمرینات و در نتیجه ریکاوری سریعتر از این روش تمرینی استفاده کنند.

نتایج پژوهش حاضر حاکی از کاهش معنی دار سطح سرمی مایواستاتین در گروه BFR+۸۵ است. این کاهش معنی‌دار منجر به اختلاف معنی‌دار با گروه ۸۵ بدون BFR در پس آزمون شد (جدول ۳). مشاهده درصد تغییرات در دو گروه ۸۵ با (۱/۹۸ درصد) و بدون (۰/۵۲درصد) BFR، نقش محدودیت جریان خون در کاهش بیشتر سطح سرمی مایواستاتین را نشان می‌دهد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج مطالعات حیوانی و انسانی استفاده کننده از تمرینات مقاومتی همراه با BFR همخوانی دارد (۳۴،۲۱). با این حال، به نظر می‌رسد تاکنون پژوهشی به بررسی تغییرات

[1] Keramidas
[2] Paton

مایواستاتین پس از تمرین هوازی همراه با BFR نپرداخته است. تنها آبه و همکاران (۲۰۰۵) به طور غیر مستقیم از طریق عدم تغییر در سطح کورتیزول (با توجه به اینکه مایواستاتین توسط گلوکوکورتیکوئیدها مانند کورتیزول تنظیم مثبت می‌شود) نتیجه‌گیری کردند که احتمالا مایواستاتین در اثر راه‌فتن همراه با BFR تغییر پیدا نکرده است (۳۵). فشار متابولیکی ناشی از تجمع متابولیت‌ها در تمرینات همراه با محدودیت جریان خون به عنوان مکانیسم اولیه اصلی که منجر به فعال‌سازی مکانیسم‌های ثانویهٔ هایپرتروفی عضلات از جمله مسیر پیام‌رسانی آنابولیک mTOR می‌شود، بیان شده است (۱۸). از آنجائی که بیان مایواستاتین تحت تأثیر فعال‌سازی مسیر پیام‌رسانی mTOR قرار می‌گیرد (۱۹) بنابراین، در پژوهش حاضر احتمالا در ابتدا فشار متابولیک منجر به فعال‌سازی مسیر پیام‌رسانی mTOR شده، سپس فعال‌سازی این مسیر منجر به کاهش بیان مایواستاتین و در نتیجه کاهش سطح سرمی آن را به همراه داشته است. به طور کلی، نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن است که دویدن تناوبی با شدت‌کم همراه با BFR احتمالا منجر به هایپرتروفی عضلانی شده است.

علاوه بر این، در پژوهش حاضر، سطح سرمی مایواستاتین در گروه تناوبی شدت بالا نیز مشابه با گروه BFR+۸۵ در اثر تمرین کاهش معنی‌داری را نشان داد. به طوری که بین دو گروه در پس آزمون اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با این حال، مشاهده درصد تغییرات در دو گروه حاکی از کاهش بیشتر در گروه تناوبی با شدت کمتر همراه با BFR است (جدول۳). به عبارت دیگر، احتمالا در گروه تناوبی با شدت کمتر همراه با BFR در مقایسه با گروه تناوبی شدت بالا، هایپرتروفی عضلانی بیشتری رخ داده است. کاهش معنی‌دار سطح سرمی مایواستاتین در گروه تناوبی شدت بالا علی‌رغم عدم استفاده از محدودیت جریان خون احتمالا مربوط به شدت بالای تمرینات در این گروه بوده است (۳۶).

