

تأثیر یک جلسه تمرین روی نوارگردان با محدودیت جریان خون بر سطوح سرمی هورمون‌های رشد، عامل رشد شبه انسولین-۱ و کورتیزول در دانشجویان دختر غیرفعال

فائزه ناصرخانی^۱، محمد حسین رضوانی^۲، ناهید توفان^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزش دانشگاه شاهرود*

۲- استادیار دانشگاه شاهرود

۳- پزشک عمومی، دانشجوی دکتری آموزش پزشکی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۴/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۷/۱۳

چکیده

تمرین ورزشی با محدودیت جریان خون، تمرینی مفید و مؤثر برای ارتقای سطح عملکرد ورزشکاران است. هدف این تحقیق، بررسی اثر یک جلسه تمرین روی نوارگردان با محدودیت جریان خون بر سطح سرمی هورمون‌های رشد، عامل رشد شبه‌انسولین-۱ و کورتیزول در دانشجویان دختر غیرفعال بود. سی دانشجوی دختر سالم با دامنه سنی ۱۹ تا ۲۴ سال که داوطلب شرکت در مطالعه بودند، به عنوان نمونه آماری انتخاب و به طور تصادفی در سه گروه قرار گرفتند: ۱. تمرین روی نوارگردان با محدودیت جریان خون (با شدت دو مایل بر ساعت، پنج مرحله دودقیقه‌ای با یک دقیقه استراحت بین هر مرحله)؛ ۲. تمرین روی نوارگردان بدون محدودیت جریان خون (با همان حجم ورزش)؛ ۳. کنترل (با محدودیت جریان خون و بدون ورزش). سطح سرمی هورمون‌ها در شرایط ناشتایی قبل و بلافاصله بعد از ورزش اندازه‌گیری شد. در پایان مطالعه، برای مقایسه تفاوت میانگین متغیرها در بین گروه‌ها از آزمون آماری آنالیز واریانس یک‌طرفه و آزمون تعقیبی توکی و برای مقایسه تفاوت‌ها قبل و بعد از ورزش از آزمون t همبسته استفاده شد. سطح معناداری آماری $P < 0.05$ تعیین شد. بر اساس تحلیل داده‌ها یک جلسه تمرین روی نوارگردان با محدودیت جریان خون، باعث افزایش معنادار سطح سرمی هورمون رشد، عامل رشد شبه‌انسولین-۱ و کورتیزول در مقایسه با مقادیر پیش از ورزش شد ($P < 0.05$). نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه نیز بین میانگین سطح سرمی هورمون رشد، عامل رشد شبه‌انسولین-۱ و کورتیزول سه گروه، پس از یک جلسه ورزش، تفاوت معناداری نشان داد ($P < 0.05$). به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که یک جلسه تمرین روی نوارگردان همراه با محدودیت جریان خون می‌تواند باعث افزایش بیشتر هورمون‌های کاتابولیک - آنابولیک در دختران جوان غیرفعال شود، از این رو به لحاظ کاربردی به نظر می‌رسد محدود شدن جریان خون در تمرین راه رفتن روی نوارگردان، خود عامل مهمی در ایجاد پاسخ‌های حاد هورمونی است و محدودیت اجرایی کمتری در مقایسه با تمرینات قدرتی با شدت بالا دارد و در عین حال، اهدافی را که از تمرینات با شدت بالا انتظار می‌رود، برآورده می‌کند و برای طیف وسیع‌تری از مردم، از جمله افراد غیرفعال، ضعیف، بیمار و مسن قابل اجراست.

واژگان کلیدی: محدودیت جریان خون، هورمون رشد، عامل رشد شبه‌انسولین-۱، کورتیزول

E-mail: faezeh.naserkhani@yahoo.com

*نویسنده مسئول

مقدمه

ورزش و تمرین‌های مربوط به تناسب اندام، به سرعت در حال تکامل است و با توسعه گرایش‌های ورزشی جدید همراه است (۱). یکی از دلایلی که ورزشکاران رقابتی و همچنین افرادی که به صورت تفریحی ورزش می‌کنند، از عوامل بهینه در طول دوره تمرین بهره می‌برند، ارتقای سطح عملکرد ورزشکار است. از این رو شناسایی شیوه‌های تمرینی جدید و مؤثر، همواره مورد توجه محققان علوم ورزشی بوده و هست. تمرین ورزشی با محدود کردن جریان خون^۱ (BFR)، معروف به «تمرین کاتسو»^۲ - که برای اولین بار در کشور ژاپن، به عنوان یک تمرین ورزشی متداول در اختیار عموم مردم قرار گرفت - از جمله این ورزش‌های جدید به شمار می‌آید (۲). ویژگی مهم «محدود کردن جریان خون در عضو» این است که همراه با ورزش با شدت پایین می‌تواند باعث افزایش قابل ملاحظه توده و قدرت عضلانی شود. در تمرینات ورزشی BFR، کاهش جریان خون منجر به کاهش جریان اکسیژن می‌شود؛ بنابراین در این تمرین‌ها نیروی تولیدشده توسط تارهای عضلانی تندانقباض، نقش مهمی در افزایش قدرت و هایپرتروفی^۳ عضلانی دارد. به عبارت دیگر در تمرین‌های با محدودیت جریان خون، تارهایی که پتانسیل بیشتری برای افزایش رشد عضله دارند (تارهای تندانقباض) و منبع اصلی توان و قدرت عضلانی به حساب می‌آیند، فراخوانده می‌شوند (۳). نتایج برخی تحقیقات نشان داد که در تمرین‌های BFR - در مقایسه با شرایطی که مسیر جریان خون محدود نیست - میزان گلیکوژنولیز تا حد قابل توجهی افزایش می‌یابد و کراتین فسفات در بافت‌های نوع I نیز به شکل محسوسی کاسته می‌شود؛ به علاوه میزان رشد سلول‌های عضلانی به فعالیت برخی هورمون‌ها از جمله هورمون رشد^۴ (GH)، انسولین، عامل رشد شبه‌انسولین-۱^۵ (IGF-1) و هورمون‌های جنسی استروئیدی نیز وابسته است (۴). نتایج پژوهش‌ها در خصوص پاسخ هورمونی حاد به تمرینات BFR نشان می‌دهد هورمون‌های آنابولیک، نظیر هورمون رشد که در رشد و شکل‌گیری مجدد بافت بسیار مهم و حیاتی است، حین و بعد از این تمرین‌ها افزایش

1. Blood Flow Restricted

2. Kaatsu

3. Hypertrophy

4. Growth Hormone

5. Insulin-like Growth Factor 1

6. Somatomedin C

می‌بایند. این هورمون‌ها در افزایش سنتز پروتئین نقش مهمی دارند؛ بنابراین، بهبود برخی عوامل آمادگی جسمانی در افراد نوجوان، به افزایش سطح این هورمون‌ها نسبت داده می‌شود (۵).

هورمون رشد یکی از مهم‌ترین هورمون‌های بدن است که همراه با گروهی از هورمون‌های دیگر بر متابولیسم اثر می‌گذارد و برای حفظ وزن بدن و پروتئین‌سازی در افراد بالغ، لازم و ضروری است. گزارش شده که رشد طبیعی، رابطه مستقیم با غلظت پلاسمایی سوماتومدین- C^1 یا IGF-1 دارد (۶). ترشح GH و IGF-1 بر افزایش اندازه عضله‌ها مؤثرند و رابطه مستقیمی بین میزان غلظت این هورمون‌ها و افزایش قدرت و اندازه عضلات مشاهده شده است (۷). مطالعات متعددی در ارتباط با تأثیر هورمون رشد بر افزایش قدرت بیشینه و افزایش اندازه عضله‌ها صورت گرفته است که در بیشتر آنها رابطه مستقیمی بین میزان غلظت این هورمون و افزایش قدرت و اندازه عضله‌ها مشاهده شده است. هورمون رشد، پروتئین‌سازی را در افراد بالغ تسهیل می‌کند. این عمل با انتقال اسید آمینه از طریق غشای سلول انجام می‌گیرد و منجر به تحریک افزایش تولید و به فعالیت واداشتن ریبوزوم‌های سلولی می‌شود (۶).

