Journal of Sport and Exercise Physiology
Spring 2022/Vol.15/No.1/45-56

The effect of four weeks of resistance training with and without blood flow restriction on levels of anabolic and catabolic hormonal markers in middle-age sedentary males

Javad Vakili *, Saeed Nikookheslat, Farid Pakzad Hassanlou

Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Original Article

Abstract

Purpose: Recently, the use of resistance training with restricted blood flow (BFR) has been recommended as an alternative to heavy resistance training for middle-aged and elderly people. Therefore, the aim of this research was to determine the effect of resistance training with and without BFR on levels of anabolic and catabolic hormones in middle-age sedentary male.

Methods: In this semi-experimental study design, 20 voluntary middle-aged sedentary men (age 47.65 ± 2.53 years) were selected. Subjects were randomly divided into two groups of resistance training with and without BFR. Subjects in the 4-week BFR group performed knee extension and leg press at 20% 1-RM intensity, one set of 30 repetitions and two sets of 15 repetitions, and the non-BFR training group performed the same movements at 80% 1-RM intensity in three sets with 10 repetitions. Blood samples were also taken to measure testosterone and cortisol, growth hormone and insulin-like growth factor-1. Finally, Data were analyzed by analyses of variance and independent T test. The significance level was set at $P < 0.05$.

Results: Resting concentrations of growth hormone ($P = 0.001$), IGF-I ($P = 0.001$), and serum testosterone ($P = 0.001$) response increased significantly after four weeks of resistance training. Also, the only increase in resting growth hormone was significantly higher in the BFR group ($P = 0.04$). However, four weeks of resistance training with ($P = 0.11$) and without Restricted blood flow ($P = 0.55$) did not significantly change cortisol concentration.

Conclusion: It seems likely that performing resistance training with BFR during middle age is a good way to achieve the health benefits of exercise training due to hormonal adaptations.

Keywords: Resistance Training, Blood Flow Restriction, Middle age, Anabolic Hormones, Catabolic Hormones.

How to cite this article: Vakili J, Nikookheslat S, Pakzad Hassanlou F. The effect of four weeks of resistance training with and without blood flow restriction on levels of anabolic and catabolic hormonal markers in middle-age sedentary males. Journal of Sport and Exercise Physiology 2022;15(1):45-56

*Corresponding Author; E-mail: vakili@tabrizu.ac.ir
DOI: 10.52547/joeppa.15.1.45

Received: 01/08/2020 Revised:30/11/2020 Accepted: 01/12/2020

نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی
بهار ۱۴۰۱/ دوره ۱۵/ شماره ۱/ صفحه‌های ۴۵-۵۶

تأثیر چهار هفته تمرین مقاومتی با و بدون محدودیت جریان خون بر برخی شاخص‌های آنابولیکی و کاتابولیکی مردان میانسال کم‌تحرک

جواد وکیلی*، سعید نیکوخصلت، فرید پاکزادحسنلو

دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

مقاله پژوهشی

چکیده

هدف: به‌تازگی، استفاده از تمرین مقاومتی با محدودیت جریان خون (BFR) به‌عنوان جایگزینی برای تمرینات مقاومتی سنگین برای افراد میانسال و سالمند توصیه شده است. ازاین‌رو هدف پژوهش حاضر تعیین تأثیر تمرین مقاومتی با و بدون BFR بر سطوح عوامل هورمونی آنابولیک و کاتابولیک در مردان میانسال کم‌تحرک بود.

روش‌ها: در تحقیق نیمه‌تجربی حاضر ۲۰ مرد میانسال (۲/۵۳±۴۷/۶۵ سال) داوطلب انتخاب شدند و به‌صورت تصادفی در دو گروه تمرین مقاومتی با (BFR) و بدون محدودیت جریان خون (NBFR) قرار گرفتند. چهار هفته تمرین مقاومتی گروه BFR شامل حرکت جلو پا و پرس پا با شدت ۲۰ درصد RM-1، یک نوبت ۳۰ تکراری و دو نوبت ۱۵ تکراری و گروه NBFR شامل همان حرکات با شدت ۸۰ درصد RM-1 در سه نوبت ۱۰ تکراری، اجرا شد. نمونه‌های خونی پیش، بلافاصله بعد (برای هورمون‌های تستوسترون، کورتیزول و لاکتات) و ۲۴ ساعت پس از آخرین جلسهٔ تمرینی (برای هورمون رشد و عامل رشد شبه‌انسولینی-۱) گرفته شد. داده‌ها با آزمون‌های آماری تحلیل واریانس و تی مستقل در سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ بررسی شد.

نتایج: افزایش غلظت استراحتی هورمون رشد (P=۰/۰۰۱)، IGF-I (P=۰/۰۰۱) و پاسخ تستوسترون (P=۰/۰۰۱) سرمی پس از اجرای برنامهٔ تمرین در هر دو گروه معنادار بود. همچنین تنها افزایش GH استراحتی در گروه BFR به‌طور معناداری بیشتر از گروه NBFR بود (P<۰/۰۴). با این حال، تمرین مقاومتی با (P=۰/۱۱) و بدون BFR (P=۰/۵۳) سبب تغییر معناداری در غلظت کورتیزول نشد.

نتیجه‌گیری: بنابر یافته‌های تحقیق حاضر، به‌نظر می‌رسد احتمالاً تمرینات مقاومتی با BFR طی دورهٔ میانسالی روش مناسبی برای دستیابی به فواید سلامتی تمرینات ورزشی به‌واسطهٔ سازگاری‌های هورمونی است.

واژه‌های کلیدی: تمرین مقاومتی، محدودیت جریان خون، میانسالی، هورمون‌های آنابولیک، هورمون‌های کاتابولیک.

* نویسنده مسئول: رایانامه: vakili@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۱ تاریخ ویرایش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۱