پس از هشت هفته دویدن تناوبی در پژوهش حاضر، قدرت پویای عضلات پا فقط در گروه BFR+۸۵ افزایش معنی‌داری نشان داد. این افزایش منجر به اختلاف معنی‌دار با گروه ۸۵ بدون محدودیت جریان خون و تناوبی شدت بالا در پس آزمون گردید. نتایج پژوهش حاضر موافق با نتایج پژوهش‌هایی است که از تمرین هوازی (۱۳، ۳۷، ۳۸) همراه با BFR روی آزمودنی‌های جوان فعال استفاده کرده بودند. با این حال، میزان افزایش قدرت در پژوهش حاضر بیشتر بود. از آنجائی که سازگاری‌های ناشی از تمرین همراه با BFR به شدت تمرین وابسته است (۱۹). بنابراین، به نظر می‌رسد در پژوهش حاضر، استفاده از دویدن به جای راه‌رفتن منجر به تقویت بیشتر سازگاری‌های ناشی از تمرینات همراه با BFR شده و در نتیجه افزایش بیشتر قدرت را به همراه داشته است. مکانیسم دقیق افزایش قدرت عضلانی ناشی از تمرینات BFR به خوبی مشخص نشده است. اکثر پژوهش‌ها تغییرات قدرت ناشی از تمرین همراه با محدودیت جریان خون را به هایپرتروفی عضلات نسبت داده‌اند (۱۸، ۱۹). در همین راستا، آبه و همکاران (۲۰۰۵) مشاهده کردند که بعد از سه هفته راه رفتن همراه با BFR، سطح مقطع و قدرت عضلات به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (۳۵). اگر چه تغییرات در حجم عضلات در پژوهش حاضر اندازه گیری نشده بود. با این حال، احتمالا در پژوهش حاضر، محدودیت جریان خون از طریق فعال‌سازی مسیرهای آنابولیک، منجر به هایپرتروفی عضلات و در نتیجه افزایش قدرت شده است. مکانیسم احتمالی دیگر افزایش قدرت در پژوهش حاضر، فراخوانی بیشتر واحدهای حرکتی تند انقباض است. پژوهش‌های قبلی نشان دادند، هایپوکسی موضعی ناشی از محدودیت جریان خون منجر به فراخوانی بیشتر واحدهای تند انقباض می‌شود (۱۳، ۳۵).

برخلاف پژوهش حاضر، پارک و همکاران (۲۰۱۰) پس دو هفته راه رفتن همراه با BFR تغییری در قدرت ایزومتریک آزمودنی‌های ورزشکار مشاهده نکردند و این عدم افزایش قدرت را به آمادگی بازیکنان و تمرینات منظم وزنه آنان قبل از پژوهش نسبت دادند (۱۵). احتمالا تغییر شدت تمرین (تبدیل راه‌رفتن به دویدن)، تفاوت در مدت دوره تمرینی (۲ در مقابل ۸ هفته) علی رغم تعداد جلسات تمرینی مشابه و عدم سابقه تمرینات مقاومتی آزمودنی‌ها در پژوهش حاضر در مقایسه با پژوهش پارک و همکاران منجر به افزایش قدرت در پژوهش حاضر گردیده است.

علاوه بر این، برخلاف نتایج سطح سرمی مایواستاتین، قدرت پویای عضلات پا در گروه تناوبی شدت بالا افزایش معنی‌داری را نشان نداد. مقایسه نتایج دو گروه BFR+۸۵ و تناوبی شدت بالا نشان داد که میزان افزایش قدرت درگروه BFR+۸۵ (۱۶/۲۸ درصد) تقریبا پنج برابر گروه تناوبی شدت بالا (۳درصد) است (جدول۳). همانطور که قبلاً بیان شد مکانیسم اصلی افزایش قدرت در تمرینات همراه با BFR هایپرتروفی عضلات است. بنابراین، به نظر می‌رسد در گروه تناوبی با شدت کمتر همراه با BFR، هایپرتروفی عضلانی بیشتری رخ داده است. افزایش در قدرت عضلات از طریق انجام تمرین هوازی با شدت تمرینی کمتر همراه با BFR نسبت به تمرینات دویدن تناوبی شدت بالا به خوبی فواید اجرای چنین تمریناتی را برجسته می‌کند.