هورمون IGF-1 دیگر متغیر وابسته به اندازه سلول عضلانی است. دستگاه IGF مجموعه‌ای از پپتیدها و پروتئین‌های هم‌خانواده است که نقش محوری در رشد و متابولیسم بازی می‌کند. IGF-1 به عنوان مهم‌ترین عضو این خانواده، اثرات رشد قوی را بر بافت عضلانی و استخوانی اعمال می‌کند (۸). شواهد پژوهشی نشان می‌دهد که یک ارتباط تنظیمی - بازخوردی بین هورمون رشد و دستگاه IGF-1 وجود دارد که به موجب آن، ترشح هورمون رشد، تولید کبدی IGF-1 را افزایش می‌دهد. IGF-1 علاوه بر این اثرات ویژه، برخی از اعمال GH را - به‌ویژه در بافت عضله و استخوان - میانجی‌گری می‌کند و سطوح IGF-1 در گردش به صورت بازخورد منفی ترشح GH را متوقف می‌کنند (۹). محققان معتقدند GH به طور غیرمستقیم در تحریک رشد شرکت می‌کند. بدین ترتیب که GH باعث می‌شود کبد (و به میزان بسیار کمتر سایر بافت‌ها) چند پروتئین کوچک موسوم به سوماتومدین بسازد که تأثیری بسیار قوی در افزایش جنبه‌های رشدی بافت‌ها دارد. GH از طریق جریان خون به کبد و دیگر بافت‌های محیطی می‌رود و در آنجا IGF-1 تولید می‌شود. این هورمون آثار آنابولیک دارد و موجب رشد بافتی می‌شود (۸). کورتیزول، هورمونی کاتابولیک و مهم‌ترین هورمون ضداسترس در بدن است؛ اما افزایش آن در طولانی‌مدت سبب بروز مشکلاتی می‌شود که مهم‌ترین آنها مشکلات مربوط به

دستگاه ایمنی و تخریب پروتئین است. نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که تغییرات کورتیزول، به شدت و مدت تمرین بستگی دارد (۱۰). ترکیب شدت، حجم و تکرار تمرین برای سازگاری‌های عملکردی و مورفولوژیکی، به منظور حفظ و توسعه توده عضلانی، پیشنهاد شده است (۱۱). اهمیت سازگاری حاصل از تمرین، علی‌رغم وابستگی به تجربه تمرینی فرد و سطح تناسب اندام فیزیکی، متناسب با محرک تمرین است. بر اساس گزارش‌های یک پژوهش، حداقل شدت لازم برای افزایش حجم عضله و قدرت، بیش از ۶۵٪ یک تکرار بیشینه^۱ (IRM) است و تمرین با شدت کمتر ۶۵٪ از IRM، به ندرت حجم و قدرت عضلانی را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد.

علی‌رغم توصیه‌های فراوان برای انجام تمرین‌های مقاومتی با شدت بالا (بیشتر از ۶۵٪ درصد IRM) برای پیش‌گیری از کاهش توده عضلانی در برنامه‌های مربوط به کاهش وزن مرتبط با سلامتی، این تمرین‌ها با عوارض متعددی از قبیل آسیب‌های بافتی و مفصلی، التهاب (تورم) و کاهش کامپلیانس شریان مرکزی همراهند (۱۱) و این یعنی تمرین‌های مقاومتی با شدت بالا برای بعضی‌ها، به‌ویژه سالمندان و بیماران قلبی - عروقی، محدودیت‌های اجرایی دارد؛ از این رو برای توسعه روش‌های ایمن‌تر و مؤثرتر و افزایش حجم عضله در طیف گسترده‌ای از افراد (مثل بیماران و سالمندان)، می‌توان از تمرین مقاومتی شدت پایین (۲۰ تا ۵۰٪ از IRM) به همراه جریان خونی وریدی محدود شده از عضله فعال (تمرین مقاومتی BFR) که کاربرد دارد استفاده کرد. شواهد معتبری وجود دارد دال بر اینکه میزان هایپرتروفی و افزایش قدرت عضلانی پس از تمرینات مقاومتی BFR با شدت تقریباً ۲۰٪ IRM و تمرین‌های مقاومتی شدید (با شدت تقریبی ۸۰ درصد IRM) اما بدون محدودیت، در جریان خون مشابه است (۱۲). اگرچه مکانیسم فیزیولوژیکی بهبود رشد عضله در ورزش کم‌شدت همراه با BFR به طور کامل شناخته نشده است، این احتمال وجود دارد که تورم شدید سلولی، ساخت پروتئین را تحریک می‌کند و مانع پروتئولیز می‌گردد (۱۳).

اخیراً در بررسی تأثیر شدت‌های مختلف تمرین BFR، راه رفتن به عنوان تمرینی با شدت پایین‌تر از تمرین‌های مقاومتی مورد توجه قرار گرفته است و مفهوم تمرین BFR با فعالیتی متداول‌تر مانند راه رفتن در هم آمیخته شده است. نتایج مطالعات نشان داد که تمرینات BFR حتی با شدت کمتر از ۲۰٪ IRM مانند راه رفتن، می‌توانند سنتز پروتئین عضله را افزایش

1. Repetition Maximum

دهند و هدف پستانداری راپامایسن کمپلکس^۱ (mTORC1) و پیامدهای آنابولیکی با واسطه پروتئین فعال شده توسط میتوزن^۲ (MAPK) را تحریک کند (۱۴). MAPK یک عامل احتمالی در تحریک هایپرتروفی عضله توسط این تمرینات است که می‌تواند با افزایش فشار متابولیکی داخل عضله مانند تخلیه فسفو کراتین عضله، افزایش هورمون رشد، افزایش فسفات آزاد (غیر آلی) و کاهش PH عضله، باعث افزایش اندازه و متعاقباً قدرت عضلانی گردد (۱۵). به علاوه نتایج پژوهش‌ها نشان داد راه رفتن با محدودیت جریان خون، همچنین می‌تواند باعث حفظ و یا افزایش قدرت و اندازه توده عضلانی شود (۱۶). در این راستا، تاکارادا^۳ و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که تمرینات مقاومتی شدت پایین با محدودیت جریان خون و همچنین راه رفتن با محدودیت جریان خون، به طور چشم‌گیری منجر به هایپرتروفی عضله و افزایش قدرت عضلانی در مقایسه با تمرینات با شدت بالا و بدون محدودیت عروق شد (۱۷). بر اساس شواهد پژوهشی موجود، ده هفته تمرین راه رفتن BFR میزان پذیرش سرخرگ کاروتید را بهبود می‌بخشد و باعث افزایش اندازه عضله ران در افراد بزرگسال می‌شود؛ اگرچه فرایند تأثیر تمرینات ورزشی کم‌شدت همراه با BFR بر روی میزان پذیرش سرخرگ کاروتید، هنوز به طور کامل شناخته نشده است (۱۸). نتایج پژوهش‌ها در زمینه تأثیر تمرین‌های خیلی کم‌شدت BFR بر سطوح هورمونی نشان داد که یک دوره تمرین پیاده‌روی BFR حتی با وجود بسیار پایین بودن شدت تمرین (۰/۵ متر در دقیقه) غلظت GH سرمی را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد (۱۹). این یافته با نتایج مطالعه تاکارادا و همکاران (۲۰۰۴) که افزایش غلظت گردشی GH را پس از تمرین مقاومتی BFR نشان داد، مطابقت دارد (۱۷). از این رو، تمرین پیاده‌روی BFR را می‌توان یک روش بالقوه مفید برای بهبود رشد عضله دانست که برای طیف وسیع‌تری از مردم، از جمله افراد ضعیف، بیمار و مسن قابل اجراست. از طرفی به دلیل ماهیت تمرین‌های BFR، ورزشکاران پرورش اندام، وزنه‌برداران و دیگر ورزشکاران رقابتی و دانشجویان، به‌ویژه در فصل مسابقات که زمان کمتری برای رسیدن به آمادگی عضلانی دارند، این نوع تمرینات با شدت پایین و در زمان کوتاه، با تغییر در سطوح هورمونی و متعاقب آن افزایش حجم و قدرت عضله، می‌توانند مفید باشند و باعث افزایش رشد و قدرت قابل توجه عضله و در نتیجه افزایش سطح عملکرد شوند. کاهش قدرت و توده عضلانی، عاملی خطرزا برای ابتلا به پوکی استخوان، اختلال