مقدمه

توسعهٔ بسیاری از جنبه‌های جسمی و عملکردی انسان تا حدود زیادی به پاسخ‌ها، سازگاری‌ها و نیمرخ هورمونی افراد بستگی دارد. هورمون‌ها را می‌توان براساس نقششان در سنتز یا تجزیهٔ پروتئین به دو گروه اصلی آنابولیک و کاتابولیک تقسیم کرد. هورمون رشد (GH)، تستوسترون و عامل رشد شبه‌انسولینی-۱ (IGF-1) مهم‌ترین هورمون‌های آنابولیک و کورتیزول مهم‌ترین هورمون کاتابولیک است. هورمون رشد، عامل رشدی شبه‌انسولینی (IGF) و تستوسترون در مردان، هورمون‌های مؤثر بر بافت عضله، استخوان و چربی است. هورمون رشد عامل قوی متابولیکی است که رشد و هایپرتروفی عضله را با تسهیل در انتقال اسیدهای آمینه به درون سلول افزایش می‌دهد و موجب پدیدهٔ رشد بافتی می‌شود (۱). همچنین تأثیر GH بر سنتز پروتئین در عضلات از طریق IGF-1 صورت می‌گیرد. هورمون رشد آزاد شدن IGF-1 را از کبد تحریک می‌کند. افزایش نسبت تودهٔ عضلانی به تودهٔ چربی به‌دلیل افزایش ترشح تستوسترون است. تستوسترون، آزاد شدن GH و عوامل عصبی درگیر در فرایندهای آنابولیکی را تحریک می‌کند (۲). در این میان، کورتیزول نیز با تأثیر بر تجزیهٔ پروتئین‌ها به اسیدهای آمینه بر کاتابولیسم عضله تأثیرگذار است (۱). از عوامل تأثیرگذار بر ترشح هورمون‌ها فعالیت بدنی و ورزشی است که براساس نوع ورزش (مقاومتی، استقامتی و ...)، شدت و مدت اجرای آن، تعداد و بزرگی عضلات درگیر یا سابقهٔ تمرینی، پاسخ هورمون‌ها نیز متفاوت است (۳). در این میان، فعالیت ورزشی مقاومتی محرک قوی برای افزایش کوتاه‌مدت غلظت هورمون‌های گردش خون مانند تستوسترون، GH و کورتیزول است (۳). تحقیقات نشان می‌دهد که تمرین قدرتی از طریق افزایش هورمون‌های مذکور سبب بیان پروتئین‌های عضله بیشتر از سطوح استراحتی می‌شود (۴). این نکته را باید در نظر داشت که پاسخ‌ها و سازگاری‌های هورمونی در افراد با توجه به وضعیت تمرینی آن‌ها دچار تغییراتی می‌شود (۵) و مشاهده شده است که انجام تمرین مقاومتی توسط افراد تمرین‌نکرده موجب بهبود و افزایش سطوح استراحتی و پاسخ هورمونی آن‌ها به تمرینات مقاومتی می‌شود (۶).

سن از عوامل مهم و تأثیرگذار بر سطوح هورمونی است و حتی پاسخ‌ها و سازگاری‌های این پیامبرهای شیمیایی نسبت به فعالیت ورزشی را نیز می‌تواند تحت تأثیر قرار دهد (۷، ۸). با افزایش سن و پس از دورهٔ جوانی ترشح و پاکسازی روزانهٔ هورمون‌های آنابولیک به‌ویژه GH به‌طور پیش‌رونده‌ای کاهش می‌یابد (۹). در نتیجه، سطوح پایین این هورمون‌ها می‌تواند تغییراتی در ترکیب بدنی، عملکرد و پاسخ‌های ورزشی ایجاد کند. کاهش وابسته به سن IGF-1 و تستوسترون در مردان به‌طور فراوانی با حجم عضلانی مرتبط است (۸، ۱۰). هرچند در پاسخ به یک جلسه فعالیت ورزشی استقامتی یا مقاومتی (۷) سطوح این هورمون‌ها مستقل از سن به‌صورت حاد افزایش می‌یابد (۱۱). به‌طوری‌که واکر و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی پاسخ‌های هورمونی به ۲۰ هفته تمرین مقاومتی در افراد جوان و سنین بالاتر گزارش کردند که افراد جوان پیش و پس از دورهٔ تمرینی در پاسخ به یک وهله فعالیت، پاسخ GH و تستوسترون بیشتری دارند (۱). از طرفی، کورتیزول تأثیر کاتابولیک روی پروتئین‌های میوفیبریل دارد و از سنتز جلوگیری می‌کند. در تحقیقات انجام‌گرفته در زمینهٔ تأثیر یک دورهٔ تمرینی و یک وهله فعالیت مقاومتی گزارش شده است که پاسخ‌های کوتاه‌مدت GH یا تغییرات در غلظت‌های استراحتی تستوسترون و کورتیزول یا نسبت تستوسترون به کورتیزول به خوبی با تغییرات در قدرت و اندازهٔ عضله مرتبط است (۳). به‌منظور تبیین پاسخ عوامل هورمونی به ورزش مقاومتی، اسمیلیوس و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که غلظت تستوسترون تحت تأثیر فعالیت قرار نگرفت، ولی غلظت کورتیزول به‌طور معناداری کاهش یافت (۱۲).

شایان ذکر است که در تمامی این مطالعات از بارهای تمرینی سنگین و تمرینات مقاومتی سنتی استفاده شده است که احتمالاً انجام این نوع تمرینات با دشواری‌هایی در اجرا برای گروه‌های سنی میانسال و سالمند همراه است. ازاین‌رو در شرایط بالینی، استفاده از بارهای سنگین برای افراد تمرین‌نکرده، غیرورزشکار، سالمند و آسیب‌دیده اغلب با مشکلاتی همراه است. نتیجه اینکه روش‌های تمرینی بدون استفاده از بارهای سنگین که سبب هایپرتروفی شود یا از آتروفی عضله جلوگیری کند، بسیار ضروری به‌نظر می‌رسد (۱۳). در این زمینه پژوهشگران شیوهٔ تمرینی جدیدی را با عنوان تمرینات با محدودیت جریان خون (BFR) که به نام تمرینات کاتسو نیز خوانده می‌شود، پیشنهاد داده‌اند.