از آنجائی که فلسفه اصلی تمرینات کم‌شدت همراه با BFR فشار مکانیکی کمتر نسبت به تمرینات شدت بالا است، لذا در پژوهش حاضر به منظور بررسی فشار مکانیکی وارد بر بدن، پاسخ کراتین کیناز به عنوان شاخص آسیب عضلانی ناشی از تمرین، مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که در تمام گروه‌های تجربی سطح سرمی کراتین کیناز از قبل به بعد از پیش آزمون افزایش معنی‌داری پیدا کرده است. با این حال، بین گروه‌ها در پس آزمون تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به طور مخالف با پژوهش حاضر سایر پژوهش‌ها هیچ تغییری در سطح سرمی کراتین کیناز گزارش نکرده بودند (۳۹،۱۹). دلیل این تناقض احتمالا شدت بالاتر تمرین در پژوهش حاضر بود. علاوه بر این، مقایسه گروه BFR+۸۵ و گروه تناوبی شدت بالا نشان داد که میزان درصد افزایش در گروه BFR+۸۵ (۳۵ درصد) کمتر از گروه تناوبی شدت بالا (۴۲ درصد) بوده است (جدول۲). بنابراین احتمالا دویدن تناوبی با شدت کمتر همراه با BFR در مقایسه با دویدن تناوبی شدت بالا فشار مکانیکی کمتری را به بدن ورزشکاران وارد کرده است.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که دویدن تناوبی با شدت کمتر همراه با BFR در ورزشکاران همانند افراد فعال، منجر به بهبود همزمان آمادگی هوازی، قدرت عضلات و احتمالا حجم عضلات می‌شود. علاوه بر این، نتایج نشان داد که دویدن تناوبی با شدت کمتر همراه با BFR در مقایسه با دویدن تناوبی شدت بالا، نه تنها مؤلفه‌های آمادگی هوازی را بهبود می‌بخشد، بلکه منجر به افزایش قدرت و احتمالا هایپرتروفی عضلات می‌شود. لذا مربیان در طول فصل هنگامی که فشارهای مکانیکی روی ورزشکاران زیاد است می‌توانند از این روش جایگزین استفاده کنند. در پژوهش حاضر اندازه‌گیری شاخص‌های همودینامیک خون، سایر شاخص‌های هایپرتروفی عضله و کنترل برنامه غذایی انجام نشده بود که پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی و بر روی آزمودنی‌های بیشتر مدنظر قرار بگیرد. از نگاه کاربردی، مربیان می‌توانند دویدن همراه با BFR را در مراحل مختلف فصل تمرینات به عنوان یک روش تمرینی با فشار مکانیکی کمتر ولی فشار فیزیولوژیکی معادل با تمرینات شدت بالا جهت ریکاوری بهتر و پیشگیری از آسیب‌های احتمالی بازیکنان به کار ببرند.

منابع

1. Manari, D, Manara M, Zurini A, Tortorella G, Vaccarezza M and Prandelli N and et al. (2016). VO2Max and VO2AT: Athletic performance and field role of elite soccer players. Sport Sci Health; 12: 221–226.
2. Tomlin DL and Wenger HA. (2001). The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. Sports Med; 31: 1–11.
3. Buchheit M and Laursen PB. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Sports Med; 43: 927–954.
4. Laursen Paul B and Jenkins David G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training. Sports Med; 32 (1): 53-73.
5. Sundberg CJ. (1994). Exercise and training during graded leg ischaemia in healthy man with special reference to effects on skeletal muscle. Acta Physiol Scand; 615:1–50.
6. Kubo K, Komuro T, Ishiguro N, Tsunoda N, Sato Y, Ishii N, Kanehisa H and Fukunaga T.(2006). Effects of low-load resistance training with vascular occlusion on the mechanical properties of muscle and tendon. J Appl Biomech; 22(2):112–119.
7. Cook CJ, Kilduff LP and Beaven CM. (2014). Improving strength and power in trained athletes with 3 weeks of occlusion training. Int J Sports Physiol Perform; 9: 166–172.
8. Manimmanakorn A, Hamlin MJ, Ross JJ, Taylor R and Manimmanakorn N. (2013). Effects of low-load resistance training combined with blood flow restriction or hypoxia on muscle function and performance in netball athletes. J Sci Med Sport; 16: 337–342.
9. Amani Shalamzari S, Rajabi S, Rajabi H, Gahreman D E, Paton C, Bayati M, Rosemann T, Nikolaidis P T and Knechtle Beat. (2019). Effects of blood flow restriction and exercise intensity on aerobic, anaerobic, and muscle strength adaptations in physically active collegiate women. Front Physiol; 2019: 10: 810.
10. Abe T, Fujita S, Nakajima T, Sakamaki M, Ozaki H, Ogasawara R, Sugaya M, Kudo M, Kurano M, Yasuda T, Sato Y, Ohshima H, Mukai C and Ishii N. (2010a). Effects of low-intensity cycle training with restricted leg blood flow on thigh muscle volume and VO2max in young men. J Sport Sci Med; 9:452–458.
11. Abe T, Sakamaki M, Fujita S, Ozaki H, Sugaya M, Sato Y and Nakajima T. (2010b). Effects of low-intensity walk training with restricted leg blood flow on muscle strength and aerobic capacity in older adults. J Geriatr Phys Ther; 33: 34–40.
12. Corvino RB, Oliveira MF, Santos RP, Denadai BS and Caputo F. (2014). Four weeks of blood flow restricted training increases time to exhaustion at severe intensity cycling exercise. Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum; 16(5):570-578.
13. De Oliveira M. F. M, Caputo F, Corvino R. B and Denadai B. S. (2015). Short-term low-intensity blood flow restricted interval training improves both aerobic fitness and muscle strength. Scand J Med Sci Sports; doi: 10.1111/sms.12540.
14. Ursprung WM. (2016).The Effects of blood flow restriction training on VO2Max and 1.5 Mile run performance. San Antonio, Texas: Texas A&M University-San Antonio: 29–41.
15. Park S, Kim J K, Choi H M, Kim H G, Beekley M D and Nho H.(2010). Increase in maximal oxygen uptake following 2-week walk training with blood flow occlusion in athletes. Eur J Appl Physiol; 109:591–600.
16. Teixeira E L, Barroso R, Silva-Batista, C, Laurentino G C, Loenneke, J P, Roschel H, et al. (2018). Blood flow restriction increases metabolic stress but decreases muscle activation during high-load resistance exercise. Muscle Nerve; 57: 107–111.
17. Yasuda T, Loenneke JP, Thiebaud RS, and Abe T. (2012). Effects of blood flow restricted low-intensity concentric or eccentric training on muscle size and strength. PLoS ONE; 7(12):e52843.