-
1. Mammalian Target Of Rapamycin Complex 1
 2. Mitogen-Activated Protein Kinase
 3. Takarada

در راه رفتن و افتادن است؛ چنین پیامدهایی بیانگر فواید بالقوه این نوع تمرینات هستند (۲۰). این در حالی است که بر اساس مطالعات محقق، تا کنون تمرکز تحقیقات انجام گرفته، اغلب بر تمرینات مقاومتی، به ویژه در مردان بوده است و از آنجا که زنان برای ابتلا به برخی بیماری‌های وابسته به طول عمر و سالمندی، حساس‌تر و مستعدتر از مردان هستند، لزوم تحقیقات داخلی در این زمینه بر روی زنان احساس می‌شود. از این رو پژوهش حاضر با بررسی تأثیر یک جلسه تمرین روی نوارگردان با محدودیت جریان خون، با شدتی معادل دو مایل بر ساعت (این شدت تمرین تقریباً معادل شدت فعالیت روزانه است و برای افراد با ویژگی‌های جسمانی متفاوت، قابل تحمل است)، بر سطح سرمی هورمون رشد، IGF-1 و کورتیزول در دانشجویان دختر غیرفعال در صدد پاسخ به این پرسش‌هاست که آیا محدود شدن جریان خون می‌تواند به عنوان یک محرک در تغییر سطح سرمی هورمون‌های آنابولیک - کاتابولیک پس از یک جلسه ورزش پیاده‌روی کم‌شدت BFR عمل کند؟ و اینکه آیا محدود شدن جریان خون می‌تواند جایگزین شدت بالای تمرینات مقاومتی گردد؟

روش‌شناسی

روش تحقیق حاضر از نوع نیمه‌تجربی و طرح تحقیق از نوع پیش‌آزمون - پس‌آزمون با گروه کنترل است. جامعه آماری تحقیق حاضر، دانشجویان دختر غیرفعال دانشگاه شاهرود بودند. شرایط حضور در تحقیق، نداشتن سابقه فشار خون بالا، اضافه‌وزن و سایر عوامل خطرناک بیماری‌های قلبی - عروقی به تشخیص پزشک متخصص و بر اساس مدارک پزشکی بود. همچنین آزمودنی‌ها حداقل شش ماه قبل از شروع تحقیق، به صورت منظم در تمرینات مقاومتی شرکت نداشته‌اند (۲۱). بر این اساس، پس از بررسی سوابق پزشکی، سی نفر که داوطلب شرکت در تحقیق حاضر بودند، به عنوان نمونه آماری انتخاب شدند. در ابتدا آزمودنی‌ها با نوع طرح، اهداف و روش اجرای آن به طور کتبی و شفاهی آشنا شدند. به آزمودنی‌ها اطمینان داده شد که اطلاعات دریافتی از آنها کاملاً محرمانه خواهد ماند. همچنین به آنها اجازه داده شد تا در صورت تمایل نداشتن به ادامه همکاری، در هر مرحله از تمرین انصراف دهند. در تحقیق حاضر اصول مندرج در اعلامیه هلسینکی و ضوابط اخلاق پزشکی به طور کامل رعایت شد و از آزمودنی‌ها فرم رضایت‌نامه آگاهانه گرفته شد. یک هفته پیش از آغاز تحقیق، شرکت‌کنندگان با دستگاه نوارگردان، تورنیکت و چگونگی نحوه اجرای برنامه ورزشی، سرعت پیاده‌روی و فشار تمرین آشنا شدند. پیش از شروع برنامه ورزشی و پس از تکمیل و

دریافت پرسشنامه‌های اطلاعات شخصی، سوابق پزشکی و ورزشی، در چند جلسه اندازه‌های آنتروپومتریک شامل سن، قد، وزن و نمایه توده بدن (BMI) و دور ران اندازه‌گیری شد. همچنین قبل از اجرای برنامه ورزشی، برای تعیین غلظت سرمی هورمون‌های IGF-1، GH و کورتیزول، نمونه‌های خونی از آزمودنی‌ها گرفته شد. سپس آزمودنی‌ها به طور تصادفی به سه گروه تقسیم شدند: ۱. تمرین روی نوارگردان با BFR (۱۰ نفر)، ۲. تمرین روی نوارگردان بدون BFR (۱۰ نفر) و ۳. BFR و بدون ورزش (۱۰ نفر). پس از گرفتن مجوز از رئیس بیمارستان امام حسین^(ع) شهر شاهرود و هماهنگی با واحدهای پزشکی هسته‌ای، اتاق عمل (برای خروج دستگاه تورنیکت از اتاق عمل و انتقال آن به واحد پزشکی هسته‌ای) و آزمایشگاه، دانشجویان برای اجرای برنامه ورزشی به بیمارستان منتقل شدند. نمونه‌های خونی قبل از ورزش ساعت هشت صبح، پس از دوازده ساعت ناشتایی گرفته شد. در خون‌گیری مرحله اول، از آزمودنی‌ها خواسته شد ۲۴ ساعت قبل از آزمایش خون از انجام هر نوع فعالیت ورزشی خودداری کنند. خون‌گیری مرحله دوم بلافاصله پس از جلسه ورزش انجام گرفت. در هر مرحله خون‌گیری، از هر آزمودنی پنج میلی‌لیتر خون در وضعیت نشسته از سیاهرگ بازویی توسط متخصص آزمایشگاه گرفته شد و به مدت پانزده دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ شد. تا زمان انجام آزمایش، سرم‌های جدا شده در دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سطح سرمی هورمون رشد و کورتیزول با کیت هورمونی مخصوص انسان، ساخت شرکت Monobind, Inc از کشور آمریکا و کیت IGF-1 مخصوص انسان، ساخت شرکت immunodiagnostic system کشور آلمان، به روش الایزا اندازه‌گیری شد.

برنامه ورزش راه‌رفتن با BFR، شامل پنج مرحله دودقیقه‌ای راه‌رفتن بر روی نوارگردان با سرعت دو مایل بر ساعت و یک دقیقه استراحت بین هر مرحله، با محدودیت جریان خون بود. برنامه ورزش راه‌رفتن با BFR در پژوهش حاضر، با تغییرات جزئی از مطالعه اب و همکاران (۲۰۰۵) و رنزی و همکاران (۲۰۱۰) گرفته شده است (۱۹ و ۱). گروه راه‌رفتن بدون BFR، همان برنامه ورزشی را بدون محدودیت جریان خون انجام دادند.