در این روش، تمرین مقاومتی با شدت ۱۰-۴۰ درصد یک تکرار بیشینه (۱RM) انجام می‌گیرد و جریان خون ورودی به عضلهٔ فعال از طریق بستن کاف یا کش (تورنیکه) لاستیکی انعطاف‌پذیر به دور قسمت نزدیک به تنهٔ بازو یا ران، محدود یا متوقف می‌شود (۱۴). این عمل سبب ایجاد حوضچهٔ خونی موقت در عضو می‌شود و در پی آن تجمع مواد متابولیکی به‌ویژه اسید لاکتیک به‌طور موضعی در عضو افزایش می‌یابد که این افزایش غلظت متابولیت‌ها، اسیدی شدن محیط داخلی عضله، افزایش یون H+ و کاهش دسترسی بافتی به اکسیژن خون، سبب آزادسازی هورمون‌های آنابولیکی مانند GH از محور هیپوتالاموس-هیپوفیز و متعاقب آن IGF-I و سایر عوامل هورمونی مانند تستوسترون و کورتیزول می‌شود (۱۵،۱۶). به‌طور مثال، شیمیزو و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که چهار هفته تمرین مقاومتی با ۲۰ درصد یک تکرار بیشینه با BFR سبب افزایش بیشتر غلظت سرمی عوامل هورمونی آنابولیک به‌ویژه GH افراد سالمند نسبت به گروه بدون محدودیت جریان خون شد (۱۵). با این حال، تیلور و همکاران (۲۰۱۶) و باصره و همکاران (۲۰۱۶) گزاش کردند که تمرین کاتسو تأثیر معناداری بر بیان عوامل رشدی و مقادیر سرمی GH نداشته است (۱۴،۱۷). با توجه به تناقض‌های موجود در این زمینه و همچنین عدم بررسی جامع مقایسهٔ تأثیر تمرین مقاومتی همراه با BFR بر هر دو نوع عامل آنابولیک و کاتابولیک در افراد میانسال، تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر چهار هفته تمرین مقاومتی با و بدون محدودیت جریان خون بر سطوح عوامل هورمونی آنابولیک و کاتابولیک در مردان کم‌تحرک انجام گرفت.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: پژوهش حاضر در قالب طرح‌های نیمه‌تجربی پس از تأیید کمیتهٔ اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی تبریز (IR.TBZMED.REC.1398.954) انجام گرفت. جامعهٔ آماری پژوهش، شامل مردان میانسال غیرفعال (کمتر از ۹۰ دقیقه فعالیت بدنی یا تمرینات ورزشی منظم طی هفته) و تمرین‌نکردهٔ سالم فاقد شرکت در تمرینات ورزشی منظم بود. معیارهای ورود به تحقیق عبارت‌اند از: غیرفعال بودن، دامنهٔ سنی ۴۵-۵۵ سال، درصد چربی ۱۵-۲۵ درصد و طی شش ماه پیش از شروع تحقیق به‌طور سرخود یا به‌دلیل بیماری و زیر نظر پزشک از دارو و مکمل‌های آنابولیک، فشار خون، ضدالتهابی و ضداکسایشی مانند کراتین، پروتئین وی، آرژنین، ایبوپروفن، زنجبیل، کافئین و ... استفاده نکرده باشند. شرایط خروج از تحقیق نیز عبارت بود از: آسیب‌دیدگی در ناحیهٔ پایین‌تنه (زانو، ران و مچ پا)، ابتلا به بیماری مزمن قلبی-عروقی، فشار خون و کلیوی، استعمال سیگار و چاقی یا کمبود وزن بیش از حد. پس از هماهنگی‌های اولیه با باشگاه‌های شهر نقده، گروه‌های تربیت بدنی دانشگاه پیام نور و آزاد و کارکنان ادارات شهر، از همهٔ افراد داوطلب ثبت‌نام به‌عمل آمد. همهٔ داوطلبان (۳۴ نفر) با حضور در جلسهٔ هماهنگی، پس از شرح کامل اهداف و روش‌های اندازه‌گیری، پرسشنامهٔ بین‌المللی سلامتی، آمادگی جسمانی مرتبط با مهارت و سطح فعالیت بدنی روزانه (IPAQ) (روایی = ۰/۹۳ و پایایی= ۰/۹۵) (۴۱) و یادآمد تغذیه‌ای ۲۴ ساعته (روایی= ۰/۸۷ و پایایی= ۰/۹۱) را تکمیل کردند (بررسی نتایج ارزیابی تغذیه با استفاده از نرم‌افزار Nutritionist IV انجام گرفت) و توسط پزشک عمومی و متخصص قلب و عروق تحت معاینات پزشکی قرار گرفتند (۱۴). سپس براساس معیارهای ذکرشده داوطلبان فاقد معیارهای مذکور (۸ نفر) از تحقیق حذف شدند. به‌منظور انتخاب نمونهٔ مورد مطالعه، دو هفته پیش از تحقیق، ویژگی‌های فردی و برخی شاخص‌های پیکرسنجی مثل سن، قد، وزن بدن و درصد چربی آزمودنی‌ها اندازه‌گیری شد و با توجه به معیارهای ورود به طرح از بین افراد داوطلب ۲۰ آزمودنی براساس میزان خطای نوع اول پنج‌صدمی و با استفاده از نرم‌افزار Medcal انتخاب شدند.

روش اجرای پژوهش: در فاصلهٔ زمانی ۱۴ روز مانده به شروع برنامهٔ تمرینی، آزمودنی‌ها سه جلسه تمرین مقاومتی ساختاری را به‌منظور آشنایی با حرکات مقاومتی، آمادگی‌های تاندونی-استخوانی، بهبود انعطاف‌پذیری و افزایش دامنهٔ حرکتی در حرکات مذکور اجرا کردند. سپس طی یک هفته مانده به شروع پژوهش قدرت بیشینهٔ آزمودنی‌ها در حرکات پرس پا و باز کردن زانو اندازه‌گیری شد، سپس آزمودنی‌ها براساس میزان یک تکرار بیشینه (۱RM) در یکی از دو گروه (هر گروه ۱۰ نفر) تمرین با محدودیت جریان خون و تمرین بدون محدودیت جریان خون قرار گرفتند. سپس نیمی از آزمودنی‌های هریک از گروه‌ها آزمون ورزشی مقاومتی با محدودیت جریان خون شامل یک نوبت ۳۰ تکراری و ۲ نوبت

۱۵ تکراری حرکت جلو پا و پرس پا با ۲۰ درصد یک تکرار بیشینه و نیم دیگر آزمون ورزشی مقاومتی بدون محدودیت جریان خون (۳ نوبت ۱۰ تکراری حرکت جلو پا و پرس پا با ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه) را به‌عنوان پیش‌آزمون اجرا کردند و پس از آن هر گروه چهار هفته تمرین تعریف‌شده برای خود را اجرا کردند. استراحت بین حرکات ۳۰ ثانیه و استراحت بین نوبت‌ها ۹۰ ثانیه بود. به‌طوری‌که گروه تمرینی با محدودیت جریان خون، ۳ جلسه در هفته حرکت جلو پا و پرس پا با ۲۰ درصد یک تکرار بیشینه و در گروه تمرینی بدون محدودیت جریان خون، ۳ جلسه در هفته حرکت جلو پا و پرس پا با ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه را اجرا کردند. روایی برنامهٔ تمرینی حاضر به‌منظور اثرگذاری بر هورمون‌های آنابولیک پیشتر در مطالعات تأیید شده است (۱۸). پس از اتمام پروتکل تمرینی ۴۸ - ۷۲ ساعت پس از آخرین جلسهٔ تمرین تمامی آزمودنی‌ها دو حرکت جلو پا و پرس پا را در ۳ نوبت ۱۰ تکراری با ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه به‌عنوان پس آزمون انجام دادند. آزمون عملکردی تعیین قدرت بیشینه برای حرکت جلو پا و پرس پا، ۴۸ تا ۷۲ ساعت قبل از پیش‌آزمون و ۷۲ ساعت پس از آخرین جلسهٔ تمرین، از تمامی آزمودنی‌ها گرفته شد. همچنین نمونه‌های خونی قبل، بلافاصله بعد (ارزیابی لاکتات، هورمون‌های تستوسترون و کورتیزول) و ۲۴ ساعت پس از قرارداد فعالیت ورزشی مقاومتی (برای ارزیابی GH و IGF-I) در هر دو مرحلهٔ قبل و بعد از انجام پروتکل ۴ هفته‌ای تمرینات مقاومتی گرفته شد. همچنین لاکتات خون بلافاصله پس از اولین و آخرین جلسهٔ تمرینی گرفته شد. شایان ذکر است با توجه به اینکه ماهیت پژوهش حاضر سنجش سازگاری هورمونی است نه پاسخ حاد، به‌سبب حذف تأثیر آخرین جلسهٔ تمرین بر سطوح GH و IGF-I و کنترل حالت نوسانی طی ریتم شبانه‌روزی، نمونه‌گیری از GH و IGF-I ۲۴ ساعت پس از آخرین جلسهٔ تمرینی انجام گرفت (۱۸). به‌منظور بررسی تعیین میزان تغییر حجم پلاسما شاخص‌های مانند هماتوکریت و هموگلوبین اندازه‌گیری و بررسی شد.