18. Fry CS, Glynn EL, Drummond MJ, Timmermann KL, Fujita S, Abe T, Dhanani S, Volpi E and Rasmussen BB. (2010). Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. J Appl Physiol; 108: 1199–1209.
19. Scott BR, Slattery KM, Sculley DV and Dascombe BJ. (2014). Hypoxia and resistance exercise: a comparison of localized and systemic methods. Sports Med; 44(8): 1037-54.
20. Lee Se-Jin and McPherron A C. (2001). Regulation of myostatin activity and muscle growth. Pnas; July 31, vol 98 no 16.
21. Laurentino GC, Ugrinowitsch C, Roschel H, Aoki MS, Soares AG, Neves M, Aihara AY, Fernandes AR and Tricoli V. (2012). Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression. Med Sci Sports Exerc; 44: 406–412.
22. Burgomaster KA, Moore DR, Schofield LM, Phillips SM, Sale DG, Gibala MJ. (2003). Resistance training with vascular occlusion: metabolic adaptations in human muscle. Med Sci Sports Exerc; 35: 1203–1208.
23. Handbook EP. (1983). Testing Physical Fitness: London HMSO.
24. Wilson JM, Lowery RP, Joy JM, Loenneke JP and Naimo MA. (2013). Practical blood flow restriction training increases acute determinants of hypertrophy without increasing indices of muscle damage. J Strength Cond Res; 27(11):3068–3075.31.
25. Jackson AS and Pollock ML. (1978). Generalized equations for predicting body density of men. British Journal of Nutrition; 40: 497&SHY; 504.
26. Brown LE, Weir JP. (2001). Procedures recommendation I: accurate assessment of muscular strength and power. J Exerc Physiol Online; 4:1–21.
27. Berthon P , Fellmann N , Bedu M , Beaune B, Dabonneville M, Coudert J and Chamoux A. (1997). A 5-min running field test as a measurement of maximal aerobic velocity. Eur J Appl Physiol; 75: 233±238.
28. Bangsbo J, Iaia F M and Krustrup P. (2008). The Yo-Yo Intermittent Recovery Test. Sports Med; 38 (1): 37-51.
29. Hudlicka O, Brown MD (2009). Adaptation of skeletal muscle microvasculature to increased or decreased blood flow: role of shear stress, nitric oxide and vascular endothelial growth factor. J Vasc Res; 46(5):504–12.
30. Evans C, Vance S and Brown M (2010). Short-term resistance training with blood flow restriction enhances microvascular filtration capacity of human calf muscles, Journal of Sports Sciences; 28:9, 999-1007.
31. Keramidas ME, Kounalakis SN and Geladas ND. (2012). The effect of interval training combined with thigh cuffs pressure on maximal and submaximal exercise performance. Clin Physiol Funct Imaging; 32: 205–213.
32. Paton CD, Addis SM and Taylor LA. (2017). the effects of muscle blood flow restriction during running training on measures of aerobic capacity and run time to exhaustion. Eur J Appl Physiol; 117: 2579– 2585.
33. Daussin FN, Ponsot E, Dufour SP, Lonsdorfer-Wolf E, Doutreleau S, Geny B, Piquard F and Richard R. (2007). Improvement of VO2max, by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. Eur J Appl Physiol; 101:377–383.
34. Kawada S and Ishii N. (2005). Skeletal muscle hypertrophy after chronic restriction of venous blood flow in rats. Med Sci Sports Exerc; 37: 1144–1150.
35. Abe T, Kearns CF, and Sato Y. (2005). Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. J Appl Physiol; 100: 1460–1466.