روش محدود کردن جریان خون

برای محدود کردن جریان خون از دستگاه تورنیکت جراحی مدل TK101A (ساخت ایران) استفاده شد. میزان کشش دستگاه طوری بود که باعث محدودیت جریان خون وریدی می‌شد. برای اطمینان از محدود شدن جریان خون وریدی و تعیین میزان محدودیت جریان خون، با

دستگاه سونوگرافی عمومی کالر داپلر پزشکی مدل DC-6 MINDREY Co (ساخت کشور چین)، جریان خون چند نفر از آزمودنی‌ها با حجم ران و فنوتیپ متفاوت، سنجیده شد. ارزیابی توسط سونوگرافی داپلر، پس از ده دقیقه استراحت (به منظور برقراری تعادل در سیستم گردش خون) در وضعیت ناشتا و به حالت دراز کشیده به پشت صورت گرفت (۲۲). بررسی شریان در وضعیت طولی و در افراد لاغر و دارای جثه کوچک توسط پروب ۵ و در سایر افراد توسط پروب ۳/۵ مگاهرتز انجام شد. سونوگرافی داپلر برای اندازه‌گیری جریان خون و فشار خون به کار گرفته شد. در این سونوگرافی از امواج صوتی با فرکانس بالا (اولتراسوند) استفاده می‌شود تا با گلبول‌های قرمز خون برخورد کنند و پس از بازگشت، آنها را به صورت سونوگرافی داپلر نشان دهند. سونوگرافی داپلر می‌تواند سرعت جریان خون را اندازه‌گیری کند (۲۳). برای اطمینان از سلامتی آزمودنی‌ها، فشار خون قبل و بعد از جلسه ورزش توسط پزشک اندازه‌گیری شد. برای بررسی توزیع داده‌ها از آزمون کلموگراف - اسمیرنف، برای مقایسه تفاوت‌های قبل و بعد از ورزش از آزمون t همبسته و برای مقایسه تفاوت میانگین‌ها در پایان ورزش بین سه گروه، از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه و آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. سطح معناداری در همه آزمون‌ها $p < 0.05$ در نظر گرفته شد و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ استفاده گردید.

نتایج

میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای فیزیولوژیک آزمودنی‌ها قبل و بعد از یک جلسه ورزش راه رفتن روی نوارگردان در جدول شماره ۱ و میانگین و انحراف استاندارد سطح سرمی هورمون رشد، کورتیزول و IGF-1 در گروه‌های تجربی و کنترل، قبل و بعد از یک جلسه ورزش راه رفتن روی نوارگردان در جدول ۲ گزارش شده است.

جدول ۱- مقایسه متغیرهای فیزیولوژیکی آزمودنی‌ها در گروه‌های مختلف قبل و بعد از یک جلسه ورزش

| گروه‌ها متغیرها | گروه ورزش با BFR (تعداد=۱۰) | | گروه ورزش بدون BFR (تعداد=۱۰) | | گروه کنترل (تعداد=۱۰) | |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------|-----------------------|--------------|
| | پیش‌آزمون | پس‌آزمون | پیش‌آزمون | پس‌آزمون | پیش‌آزمون | پس‌آزمون |
| فشارخون سیستولیک (mm.Hg) | ۱۰۱/۳۰±۶/۷۶ ^{‡‡} | ۱۱۷/۹۰±۹/۰۱ ^{†*} | ۱۰۲/۲۰±۱۰/۰۸ ^{‡‡} | ۱۰۴/۶۰±۸/۸۸ | ۱۰۹/۱۰±۵/۴۶ | ۱۰۷/۲۰±۱۰/۰۲ |
| فشارخون دیاستولیک (mm.Hg) | ۷۴/۸۰±۷/۹۱ | ۷۵/۷۰±۷/۷۴ | ۷۷/۴۰±۸/۱۵ | ۷۶/۱۰±۹/۳۲ | ۷۱/۵۰±۵/۷۹ | ۷۲/۹۰±۴/۳۵ |

^{‡‡} تفاوت معنادار بین گروه‌ها قبل و بعد از ورزش ($P < 0.01$)

^{*} تفاوت معنادار بین گروه BFR با گروه کنترل بعد از ورزش ($P < 0.05$)

[†] تفاوت معنادار بین گروه BFR با گروه بدون BFR بعد از ورزش ($P < 0.05$)

تحلیل داده‌ها نشان داد بین فشار خون سیستولیک ($P=0.03$) سه گروه در پایان مطالعه، تفاوت معناداری وجود دارد. بین فشار خون سیستولیک گروه راه‌رفتن روی نوارگردان BFR با گروه بدون BFR ($P=0.01$) و کنترل ($P=0.04$)، اختلاف معناداری مشاهده شد؛ اما تفاوت بین فشار خون سیستولیک گروه راه‌رفتن بدون BFR با کنترل ($P=0.80$) به لحاظ آماری معنادار نبود. نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه نشان داد پس از یک جلسه ورزش، بین فشار خون دیاستولیک گروه‌های مورد مطالعه اختلاف معناداری مشاهده نشد ($P=0.58$) (جدول ۱).

بر اساس اطلاعات جدول ۲، در ابتدای مطالعه و پیش از اجرای برنامه ورزشی، تفاوت معناداری بین سطح سرمی هورمون GH، کورتیزول و IGF-1 آزمودنی‌ها مشاهده نشد ($P>0.05$). تحلیل داده‌ها نشان داد سطح سرمی هورمون GH و کورتیزول در هر دو گروه راه‌رفتن روی نوارگردان با و بدون BFR در مقایسه با مقادیر قبل از ورزش، به طور معناداری افزایش یافت، این در حالی است که مقدار IGF-1 فقط در گروه تمرین BFR در مقایسه با پیش از تمرین، معنادار بود ($P<0.05$) (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین سطح سرمی هورمون‌های رشد، کورتیزول و IGF-1 در گروه‌های مختلف قبل و بعد از ورزش

| گروه‌ها متغیرها | گروه ورزش با BFR (تعداد=۱۰) | گروه ورزش بدون BFR (تعداد=۱۰) | گروه ورزش با BFR (تعداد=۱۰) | گروه ورزش بدون BFR (تعداد=۱۰) |
|---------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| | پیش‌آزمون | پس‌آزمون | پیش‌آزمون | پس‌آزمون |
| GH (ng/ml) | ۱۰/۶±۰/۲۲* | ۳/۰۱±۰/۷۷ | ۱/۳۱±۰/۲۵ | ۱/۱۰±۰/۱۹ |
| IGF-1 (ng/ml) | ۲۳۰/۵۰±۱۵/۰۲* | ۲۴۶/۲۵±۱۷/۸۰ | ۲۳۰/۶۰±۹/۶۸ | ۲۲۵/۴۵±۱۱/۶۲ |
| کورتیزول (ng/ml) | ۲۳۶/۷۰±۴/۳۹** | ۲۷۰/۴۰±۶/۶۰ | ۲۶۷/۴۰±۵/۴۶ | ۲۴۲/۴۰±۱۰/۲۱ |

* تفاوت معنادار قبل و بعد از ورزش در گروه‌های مختلف ($p < 0/05$)