روش محدودیت جریان خون: پس از حضور آزمودنی‌ها در آزمایشگاه، ابتدا به مدت ۲۰ دقیقه در وضعیت طاق‌باز قرار گرفتند و سپس فشار خون سیستولی و دیاستولی بازویی آن‌ها با فشارسنج جیوه‌ای اندازه‌گیری شد. محدودیت جریان خون حین فعالیت ورزشی با استفاده از کاف فشار خون (عرض ۱۲ سانتی‌متر و طول ۸۵ سانتی‌متر) در انتهای پروگزیمال اندام تحتانی اعمال شد. با توجه به اینکه فشار سیستولی پایین‌تنه ۲۰-۳۰ درصد بالاتر از فشار سیستولی بالاتنه است، اعمال انسداد عروقی، هریک از حرکات ورزشی (پرس پا و باز کردن زانو یا جلو پا) با فشار کاف ۲۰ میلی‌متر جیوه بالاتر از فشار سیستولی پایین‌تنهٔ تعیین‌شده برای هر فرد اجرا شد (۱۹، ۲۰). با توجه به دورهٔ تمرینی چهارهفته‌ای و سازگاری ایجادشده با تمرینات، دو هفته پس از شروع تمرین فشار کاف ۱۰ میلی‌متر جیوه افزایش یافت. کاف فشار خون شامل یک تیوپ لاستیکی،دارای دو مجرا، یکی برای ورود هوا و دیگری برای نصب بارومتر فشار داخل آن بود که تا ۳۰۰ میلی‌متر جیوه فشار کاف‌ها قابل افزایش بود (۲۱، ۲۲).

برنامهٔ ورزشی: آزمودنی‌های گروه BFR، ۴ هفته فعالیت ورزشی مقاومتی (حرکات جلو پا و پرس پا) با شدت پایین (۲۰ درصد یک تکرار بیشینه، یک نوبت ۳۰ تکراری و ۲ نوبت ۱۵ تکراری) اجرا کردند. با این حال، تمرین مقاومتی گروه بدون BFR (NBFR) شامل انجام حرکات پرس پا و جلو پا (سه نوبت ۱۰ تکراری در ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه) بود (۱۹،۲۰). به‌منظور خنثی‌سازی اثر سازگاری و پیشرفت، پس از دو هفته تمرین از همهٔ گروه‌ها آزمون یک تکرار بیشینه گرفته شده و وزنه‌ها همسان‌سازی شدند. کاف دو دقیقه پیش از شروع حرکت پرس پا بسته شد و در زمان اجرا و ریکاوری بین نوبت‌ها به‌صورت بادشده باقی ماند و بلافاصله پس از هر حرکت باز شد و بلافاصله پیش از شروع حرکت جلو پا دوباره بسته شد و تا پایان ست آخر بادشده باقی ماند. همچنین بین هر نوبت اجرای حرکات با BFR، ۹۰ ثانیه استراحت و بین اجرای حرکت پرس پا و جلو پا ۳ دقیقه استراحت وجود داشت (۲۰). علاوه‌بر این روند اجرای حرکات مقاومتی به‌صورت ۲ ثانیه برای اجرای فاز درون‌گرا و ۲ ثانیه برای فاز برون‌گرا بود که پس از تمرین این ریتم به‌دست آمد (۱۹،۲۰). شایان ذکر است تمام جلسات تمرینی پس از ۱۰ دقیقه گرم کردن شامل دویدن آرام و حرکات کششی و نرمشی برای گروه با BFR در مدت زمان ۲۱ دقیقه و برای گروه NBFR در مدت زمان ۱۵ دقیقه اجرا شد. در انتهای هر جلسه نیز ۱۰ دقیقه برنامهٔ سرد کردن شامل حرکات کششی برای عضلات درگیر انجام گرفت (۲۳)..

روش‌های آزمایشگاهی: از ۵ میلی‌لیتر نمونهٔ خونی اخذشده از ورید پیش‌آرنجی، یک میلی‌لیتر به‌منظور آزمایش CBC برای تعیین تعداد سلول‌های مختلف خونی و غلظت هموگلوبین و هماتوکریت (به‌منظور ارزیابی تغییرات حجم خون و پلاسمای خونی) استفاده شد. چهار میلی‌لیتر باقیمانده برای اندازه‌گیری سایر شاخص‌ها استفاده شد. بخشی از نمونه‌های خونی برای جداسازی سرم به ویال‌های معمولی بدون مادهٔ ضدانعقاد ریخته شد. غلظت سرمی عوامل هورمونی GH (حساسیت ۰/۰۲ نانوگرم بر میلی‌لیتر و CV ۴/۸ درصد)، IGF-I (حساسیت ۱۸/۷۵ نانوگرم بر میلی‌لیتر و CV ۴/۲ درصد)، کورتیزول (حساسیت ۱۴/۷۱ پیکوگرم بر میلی‌لیتر و CV ۴/۱ درصد) و تستوسترون (حساسیت ۲/۲۸ پیکوگرم بر میلی‌لیتر و CV ۳/۶ درصد) با استفاده از سیستم اندازه‌گیری کمی لومینسانس به‌صورت داپلیکیت براساس دستورالعمل شرکت سازندهٔ کیت (ساخت شرکت مونوبایند ر آمریکا) اندازه‌گیری شد (۲۴). غلظت لاکتات مویرگی با استفاده از دستگاه لاکتومتر اسکات ساخت آمریکا (برحسب میلی‌مول بر لیتر) اندازه‌گیری شد.