36. Hittel D S, Axelson M, Sarna N, Shearer J, Huffman KM and Kraus WE. (2010). Myostatin Decreases with Aerobic Exercise and Associates with Insulin Resistance. Med Sci Sports Exerc; 42(11): 2023–2029.
37. Abe T, Kearns CF, Fujita S, Sakamaki M, Sato Y and Brechue WF. (2009). Skeletal muscle size and strength are increased following walk training with restricted leg muscle blood flow: Implications for training duration and frequency. Int J KAATSU Training; Res 5: 9–15.
38. Kim D, Singh H, Loenneke JP, Thiebaud RS, Fahs CA, Rossow LM, Young K, Seo DI, Bemben DA and Bemben MG. (2016). Comparative effects of vigorous-intensity and low intensity blood flow restricted cycle training and detraining on muscle mass, strength, and aerobic capacity. J Strength Cond Res; 30: 1453–1461.
39. Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S, Onda T, Miyazaki S and Ishii N.(2000a). Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. J Appl Physiol; 88: 61–65.

The Effects of Eight Weeks Interval Training with and Without Blood Flow Restriction at Different Intensities on Endurance Performance, Strength and Serum Level of Myostatin in Male Athletes

Hamid Salari- Karezmeh, Amirhossein Haghighi*, Alireza Hosseini- Kakhk.

Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Science, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

***Corresponding author**: Email: ah.haghighi@hsu.ac.ir

Abstract

Background and Purpose: Blood flow restriction has been suggested as a complementary method to improving physical fitness indicators. However, the efficacy of this method along with interval running training has received less attention. The aim of this study was to examination the effects of eight weeks interval-training with and without blood flow restriction (BFR) at different intensities on endurance performance, strength and serum level of Myostatian in male athletes.

Methodology: Thirty two young athletes (19.6 ± 0.49 years; 59.3 ± 6.44 kg) were selected and randomly divided into four groups and training based percent of maximal aerobic speed (MAS): 85% MAS with (N=8) and without (N=8) BFR, 100% MAS (N=8) and control (N=8). The participants completed 24 training sessions (3 sessions per week) comprised of repeated bouts of 2 min running on a treadmill interspersed by 1-min recovery. Blood sampling and tests were taken before and after training period. The one-way repeated-measures ANOVA was used to determine difference between groups. The significance level was set at $P \leq 0.05$.

Results: There were significant difference in leg muscle strength, endurance performance and serum level of Myostatin between groups. Leg muscle strength significantly increased only in group 85%+BFR and endurance performance significantly increased in 85% with BFR and 100 groups, so, serum level of Myostatin significantly decreased in 85% with BFR and 100 groups.

Conclusion: The results suggest that low intensity interval running with BFR can improves simultaneously both aerobic fitness and muscle strength in athletes and more benefit have in compare to high intensity interval training.

Key words: Blood Flow Restriction, Strength, Endurance Performance, Myostatin