** تفاوت معنادار قبل و بعد از ورزش در گروه‌های مختلف ($p < 0/01$)

نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین میانگین سطح سرمی GH، IGF-1 و کورتیزول سه گروه، پس از یک جلسه ورزش، تفاوت معناداری مشاهده شد ($P < 0/05$). نتایج حاصل از آزمون تعقیبی توکی که در جدول ۳ گزارش شده است، نشان داد پس از یک جلسه ورزش، بین سطح سرمی هورمون GH گروه BFR با گروه بدون BFR ($P = 0/001$) و گروه کنترل ($P = 0/001$) اختلاف معناداری مشاهده شد. این در حالی است که تفاوت بین سطح سرمی هورمون GH گروه راه رفتن روی نوارگردان، بدون BFR و گروه کنترل به لحاظ آماری معنادار نبود ($P = 0/58$). به علاوه بین سطح سرمی هورمون IGF-1 گروه BFR با گروه راه رفتن روی نوارگردان بدون BFR ($P = 0/03$) و گروه کنترل ($P = 0/005$) اختلاف معناداری مشاهده شد؛ اما تفاوت بین سطح سرمی IGF-1 گروه راه رفتن روی نوارگردان بدون BFR و کنترل، به لحاظ آماری معنادار نبود ($P = 0/67$). تحلیل داده‌ها همچنین نشان داد پس از یک جلسه ورزش، بین میانگین سطح سرمی کورتیزول گروه راه رفتن روی نوارگردان با BFR و گروه راه رفتن روی نوارگردان بدون BFR با گروه کنترل، اختلاف معناداری مشاهده شد ($P < 0/01$)؛ در حالی که تفاوت بین سطح سرمی کورتیزول در دو گروه تمرین، معنادار نبود ($P = 0/66$).

جدول ۳- مقایسه میانگین سطح سرمی هورمون‌های رشد، کورتیزول و IGF-1 بین سه گروه پس از یک جلسه ورزش

| گروه‌ها متغیرها | گروه ورزش با BFR (تعداد=۱۰) | گروه ورزش بدون BFR (تعداد=۱۰) | گروه کنترل (تعداد=۱۰) |
|------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| GH (ng/ml) | ۲۰۰/۷۷ ± ۳۰/۱۱ ††* | ۱۳۱ ± ۲۵/۰ | ۱۱۹ ± ۱۰/۱ |
| IGF-1 (ng/ml) | ۱۷/۸۰ ± ۲۴۶/۲۵ ††* | ۲۳۰/۶۰ ± ۹/۶۸ | ۲۲۵/۴۵ ± ۱۱/۶۲ |
| کورتیزول (ng/ml) | ۲۷۰/۴۰ ± ۶/۶۰ †† | ۲۶۷/۴۰ ± ۵/۴۶ †† | ۲۴۲/۴۰ ± ۱۰/۲۱ |

* تفاوت معنادار بین گروه BFR و گروه بدون BFR بعد از ورزش ($p < 0.05$)
 ** تفاوت معنادار بین گروه BFR با گروه بدون BFR بعد از ورزش ($p < 0.01$)
 † تفاوت معنادار بین گروه BFR با گروه کنترل بعد از ورزش ($p < 0.05$)
 †† تفاوت معنادار بین گروه BFR با گروه کنترل بعد از ورزش ($p < 0.01$)
 ††† تفاوت معنادار بین گروه بدون BFR با گروه کنترل بعد از ورزش ($p < 0.01$)

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که یک جلسه راهرفتن روی نوارگردان با محدودیت جریان خون، باعث افزایش معنادار مقادیر هورمون‌های GH، IGF-1 و کورتیزول دختران جوان در مقایسه با مقادیر پیش از ورزش شد؛ به علاوه پس از یک جلسه ورزش، بین سطح سرمی هورمون GH گروه راهرفتن روی نوارگردان با BFR با گروه بدون BFR و گروه کنترل، اختلاف معناداری مشاهده شد. این در حالی است که تفاوت بین سطح سرمی هورمون GH در گروه بدون BFR و گروه کنترل، به لحاظ آماری معنادار نبود. به بیان دیگر، محدود کردن جریان خون، عامل مهمی در افزایش سطح سرمی GH است؛ زیرا با وجود پایین بودن قابل توجه شدت تمرین در گروهی که با محدودیت جریان خون مواجه شدند، میزان افزایش بعد از یک جلسه راهرفتن، بیشتر از گروه راهرفتن بدون محدودیت جریان خون بود. ترشح GH پس از ورزش، به عواملی مانند ویژگی‌های برنامه‌ی تمرینی (به‌ویژه شدت تمرین)، نیازهای متابولیک و هیپوکسی بستگی دارد (۲۴). از طرفی GH تنظیم‌کننده مثبت تکثیر سلول‌های عضلانی و کبدی است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که تزریق با GH با افزایش سنتز پروتئین و کاهش تجزیه پروتئین همراه است. اگرچه مسیرهای پیام‌دهی درگیر در تحریک سنتز پروتئین‌های عضله توسط GH، هنوز به طور کامل شناخته نشده است، اما نشان داده شده که GH مسیرهای فسفاتیدیل

اینوزیتول-۳-کیناز^۱ (PI3K) و کیناز اریبوزومی S6 (S6K1) را در فیبروبلاست‌های 3T3 فعال می‌کند. مسیر پیام‌دهی mTOR نیز نقش مهمی در تحریک سنتز پروتئین‌های عضله پس از تمرین BFR دارد. فعال‌شدن آبشاری S6K1، مسئول مرحله اول ترجمه بیان ژن و افزایش سنتز پروتئین‌های عضله و هایپرتروفی عضلانی است. در این راستا نتایج مطالعات نشان داده‌اند که پیاده‌روی BFR فسفوریلاسیون پروتئین‌های مختلف را که هم در هدف مکانیزمی راپامایسین (mTOR) و هم در میتوژن فعال‌کننده پروتئین کیناز (MPAK) نقش دارند T علامت‌دهی می‌کند که خود می‌تواند باعث تحریک ترشح هورمون‌های آنابولیک مانند GH شود (۱۹،۲۵). به علاوه، مطالعات نشان می‌دهد پیاده‌روی همراه با BFR به صورت قابل‌توجهی سطح فسفوریلاسیون سیگنال تنظیم‌کننده کیناز خارج‌سلولی (ERK1/2) و سطح فسفوریلاسیون P38 را افزایش می‌دهد (۲۵)؛ ERK پروتئینی است که نسبت به محیط خارج‌سلولی حساس است و آن را کیناز وابسته به محیط برون‌سلولی می‌نامند. پیاده‌روی همراه با BFR مسیر ERK کیناز - که یک مسیر کلیدی از مسیرهای پیام‌رسانی سلولی است و منجر به فعال‌سازی بیان ژن‌های تقسیم سلولی می‌شود - و مسیر آبشار کیناز را به راه می‌اندازد که خود می‌تواند منجر به هایپرتروفی عضلانی گردد؛ به نظر می‌رسد فعال شدن Erk1/2 علاوه بر شدت ورزش، به تعداد انقباضات صورت گرفته در حین ورزش نیز حساس باشد. بنابراین، با در نظر گرفتن اینکه فسفوریلاسیون Erk1/2 با افزایش شدت ورزش و تعداد انقباض‌های عضلات اسکلتی، افزایش پیدا کند، معقول است که افزایش کمتر در پژوهش حاضر، به دلیل حالت ورزش باشد (۲۵). افزایش سطح GH در تحقیق حاضر با نتایج تحقیق اوزاکی^۲ و همکاران (۲۰۱۴)، مانینی^۳ و همکاران (۲۰۱۲)، اب^۴ و همکاران (۲۰۰۵)، تانی‌موتو^۵ و همکاران (۲۰۰۵) و محمدی^۶ و همکاران (۱۳۹۳) همخوانی دارد (۲۸-۱۲،۲۵). این در حالی است که میزان افزایش سطح GH پس از تمرین کم‌شدت BFR تک‌جلسه‌ای در تحقیق کیم^۷ و همکاران (۲۰۱۴)، که بر روی