تحلیل آماری: برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها (میانگین و انحراف استاندارد) از آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد و سپس تغییرات هریک از شاخص‌ها طی مراحل با آزمون‌های تحلیل واریانس ۲×۲ تجزیه‌وتحلیل شد. همهٔ مراحل تجزیه‌وتحلیل آماری در سطح معناداری پنج‌صدم با استفاده از نرم‌افزار SPSS /PASW تحت ویندوز نسخه ۲۲ انجام گرفت.

نتایج

در جدول ۱ مشخصات پیکرشناختی آزمودنی‌ها ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات پیکرشناختی و هماتولوژیکی آزمودنی‌ها

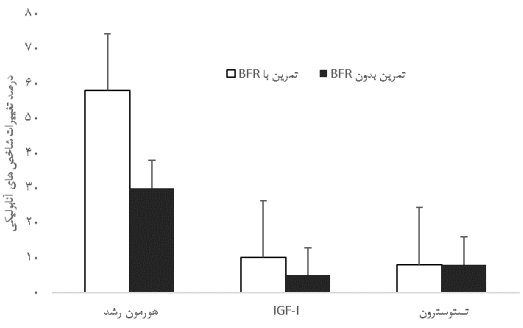
شاخص‌ها	با BFR	بدون BFR
سن (سال)	۴۸/۱±۲/۳۷	۴۷/۹±۲/۴۲
وزن (کیلوگرم)	۸۳/۷±۶/۰۳	۸۷/۱±۴/۵
قد (سانتی‌متر)	۱۷۵/۶±۵/۳۹	۱۷۴/۲±۴/۱
درصد چربی	۲۱/۹۵±۳/۲۷	۲۳/۹±۳/۰۸
شاخص تودهٔ بدنی (کیلوگرم/ مترمربع)	۲۷/۰۷±۱/۶۳	۲۸/۱۴±۱/۷۹
هموگلوبین (گرم بر دسی لیتر)	۱۵/۴±۳/۲	۱۵/۱±۲/۱
هماتوکریت (درصد)	۴۵/۵±۴/۱	۴۶/۱±۳/۶
لکوسیت‌های خون محیطی (تعداد× ۱۰۳/میکرولیتر)	۵/۹±۰/۹	۶/۱±۱/۰۱

در جدول ۲ مقادیر متغیر وابسته در هر دو گروه ذکر شده است.

جدول ۲. تغییرات هریک از شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده

شاخص‌ها		مقادیر شاخص‌ها (میانگین ± انحراف استاندارد)					
		با BFR			بدون BFR		
		قبل	بعد	P	قبل	بعد	P
IGF-I (نانوگرم بر میلی‌لیتر)		۴۵۱/۹±۷۴/۹۸	۴۹۷±۷۴/۹۵	*۰/۰۰۱	۴۷۱/۲±۴۷/۹۳	۴۹۵±۴۵/۴۷	*۰/۰۰۱
GH (نانوگرم بر میلی‌لیتر)		۰/۸۱±۰/۳	۱/۲۸±۰/۳۹	*۰/۰۰۱	۰/۸۳±۰/۳۵	۱/۰۸±۰/۴	*۰/۰۲۲
تستوسترون (نانومول بر لیتر)		۱۱/۶۸±۱/۱۱	۱۲/۶۸±۰/۵۴	*۰/۰۰۱	۱۱/۱۵±۰/۷۶	۱۲/۰۸±۰/۴۷	*۰/۰۰۱
کورتیزول (نانومول بر لیتر)		۳۳۱/۳۸±۶۶/۱۲	۳۲۹/۱۱±۶۶/۵۱	۰/۱۱	۳۰۷/۱۲±۳۳/۲	۳۰۵/۰۳±۳۷/۶۱	۰/۵۳
لاکتات (میلی‌مول بر لیتر)	آزمون اول	۳/۵۸±۰/۹۸	۱۱/۸۱±۲/۰۱	*۰/۰۰۱	۴/۴۹±۱/۱۱	۱۳/۲۳±۱/۴۶	*۰/۰۰۱
	آزمون دوم	۳/۴۴±۰/۹۲	۹/۷±۱/۵۱	*۰/۰۲	۳/۱۸±۱/۱۷	۱۲/۸۷±۱/۳	*۰/۰۰۱

نتایج نشان داد که غلظت استراحتی GH (P=۰/۰۰۱)، IGF-I (P=۰/۰۰۱) و پاسخ تستوسترون سرمی (P=۰/۰۰۱) به یک جلسه تمرین پس از چهار هفته تمرین مقاومتی با و بدون محدودیت جریان خون به‌طور معناداری افزایش یافته است (جدول ۲). پس از برنامهٔ تمرین چهارهفته‌ای تنها افزایش GH استراحتی در گروه BFR به‌طور معناداری بیشتر از گروه NBFR بود (P=۰/۰۰۱). با این حال، چهار هفته تمرین مقاومتی با و بدون محدودیت جریان خون سبب تغییر معناداری در غلظت کورتیزول سرمی نشد (P=۰/۵۳). همچنین، در هر چهار گروه پیش و پس از برنامهٔ تمرینی لاکتات خون در پاسخ به تمرین BFR و NBFR به‌طور معناداری افزایش یافت و تفاوت معناداری بین دو گروه مشاهده نشد.



شکل ۱. مقایسهٔ درصد تفاوت سطوح استراحتی عوامل آنابولیک افراد غیرفعال پس از چهار هفته تمرین مقاومتی با و بدون BFR

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از تحقیق حاضر، بررسی تأثیر چهار هفته تمرین مقاومتی با و بدون محدودیت جریان خون بر سطوح عوامل هورمونی آنابولیک و کاتابولیک در مردان کم‌تحرک بود. در این زمینه نتیجهٔ تحقیق حاضر مبنی بر تأثیر معنادار چهار هفته تمرین مقاومتی با محدودیت جریان خون بر افزایش GH سرمی با نتایج برخی تحقیقات قبلی از جمله پترسون و همکاران (۲۰۱۳) و لارکین و همکاران (۲۰۱۲) همسوست (۲۵، ۲۶). برای نمونه، شیمیزو و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که فعالیت ورزشی مقاومتی (با ۲۰ درصد یک تکرار بیشینه) با BFR سبب افزایش بیشتر غلظت سرمی GH افراد سالمند نسبت به گروه بدون BFR شده است (۱۵) که با نتایج پژوهش کیم و همکاران (۲۰۱۴) که نشان دادند پس از تمرین قدرتی با انسداد عروقی، GH افزایش معناداری داشته است، همخوانی دارد (۲۷). در این تحقیق پژوهشگران افزایش معنادار GH در گروه با انسداد را به شرایط هایپوکسی نسبت دادند و بیان کردند که این وضعیت موجب تجمع متابولیت‌ها و در نتیجه افزایش غلظت GH به مقدار زیادتری در مقایسه با تمرینات مقاومتی سنتی می‌شود (۲۸). نتایج پژوهش گودفری و همکاران (۲۰۰۳) نیز نشان داد میزان ترشح GH پس از اجرای تمرینات قدرتی با شدت متوسط و تکرار زیاد تا حد زیادی افزایش پیدا می‌کند. این پژوهشگران اصلی‌ترین دلیل این مسئله را به افزایش میزان نیتریک اکسید (NO) و لاکتات نسبت دادند. نیتریک اکسید از مهم‌ترین انتقال‌دهنده‌های درون‌سلولی و بین‌سلولی است که نقش مهمی در کنترل رهاسازی GH از محور هیپوتالاموس-هیپوفیز دارد. بنابراین به‌نظر می‌رسد نیتریک اکسید می‌تواند سبب تسهیل رهاسازی GH از هیپوفیز قدامی به گردش عمومی خون شود (۲۹). ولتمن و همکاران (۱۹۹۷) نیز از دلایل افزایش ترشح GH پس از تمرینات با شدت متوسط و زیاد را افزایش فعالیت دستگاه عصبی سمپاتیک عنوان کردند. افزایش فعالیت دستگاه عصبی سمپاتیک سبب ترشح اپی‌نفرین، نوراپی‌نفرین و تحریک فعالیت نورون‌های مرکزی آدرنرژیک می‌شود که در پی آن میزان ترشح GH افزایش می‌یابد (۳۰).

شایان ذکر است که کاهش اکسیژن‌رسانی (سرکوب سوخت‌وساز هوازی) طی تمرینات با BFR سبب افزایش موضعی تجمع لاکتات در سطح عضلهٔ فعال در فعالیت بدنی و از این طریق افزایش ترشح GH از هیپوفیز قدامی و پاسخ ناشی از ورزش آن می‌شود (۳۱). براساس نتایج تحقیقات پیشین، زمانی‌که شدت تمرین بالا و فواصل استراحت بین تمرین کوتاه (یک دقیقه) باشد یا آنکه شدت برنامهٔ تمرینی متوسط و دوره‌های کوتاه استراحت باشد، پاسخ GH به انجام وهله‌های تمرینی افزایش می‌یابد. اسیدوز بیشتر (غلظت لاکتات خون بیشتر) به احتمال زیاد به افزایش پاسخ GH کمک می‌کند (۱۲،۱۱). به‌طور معمول افزایش غلظت GH با مدت زمان فعالیت و شدت آن رابطهٔ مستقیم دارد. به‌نظر می‌رسد پاسخ هورمونی و سازش‌پذیری با آن، تا حد زیادی به نوع برنامهٔ تمرینی وابسته است؛ متغیرهایی چون بار تمرین، تعداد نوبت‌ها، تعداد تکرارها، مقدار استراحت بین نوبت‌ها، حجم عضلات درگیر و تعداد جلسات در هفته از آن جمله هستند. یک توضیح دیگر برای افزایش GH پس از تمرینات ورزشی، ممکن است مربوط به افزایش هیپوگلیسمی، اثر تحریکی قشر حرکتی و فعال‌سازی

دستگاه عصبی سمپاتیک (نوراپی‌نفرین) و تأثیر آن بر هیپوتالاموس باشد (۳۹). همچنین از میزان کاهش pH ناشی از فعالیت ورزشی به‌عنوان عوامل اصلی مؤثر بر واکنش هورمون‌ها از جمله GH به فعالیت ورزشی نام برده شده است. پس از تمرین در شدت بالاتر از آستانهٔ لاکتات نشان داده است که ترشح ضربانی GH در حالت استراحت تقویت می‌شود (۳۰). با این حال، در برخی تحقیقات کاهش (۳۰) یا افزایش (۴) یا عدم تأثیر (۱۹) بر GH گزارش شده است. با این حال، این تغییر ممکن است مربوط به کاهش شدت نسبی فعالیت ورزشی طی یک دوره تمرینات ورزشی باشد (۳۲).

علاوه‌بر تأثیرات ذکرشده، افزایش تولید اسید لاکتیک ناشی از محدودیت جریان خون حین تمرینات مقاومتی، سبب افزایش فعالیت محور هورمون رشد- عامل رشد شبه‌انسولین-۱ (IGF-I) و به‌دنبال آن فعال‌سازی مسیرهای پایین‌دستی بروز هایپرتروفی می‌شود. در واقع، محور IGF-I/ GH از طریق فعال‌سازی فسفاتیدیل اینوزیتول-۳ کیناز (PI3K) و پروتئین کیناز B (PKB) نقش بسیار مهمی در هایپرتروفی ناشی از افزایش سنتز پروتئین در سطح عضلهٔ اسکلتی دارد (۱۶). در کنار تأثیر مثبت و افزایشی تمرین مقاومتی با انسداد جریان خون بر پاسخ محور IGF-I/ GH، در برخی تحقیقات حتی پس از سه هفته استفاده از این روش افزایش پاسخ تستوسترون گزارش شده است (۳۴) که این مسئله به هم‌افزایی و تقویت پاسخ‌های پرتروفیک منجر می‌شود. این پژوهشگران ابراز داشتند که افزایش پاسخ محور IGF-I/ GH و افزایش غلظت کاتکولامین‌ها (به‌ویژه نوراپی‌نفرین) خود باعث تحریک ترشح تستوسترون و افزایش پاسخ آن می‌شود (۷). کریمی و همکاران (۲۰۱۷) نیز به مقایسهٔ پاسخ‌های هورمونی مردان جوان بدنساز متعاقب یک جلسه فعالیت ورزشی مقاومتی با و بدون محدودیت جریان خون پرداختند و با وجود اجرای فعالیت با محدودیت جریان خون با شدت کمتر نسبت به روش بدون محدودیت جریان خون (۲۵ درصد در برابر ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه)، افزایش مشابهی را در تستوسترون و GH گزارش کردند (۳۵). از همین رو، پاسخ‌های هورمونی رشدی که با فشار مکانیکی پایین‌تر و مقدار وزنهٔ جابه‌جاشدهٔ کمتر در حین فعالیت مقاومتی با محدودیت جریان خون ایجاد می‌شوند، به‌دلیل اینکه تقریباً برابر (یا در برخی هورمون‌ها بیشتر) از پاسخ‌های هورمونی رشدی متعاقب فعالیت مقاومتی بدون محدودیت جریان خون (۷۰-۸۵ درصد یک تکرار بیشینه) است، بسیار حائز اهمیت است، به این دلیل که با کار کمتر پاسخ آنابولیکی بیشتری به‌دست می‌آید (۲).

یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج تاناکو و همکاران (۲۸) و پولینن و همکاران (۳۶) همسو نبود. برای مثال، تیلور و همکاران (۲۰۱۶) و باسره و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که یک جلسه فعالیت مقاومتی کاتسو تأثیر معناداری بر مقادیر سرمی GH نداشته است (۱۴،۱۷). دلایل این تفاوت به عوامل متعدد مؤثر بر ترشح این هورمون از جمله سطح تمرین، ترکیب بدنی (افزایش درصد چربی با کاهش هورمون‌های آنابولیک همراه است)، جنسیت (غلظت هورمون آنابولیکی تستوسترون به‌طور چشمگیری بیشتر است) و سن آزمودنی‌ها (با افزایش سن غلظت هورمون‌های آنابولیک بعد از دورهٔ میانسالی شروع به کاهش تدریجی می‌کند) نسبت داده می‌شود. کوریا سیلوا و لینگل نیز دلایل کاهش GH در برخی تحقیقات را پیروی کردن سنتز GH از بازخورد منفی بیان کردند، بدین‌ترتیب که افزایش GH باعث کاهش تحریک سنتز خود هورمون یا کاهش اثر متقابل با گیرنده‌ها در بافت‌های مختلف بدن می‌شود (۳۷). برای مثال، در تحقیق فرحانی و همکاران (۲۰۲۱) محدودیت جریان خون در تمرینات فوتسال و روی مردان جوان ارزیابی شد که ممکن است عدم مشاهدهٔ تأثیر معنادار روی عوامل آنابولیکی مانند IGF-I ناشی از اثر سقف به‌دست‌آمده در این گروه سنی و متفاوت بودن عضلات درگیر در فعالیت و همچنین نوع تمرین (هوازی در مقایسه با مقاومتی در تحقیق حاضر) باشد (۳۸). همچنین، گزارش شده است که در ۱۰ هفته تمرین مقاومتی (۲ جلسه در هفته) انجام‌گرفته با BFR افزایش غلظت عوامل هورمونی آنابولیک و غلظت لاکتات (ناشی از افزایش هیپوکسی موضعی درون‌عضلانی) ممکن است مساوی یا حتی بیشتر از افزایش آن‌ها در پاسخ به انجام حرکات ورزشی مقاومتی با شدت بالا باشد (۳۹). در برخی از این تحقیقات که روی افراد میانسال و مسن انجام گرفته است، پژوهشگران استدلال کرده‌اند که انجام دوره‌ای از تمرینات مقاومتی با شدت پایین همراه با محدودیت جریان خون ممکن است روش کارامدی برای جلوگیری از کاهش پاسخ ورزشی و غلظت عوامل هورمونی آنابولیک ناشی از افزایش سن باشد (۴۰). با این حال، در

برخی تحقیقات مشخص نشده است که آیا دورهٔ تمرینی مقاومتی با شدت پایین با محدودیت جریان خون قادر به افزایش عوامل هورمونی آنابولیک در افراد میانسالی که با مقاومت سوخت‌وسازی ناشی از افزایش سن مواجه‌اند، همراه است یا نه (۱). پژوهشگران معتقدند با آنکه شدت در تمرینات BFR پایین‌تر از تمرینات مقاومتی سنتی است، اما بستن کاف و ایجاد محیط هیپوکسی و افزایش تولید لاکتات به‌صورت موضعی موجب می‌شود تا با افزایش فشار فیزیولوژیک ترشح کورتیزول به‌عنوان یک عامل هورمونی استرس افزایش یابد (۳۷).

به‌طور کلی، براساس نتایج پژوهش حاضر احتمالاً از تمرین مقاومتی با محدودیت جریان خون می‌توان به‌جای تمرینات مقاومتی سنتی در افراد میانسال (زیرا بسیاری از افراد میانسال قادر به اجرای تمرینات با شدت بالا نیستند) استفاده کرد تا به نتایج بهتری با استفاده از شدت تمرینی کمتری دست یافت.

از جمله نقاط قوت تحقیق حاضر مقایسهٔ یک روش تمرینی نوین BFR است که در این روش با استفاده از شدت تمرینی پایین‌تر و در نتیجه قابلیت اجرای بالاتر و احتمال آسیب‌دیدگی کمتر می‌توان به نتایج مشابه یا حتی بیشتری دست یافت.

در نهایت باید خاطرنشان شود که از جمله محدودیت‌های تحقیق حاضر عدم اندازه‌گیری طولانی‌مدت عوامل هورمونی آنابولیک بود تا مشخص شود که آیا این نوع تمرینات به پیامد سلامتی یا عملکردی کاربردی (مانند بهبود طولانی‌مدت قدرت، سطح سلامتی همه‌جانبه، سایر جنبه‌های سلامتی مانند نیمرخ لیپیدی یا خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی) در زندگی شخص تمرین‌کرده منجر می‌شود یا خیر؟ همچنین اندازه‌گیری شاخص‌های مرتبط با مسیرهای پیام‌رسانی سنتز پروتئین‌ها می‌تواند به درک بهتر نحوهٔ اثرگذاری این نوع تمرینات کمک کند.

تشکر و قدردانی

از تمام شرکت‌کنندگان در پژوهش، تقدیر و تشکر به‌عمل می‌آید. این پژوهش مستخرج از پایان‌نامهٔ دانشجویی مقطع دکتری به شمارهٔ ۱۲۵۴/د در دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه تبریز است. مؤلفان اظهار می‌دارند که منافع متقابلی از تألیف یا انتشار این مقاله ندارند.

منابع

1. Walker S, Santolamazza F, Kraemer W, Häkkinen K. Effects of prolonged hypertrophic resistance training on acute endocrine responses in young and older men. Journal of aging and physical activity. 2015;23(2):230-6.
2. Hoffman J. Physiological aspects of sport training and performance: Human Kinetics; 2014.
3. Rosa C, Vilaça-Alves J, Fernandes HM, Saavedra FJ, Pinto RS, dos Reis VM. Order effects of combined strength and endurance training on testosterone, cortisol, growth hormone, and IGF-1 binding protein 3 in concurrently trained men. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2015;29(1):74-9.
4. Burd NA, Tang JE, Moore DR, Phillips SM. Exercise training and protein metabolism: influences of contraction, protein intake, and sex-based differences. Journal of applied physiology. 2009;106(5):1692-701.
5. Cadore EL, Lhullier FLR, Brentano MA, da Silva EM, Ambrosini MB, Spinelli R, et al. Hormonal responses to resistance exercise in long-term trained and untrained middle-aged men. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2008;22(5):1617-24.
6. Ahtiainen JP, Pakarinen A, Alen M, Kraemer WJ, Häkkinen K. Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. European journal of applied physiology. 2003;89(6):555-63.
7. Paunksnis MR, Evangelista AL, La Scala Teixeira CV, Alegretti João G, Pitta RM, Alonso AC, et al. Metabolic and hormonal responses to different resistance training systems in elderly men. The Aging Male. 2018;21(2):106-10.
8. Ribeiro AS, Schoenfeld BJ, Fleck SJ, Pina FL, Nascimento MA, Cyrino ES. Effects of traditional and pyramidal resistance training systems on muscular strength, muscle mass, and hormonal responses in older women: a randomized crossover trial. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2017;31(7):1888-96.
9. Hall JE. Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology E-Book: Elsevier Health Sciences; 2015.
10. Hayes LD, Herbert P, Sculthorpe NF, Grace FM. Exercise training improves free testosterone in lifelong sedentary aging men. Endocrine connections. 2017;6(5):306-10.
11. Mangine GT, Hoffman JR, Gonzalez AM, Townsend JR, Wells AJ, Jajtner AR, et al. Exercise-Induced Hormone Elevations Are Related to Muscle Growth. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2017;31(1):45-53.