-
1. Phosphatidylinositol 3-kinase
 2. Ozaki
 3. Manini
 4. Abe
 5. Tanimoto
 6. Mohamadi
 7. Kim

زنان جوان انجام شد، کمی بیشتر از تحقیق حاضر بود. آنها دریافتند که سطح سرمی GH پس از یک جلسه تمرین مقاومتی کم‌شدت BFR سه برابر در مقایسه با زمان پیش از تمرین افزایش یافت (۲۹). همچنین تاکارادا و همکاران (۲۰۰۰) به این نتیجه رسیدند که میزان GH تا ۲۹۰ برابر پس از یک جلسه تمرین مقاومتی کم‌شدت BFR افزایش می‌یابد (۳۰)؛ به علاوه، نتایج مطالعه اوزاکی و همکاران (۲۰۱۴) نیز نشان داد که پیاده‌روی همراه با BFR میزان GH را پنج برابر بیشتر از حالت استراحت افزایش می‌دهد و این مقدار در مقایسه با مطالعات پیشین در مورد پیاده‌روی BFR برای مردان جوان، بالاتر بود (۲۵). در برخی پژوهش‌های انجام‌شده، میزان افزایش سطح GH پس از تمرینات BFR بسیار زیاد گزارش شده است. از آنجا که شدت تمرین در تحقیقاتی که نتایج متفاوتی در میزان افزایش GH گزارش کردند، تقریباً مشابه بود، احتمالاً میزان فشار شریان‌بند، دلیل اصلی تفاوت مطالعات مختلف است. دلیل اصلی افزایش GH پس از راه رفتن BFR هنوز به طور کامل شناخته نشده است. اما تحریک بیشتر اعصاب محیطی آوران، به‌ویژه اعصاب محیطی تارهای عضلانی تندانقباض - که در طول این تمرینات به کار گرفته می‌شوند (۳) - می‌تواند یکی از دلایل افزایش GH پس از راه رفتن کم‌شدت BFR باشد (۲۵). از آنجا که برخی عوامل بی‌هوازی مانند افزایش تجمع متابولیت‌ها (اسید لاکتیک، ADP و غیره) و ایسکمی (ذخیره پایین اکسیژن در عضلات اسکلتی)، موجب تغییرات میزان آتش‌بار واحدهای حرکتی می‌شوند - که با به‌کارگیری الگوهای باعث افزایش سازگاری‌های عصبی عضلانی و تحریک اعصاب محیطی آوران می‌شوند (۳،۲۵) - به نظر می‌رسد که افزایش گلیکولیز بی‌هوازی نیز در تمرین BFR دلیلی بر افزایش سطح GH باشد؛ اگرچه استفاده از محدودیت جریان خون در حین پیاده‌روی نیز با افزایش اندک متابولیت‌ها همراه است، با این حال می‌تواند منجر به سازگاری‌های چشم‌گیر و معناداری شود (۲۰،۲۵). در تحقیق حاضر، عوامل متابولیکی اندازه‌گیری نشده‌اند، که می‌تواند به عنوان یکی از محدودیت‌های تحقیق در نظر گرفته شود.

یکی از اعمال اصلی GH تحریک رهاسازی IGF-1 از کبد و بیان ژن IGF-1Ea و فاکتور رشدی مکان (MGF) از عضله اسکلتی است (۹). در خصوص پاسخ IGF-1 به تمرین BFR ابهاماتی وجود دارد. بر اساس شواهد پژوهشی موجود، مکانیسم پاسخ IGF-1 در گردش به تمرین مقاومتی کم‌شدت BFR در مطالعات مختلف، متفاوت است. تاکانو و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که سطح IGF-1 در گردش به طور حاد، بلافاصله پس از تمرین مقاومتی کم‌شدت

BFR در مردان جوان، ۱۰ تا ۳۰ برابر افزایش می‌یابد (۲۴). این در حالی است که در مطالعه‌ای دیگر، ۴۰ دقیقه پس از برنامه تمرینی مشابه برنامه تاناکو و همکاران، افزایشی در سطح IGF-1 در گردش مشاهده نکردند. افزایش در سطوح سرمی IGF-1 و GH در زمان‌های متفاوتی پس از تمرین اتفاق می‌افتد (۳۱). در تحقیق حاضر، بین سطح سرمی IGF-1 گروه راه‌رفتن روی نوارگردان با BFR با گروه راه‌رفتن روی نوارگردان بدون BFR و گروه کنترل، اختلاف معناداری مشاهده شد؛ در حالی که تفاوت بین سطح سرمی IGF-1 گروه راه‌رفتن روی نوارگردان بدون BFR و کنترل، به لحاظ آماری معنادار نبود. اگرچه GH نیز پس از این نوع تمرینات افزایش می‌یابد، اما شواهدی دال بر اینکه افزایش GH دلیل واقعی افزایش سنتز پروتئین پس از تمرینات BFR است، وجود ندارد. از سوی دیگر IGF-1 تکثیر سلول‌های ماهواره‌ای را تحریک می‌کند و یکی از عملکردهای اولیه پاسخ‌های هورمونی و ایمنی به تمرینات BFR نیز همین فعال‌سازی سلول‌های ماهواره‌ای است. سلول‌های ماهواره‌ای، سلول‌های تک‌هسته‌ای کوچکی در بین غشای پایه و غشای سیتوپلاسمی هستند که در پاسخ به فشار حاصل از تمرینات سنگین یا ضربه در عضله، فعال می‌شوند و میوبلاست‌ها را تشکیل می‌دهند و در نهایت به فیبرهای عضلانی تبدیل می‌شوند. این سلول‌ها به طور طبیعی غیرفعال‌اند و در واکنش به محرک‌های فیزیولوژیکی مثل ورزش و شرایط پاتولوژیکی مانند جراحی یا بیماری، فعال می‌شوند تا میوبلاست‌ها را که قادر به ترکیب و تشخیص هستند، تولید کنند. مطالعات نشان می‌دهند که راه‌رفتن BFR باعث افزایش تعداد سلول‌های ماهواره‌ای و از طریق پیوند سلول‌های ماهواره‌ای به تارهای موجود، باعث افزایش نسبت DNA به حجم سیتوپلاسم و بالا رفتن سنتز پروتئین در تارهای موجود می‌شود. شواهد نشان می‌دهند که در پیاده‌روی BFR فعال‌شدن سلول‌های ماهواره‌ای باعث بیان عوامل میوژنیک مانند میوژنین و میوستاتین می‌شود (۳۲). میوستاتین یک تنظیم‌کننده و محدودکننده رشد سلول‌های عضلانی است. نتایج مطالعات نشان داد میوستاتین از تکثیر سلول‌های ماهواره‌ای جلوگیری می‌کند. بیان ژن میوستاتین در سلول‌های عضلانی به دنبال بارهای مکانیکی و تمرینات BFR کاهش می‌یابد؛ بنابراین، محدود شدن جریان خون از طریق کمبود اکسیژن و تجمع متابولیت‌ها می‌تواند تغییراتی در میوستاتین ایجاد کند که منجر به هایپرتروفی عضلانی گردد (۳۳). در تحقیق حاضر، بیان ژن‌های میوژنیک ارزیابی نشده است؛ اما احتمال دارد احتباس آب و تورم سلولی در حین تمرین بتواند توجهی برای افزایش کم سطح IGF-1 در مقایسه با مطالعات دیگر و افزایش اندک و غیر

معنادار اندازه توده عضلانی باشد. یکی از محدودیت‌های تحقیق حاضر این است که هایپرتروفی عضلانی به طور دقیق اندازه‌گیری نشده است که البته این افزایش کم می‌تواند ناشی از افزایش تجمع آب میان‌بافتی باشد. بر اساس نتایج تحقیقات انجام‌شده، حداقل چهار هفته زمان لازم است تا برخی اشکال هایپرتروفی پس از تمرینات مقاومتی شدید بدون BFR (تقریباً با شدت ۸۰ درصد IRM) اتفاق بیفتد. این در حالی است که نتیجه یک مطالعه موردی نشان داد که یک هفته تمرین کم‌شدت BFR باعث افزایش ۳ درصدی سطح مقطع عضلانی گردید (۳۴).