12. Smilios I, Pilianidis T, Karamouzis M, Tokmakidis SP. Hormonal responses after various resistance exercise protocols. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2003;35(4):644-54.
13. Wernbom M, Augustsson J, Raastad T. Ischemic strength training: a low-load alternative to heavy resistance exercise? Scandinavian journal of medicine & science in sports. 2008;18(4):401-16.
14. Taylor CW, Ingham SA, Ferguson RA. Acute and chronic effect of sprint interval training combined with postexercise blood-flow restriction in trained individuals. Exp Physiol. 2016;101(1):143-54.
15. Shimizu R, Hotta K, Yamamoto S, Matsumoto T, Kamiya K, Kato M, et al. Low-intensity resistance training with blood flow restriction improves vascular endothelial function and peripheral blood circulation in healthy elderly people. Eur J Appl Physiol. 2016;116(4):749-57.
16. Neto GR, Novaes JS, Dias I, Brown A, Vianna J, Cirilo-Sousa MS. Effects of resistance training with blood flow restriction on haemodynamics: a systematic review. Clin Physiol Funct Imaging. 2016.
17. Basereh A, hovanloo F, Dehghan P, Khoramipour K. Effect of blood flow restriction deal during isometric exercise on growth hormone and testosterone active. males2016
18. Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. Sports Medicine. 2005;35(4):339-61.
19. Ramis TR, da Silva Medeiros N, de Lemos Muller CH, Boeno F, Silveira D, Souza LG, et al. Effects of Acute Exercise with Blood Flow Restriction on Oxidative Stress Biomarkers. International Journal of Sports Science. 2017;7(5):191-5.
20. 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. Growth Hormone & IGF Research. 2012;22(5):167-72.
21. Jessee MB, Buckner SL, Dankel SJ, Counts BR, Abe T, Loenneke JP. The Influence of Cuff Width, Sex, and Race on Arterial Occlusion: Implications for Blood Flow Restriction Research. Sports Med. 2016;46(6):913-21.
22. Hunt JE, Stodart C, Ferguson RA. The influence of participant characteristics on the relationship between cuff pressure and level of blood flow restriction. Eur J Appl Physiol. 2016;116(7):1421-32.
23. 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. Journal of sports science & medicine. 2014;13(1):91.
24. Bidlingmaier M, Friedrich N, Emeny RT, Spranger J, Wolthers OD, Roswall J, et al. Reference intervals for insulin-like growth factor-1 (IGF-I) from birth to senescence: results from a multicenter study using a new automated chemiluminescence IGF-I immunoassay conforming to recent international recommendations. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 2014;99(5):1712-21.
25. Patterson SD, Leggate M, Nimmo MA, Ferguson RA. Circulating hormone and cytokine response to low-load resistance training with blood flow restriction in older men. Eur J Appl Physiol. 2013;113(3):713-9.
26. Larkin KA, Macneil RG, Dirain M, Sandesara B, Manini TM, Buford TW. Blood flow restriction enhances post-resistance exercise angiogenic gene expression. Med Sci Sports Exerc. 2012;44(11):2077-83.
27. 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;13(1):91-6.
28. Takano H, Morita T, Iida H, Asada K-i, 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. European journal of applied physiology. 2005;95(1):65-73.
29. Godfrey RJ, Madgwick Z, Whyte GP. The exercise-induced growth hormone response in athletes. Sports Medicine. 2003;33(8):599-613.
30. Weltman A, Weltman JY, Womack CJ, Davis SE, Blumer JL, Gaesser GA, et al. Exercise training decreases the growth hormone (GH) response to acute constant-load exercise. Medicine and science in sports and exercise. 1997;29(5):669-76.
31. Goto K, Ishii N, Kizuka T, Takamatsu K. The impact of metabolic stress on hormonal responses and muscular adaptations. Medicine and science in sports and exerc ise. 2005;37(6):955-63.
32. Bunt J, Boileau R, Bahr J, Nelson R. Sex and training differences in human growth hormone levels during prolonged exercise. Journal of Applied Physiology. 1986;61(5):1796-801.
33. Kjaer M, Bangsbo J, Lortie G, Galbo H. Hormonal response to exercise in humans: influence of hypoxia and physical training. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology. 1988;254(2):R197-R203.
34. Cook CJ, Kilduff LP, Beaven CM. Improving strength and power in trained athletes with 3 weeks of occlusion training. International journal of sports physiology and performance. 2014;9(1):166-72.
35. Karimi M, Sharifian M. Comparison of the effect of resistance training with blood flow restriction and traditional method on hormonal respons-

es in young male bodybuilders. Asian Exercise and Sport Science Journal. 2017;1(1):44-55.
36. Pullinen T, Mero A, Huttunen P, Pakarinen A, Komi PV. Resistance exercise-induced hormonal responses in men, women, and pubescent boys. Medicine and science in sports and exercise. 2002;34(5):806-13.
37. Correa-Silva SR, Lengyel AMJ. Influência dos glicocorticóides sobre o eixo somatotrófico. Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia. 2003.
38. Farhani F, Amani shalamzari S, Rajabi H, Abbasi A, Sarikhani A, Najarghabel R, et al. The effect of three weeks of small sided game with blood flow restriction on nervous and functional indicators of futsal players. Sport and Exercise Physiology. 2021; 14(1):9-20.
39. Madarame H, Neya M, Ochi E, Nakazato K, Sato Y, Ishii N. Cross-transfer effects of resistance training with blood flow restriction. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2008;40(2):258-63.
40. Madarame H, Sasaki K, Ishii N. Endocrine responses to upper-and lower-limb resistance exercises with blood flow restriction. Acta Physiologica Hungarica. 2010;97(2):192-200