بر اساس مطالعات انجام‌شده، تمرینات BFR باعث افزایش پاسخ غدد درون‌ریز به تمرین می‌شود (۳۵). نتایج تحقیق حاضر نشان داد پس از یک جلسه ورزش، بین سطح سرمی کورتیزول گروه راه‌رفتن روی نوارگردان با BFR با گروه راه‌رفتن روی نوارگردان بدون BFR با گروه کنترل، اختلاف معناداری مشاهده شد؛ اما تفاوت بین سطح سرمی کورتیزول در دو گروه تمرین، معنادار نبود. گروه راه‌رفتن روی نوارگردان با BFR و گروه راه‌رفتن روی نوارگردان بدون BFR به لحاظ آماری معنادار نبود؛ به بیان دیگر، در تحقیق حاضر، الگوی تغییرات کورتیزول پس از راه‌رفتن روی نوارگردان با BFR و راه‌رفتن روی نوارگردان بدون BFR تقریباً مشابه بوده و محدود شدن جریان خون باعث تغییر الگوی این متغیرها در گروه BFR نشد. سازوکارهای زیادی در بدن وجود دارند که باعث تغییر غلظت هورمون کورتیزول می‌شوند؛ شدت فعالیت ورزشی و فشارهای روانی، یکی از نیرومندترین و تأثیرگذارترین محرک‌ها بر میزان ترشح این هورمون است. همچنین عوامل فیزیولوژیکی و تغییرات شبانه‌روزی و نیز تغییرات وابسته به صرف غذا و دما بر ترشح سطح هورمون کورتیزول از بخش قشری، تأثیرگذار است. به نظر می‌رسد دلیل افزایش غلظت کورتیزول در شرایط استرسی و فشارهای جسمانی، تغییر در نحوه عملکرد محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-آدرنال باشد (۱۰)؛ اما دلیل اصلی افزایش هورمون کورتیزول پس از تمرینات BFR هنوز به طور کامل شناخته نشده است. تغییرات سطح کورتیزول پس از یک جلسه راه‌رفتن روی نوارگردان با BFR در تحقیق حاضر، با نتایج تحقیق مادارام^۱ و همکاران (۲۰۱۰)، فرای^۲ و همکاران (۲۰۱۰) و کیم و همکاران (۲۰۱۴)، محمدی و همکاران (۱۳۹۳) هم‌خوانی دارد. آنها نشان دادند تمرینات مقاومتی BFR باعث افزایش سطح هورمون کورتیزول می‌شود که این با افزایش ناشی از تمرینات مقاومتی با شدت بالا برابری

1. Madarame

2. Fry

می‌کند. محققان بر این باورند که بستن کاف و محدود کردن جریان خون در تمرینات BFR با ایجاد هیپوکسی و اسیدوز و افزایش سطح لاکتات خون، باعث افزایش ترشح هورمون کورتیزول می‌گردد (۳۶،۲۹،۲۸،۱۴). از این رو می‌توان گفت افزایش گلیکولیز بی‌هوازی در تمرین کم‌شدت BFR به دلیل محدود شدن جریان خون و در تمرین شدید بدون BFR به دلیل شدت زیاد تمرین، دلیلی بر افزایش سطح کورتیزول است. کورتیزول به عنوان هورمونی کاتابولیک، لیپولیز در بافت چربی و شکسته شدن پروتئین‌ها را افزایش و سنتز پروتئین‌ها را در سلول‌های عضلانی کاهش می‌دهد و موجب افزایش رهایی چربی‌ها و اسیدهای آمینه به جریان خون می‌شود (۱۰). این هورمون اثر کاتابولیکی بر روی پروتئین‌های میوفیبریل دارد و سنتز پروتئین را مهار می‌کند. علاوه بر این، آثار کاتابولیکی کورتیزول بر فیبرهای عضلانی نوع دوم، بیشتر و بزرگ‌تر از نوع اول است؛ از این رو، تحریک اعصاب محیطی تارهای عضلانی تندانباض در طول تمرین کم‌شدت BFR، می‌تواند یکی دیگر از دلایل افزایش کورتیزول پس از این تمرینات باشد (۳۷). یافته‌های حاصل از این تحقیق با نتایج تحقیق ریویس^۱ و همکاران (۲۰۰۶) و اب و همکاران (۲۰۰۵) که تغییر نکردن هورمون کورتیزول را پس از تمرین مقاومتی کم‌شدت BFR گزارش کرده‌اند، هم‌خوانی ندارد (۱۹،۳۸). از آنجا که شدت تمرین در تحقیقاتی که نتایج متفاوتی در میزان افزایش هورمون کورتیزول گزارش کرده‌اند، تقریباً مشابه است، بنابراین احتمالاً میزان فشار شریان‌بند، دلیل اصلی تفاوت بین مطالعات مختلف است. به طور کلی بر اساس نتایج تحقیق حاضر، اگرچه الگوی تغییر سطح سرمی هورمون‌های کورتیزول، IGF- GH، 1 در هر دو گروه تمرینی مشابه است، در پروتکل‌های کوتاه مدت، تمرین راه‌رفتن کم‌شدت BFR می‌تواند باعث افزایش بیشتر هورمون‌های آنابولیک-کاتابولیک در مقایسه با تمرین راه‌رفتن بدون BFR در زنان جوان شود. از این رو به لحاظ کاربردی، به نظر می‌رسد محدود شدن جریان خون در تمرین راه‌رفتن روی نوارگردان، خود عامل مهمی در ایجاد پاسخ‌های حاد هورمونی است و محدودیت اجرایی کمتری در مقایسه با تمرینات قدرتی با شدت بالا دارد و در عین حال، اهدافی را که از تمرینات با شدت بالا انتظار می‌رود، برآورده می‌سازد و برای طیف وسیع‌تری از مردم، از جمله افراد غیرفعال، ضعیف، بیمار و مسن، قابل اجراست. با این حال، به دلیل محدود بودن تحقیقاتی از این دست، برای درک صحیح و دقیق مکانیسم پاسخ‌های هورمونی به تمرینات BFR تحقیقات گسترده‌تری لازم است.

تشکر و قدردانی: از رئیس و پرسنل محترم بیمارستان امام حسین^(ع) شهر شاهرود، همه دانشجویان ترم اول کارشناسی تربیت‌بدنی دانشگاه شاهرود و خانم دکتر مهدیه مظاهریان و دیگر عزیزانی که در انجام این تحقیق با ما همکاری کردند، کمال تشکر را داریم.

منابع

1. Renzi CP, Tanaka H, Sugawara J. Effects of Leg Blood Flow Restriction during Walking on Cardiovascular Function. *Med Sci Sports Exerc.* 2010; 42(4):726-732.
2. Christopher AF, Loenneke JP, Rossow LM, Thiebaud RS, Bemben MG. Methodological considerations for blood flow restricted resistance exercise. *Journal of Trainology.* 2012; 1(3):14-22.
3. Christopher Raymond BS. High intensity strength training in conjunction with vascular occlusion, for the Degree Master of science.thesis. in Partial Fulfillment of the Requirements:Texas State University-San Marcos; 2013.
4. Kraemer WJ, Staron 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.
5. Brill KT, Weltman AL, Gentili A, Patrie JT, Fryburg DA, Hanks JB, et al. Single and combined effects of growth hormone and testosterone administration on measures of body composition, physical performance, mood, sexual function, bone turnover, and muscle gene expression in healthy older men. *J Clin Endocrinol Metab.* 2002; 87(12):5649-57.
6. ویلمور جک اچ، کاستیل دیوید ال. فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. مترجمان: معینی ضیاء، رحمانی نیا فرهاد، رجیبی حمید، آقا علی نژاد حمید، سلامی فاطمه. چاپ سیزدهم. تهران: انتشارات میتکران؛ ۱۳۸۸. ص ۱۶۷-۱۴۸.
7. Hansen S, Kvorning T, Kjaer M, Sjogaard G. The effect of short-term strength training on human skeletal muscle: the importance of physiologically elevated hormone levels. *Scand J Med Sci Sports.* 2001; 11(6):347-54.
8. Parkhouse WS, Coupland DC, Li C, Vanderhoek KJ. IGF-1 bioavailability is increased by resistance training in older women with low bone mineral density. *Mech Ageing Dev.* 2000; 113(2):75-83.
9. Pavelic J, Matijevic T, Knezevic J. Biological and physiological aspects of action of insulin-like growth factor peptide family. *Indian J Med Res.* 2007; 125(4):511-22.
10. Buono MJ, Yeager JE, Hodgdon JA. Plasma adrenocorticotropin and cortisol responses to brief high-intensity exercise in humans. *J Appl Physiol.* 1985; 61(4):1337-39.
11. Miyachi M, Kawano H, Sugawara J, Takahashi K, Hayashi K, Yamazaki K, et

- al. Unfavorable effects of resistance training on central arterial compliance: a randomized intervention study. *Circulation*. 2004; 110(18):2858-63.
12. Abe T, Yasuda T, Midorikawa T, Sato Y, Kearns CF, Inoue K, et al. Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily "kaatsu" resistance training. *Int J Kaatsu Training Res*. 2005; 1:6-12.
13. Yasuda T, Ogasawara R, Sakamaki M, Ozaki H, Sato Y. Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size. *Eur J Appl Physiol*. 2011; 111(18):2525-33.
14. Fry CS, Glynn EL, Drummond MJ, Timmerman KL, Fujita S, et al. Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. *J Appl Physiol*. 2010; 108:1199-209.
15. Suga T, Okita K, Morita N, et al. Intramuscular metabolism during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *J Appl Physiol*. 2009;106(4):1119-1124.
16. Abe T, Sakamaki M, Fujita S, et al. Effects of low-intensity walk training with restricted leg blood flow on muscle strength and aerobic capacity in older adults. *J Geriatr Phys Ther*. 2010; 33(1):34-40.
17. 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. *J Appl Physiol*. 2004; 54:585-592.
18. Ozaki H, Miyachi M, Nakajima T, Abe T. Effects of 10 weeks walk training with leg blood flow reduction on carotid arterial compliance and muscle size in the elderly adults. *Angiology*. 2011; 62(1):81-86.
19. Abe T, Kearns CF, Sato Y. Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, kaatsu-walk training. *J Appl Physiol*. 2005; 100:1460-1466.
20. Ozaki H, Sakamaki M, Yasuda T, Fujita S, Ogasawara R, Sugaya M, et al. Increases in thigh muscle volume and strength by walk training with leg blood flow reduction in older participants. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2011; 66(3): 257-263.
21. Fleck S, Kraemer WJ. Resistance training and exercise prescription. In: Fleck SJ, Kraemer WJ, Editors. *Designing resistance training programs*. Champaign: Human Kinetics. 2004. 179-181.
22. Moneta GL, Taylor DC, Helton WS, Misson A. Duplex ultrasound measurement of post prandial intestinal blood flow. *Gastroenterology*. 1988; 95:1294-1301.
23. Palmer PES. *Manual of diagnostic ultrasound*. First edition, Geneva WHO. 1995. 49-51.
24. Takano H, Morita T, Iida H, Asada K, Kato M, Uno K, et al. Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *Eur J Appl Physiol*. 2005; 95:65-73.

25. Ozaki H, Kakigi R, Kobayashi H, Loenneke J P, Abe T , Naito H. Effects of walking combined with restricted leg blood flow on mTOR and MAPK signalling in young men. *Acta Physiologica*. 2014; 10:1-9.
26. Manini TM, Yarrow JF, Buford TW, Clark BC, Conover CF, Borst SE. Growth hormone responses to acute resistance exercise with vascular restriction in young and old men. Published by Elsevier Ltd. 2012; 8:167-172.
27. Tanimoto M, Madarame H, Ishii N. Muscle oxygenation and plasma growth hormone concentration during and after resistance exercise: Comparison between "KAATSU" and other types of regimen. *International Journal of KAATSU Training Research*. 2005; 1(2):51-56.
۲۸. محمدی شهرام، مهدی زاده رحیمه، خوشدل علیرضا، میرزایی دیزگاه ایرج. تأثیر تمرین مقاومتی کم شدت با جریان خون محدود شده بر سطح سرمی برخی هورمون‌های مرتبط با قدرت و اندازه عضله در مردان جوان. فصلنامه علمی پژوهشی ابن سینا. ۱۵:۱۳۹۲ (۴):۱۶-۱۱.
29. Kim E, Gregg LD, Kim D, 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; 13(1):91-6.
30. Takarada Y, Takazawa H, Sato Y, Takebayashi S, Tanaka Y, and Ishii N. Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *J Appl Physiol*. 2000; 88(6):2097-2106.
31. Fujita T, Brechue WF, Kurita K. Increased muscle volume and strength following six days of low-intensity resistance training with restricted muscle blood flow. *Int J KAATSU Training Res*. 2008; 4(1):1-8.
32. Kim JS, Cross JM, Bamman MM. Impact of resistance loading on myostatin expression and cell cycle regulation in young and older men and women. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2005; 288:1110-19.
33. Kraemer WJ, Loebel CC, Volek JS, Ratamess NA, Newton RU, Wickham RB, et al. The effect of heavy resistance exercise on the circadian rhythm of salivary testosterone in men. *Eur J Appl Physiol*. 2001 Jan-Feb; 84(1-2):13-18.
34. Abe T, Beekley M, Hinata S, Koizumi K, Sato Y. Day to day change in muscle strength and MRI-measured skeletal muscle size during 7 days kaatsu resistance training: A case study. *Int J Kaatsu training Res*. 2005; 1:71-76.
35. Yasuda T, Abe T, Sato Y, Midorikawa T, Kearns CF, Inoue K, et al. Muscle fibre cross-sectional area is increased after two weeks of twice daily KAATSU resistance training. *Int J Kaatsu Training Res*. 2005; 1:65-70.
36. Madarame H, Sasaki K, Ishii N. Endocrine responses to upper-and lower limb resistance exercises with blood flow restriction. *Acta Physiol Hung*. 2010; 97:192-200.
37. Moore DR, Burgomaster KA, Schofield LM, Gibala MJ, Sale DG, Phillips

SM. Neuromuscular adaptations in human muscle following low intensity resistance training with vascular occlusion. *Eur J Appl Physiol.* 2004; 92:399-406.

38. Reeves GV, Kraemer RR, Hollander DB, Clavier J, Thomas C, Francois M, et al. Comparison of hormone responses following light resistance exercise with partial vascular occlusion and moderately difficult resistance exercise without occlusion. *J Appl Physiol.* 2006; 101:1616-1622.