

مقایسه اثرات تناوب های استراحتی بین ست های فعالیت مقاومتی بر سطح فاکتور رشد شبه انسولین-۱ و میوستاتین مردان بدنساز آماتور

چکیده

زمینه و هدف: میوستاتین و فاکتور رشد شبه انسولین-۱، پروتئین های کلیدی در تنظیم، رشد و هیپرتروفی بافت عضلانی هستند. هدف از مطالعه حاضر بررسی تاثیر تناوب های استراحتی بین ست های فعالیت مقاومتی بر سطح فاکتور رشد شبه انسولین-۱ و میوستاتین مردان بدنساز آماتور بود.

مواد و روش ها: ۱۲ مرد جوان بدنساز آماتور با دامنه سنی ۲۰ تا ۳۵ انتخاب شدند. پروتکل تمرین به صورت کانتربالانس اجرا شد به طوری که در هفته سوم آزمودنی ها حرکات فوق را با وهله یک دقیقه استراحت بین ست (RI1) اجرا کردند. در هفته چهارم، آزمودنی ها حرکات فوق را با تناوب استراحتی سه دقیقه ای (RI3) بین ست ها انجام دادند. خون گیری از ورید بازوی آزمودنی ها در سه گروه قبل (پیش آزمون)، پس از جلسه تمرین مقاومتی با تناوب استراحتی یک دقیقه ای بین ست ها (پس آزمون اول) و پس از جلسه تمرین مقاومتی با تناوب استراحتی سه دقیقه ای بین ست ها (پس آزمون دوم) انجام شد. از روش آماری تحلیل واریانس یک طرفه (آنوا) و آزمون تعقیبی توکی جهت تعیین اختلاف بین گروه ها در سطح معنی داری $p < 0.05$ استفاده شد.

نتایج: بنابر نتایج آزمون تحلیل واریانس یک طرفه بین سطوح IGF-1 در پیش آزمون، پس آزمون اول و دوم تفاوتی معنی دار وجود دارد ($P = 0.036$). در ادامه نتایج آزمون تعقیبی توکی نشان داد که تفاوت معنی داری بین پیش آزمون، پس آزمون اول و دوم وجود ندارد ($P > 0.05$). همچنین بنابر نتایج آزمون تحلیل واریانس یک طرفه بین سطوح MSTN در پیش آزمون، پس آزمون اول و دوم تفاوتی معنی دار وجود دارد ($P = 0.013$). در ادامه نتایج آزمون تعقیبی توکی نشان داد که تفاوت بین پیش آزمون و پس آزمون اول معنی دار بود ($P = 0.020$)، تفاوت بین پیش آزمون و پس آزمون دوم معنی دار و تفاوت بین پس آزمون اول و پس آزمون دوم معنی دار نبود ($P > 0.05$).

نتیجه گیری: مطابق یافته های پژوهش حاضر، ممکن است بتوان این دامنه استراحتی را نقطه افتراق پروتئین های فعال شونده در فرآیندهای توسعه قدرت و حجیم سازی در سطح سلولی مطرح کرد.

واژه های کلیدی: تمرین مقاومتی؛ فواصل استراحت؛ میوستاتین؛ فاکتور رشد شبه انسولین-۱

Comparison of the effects of rest intervals between sets of resistance exercise on insulin-like growth factor-1 and myostatin levels in male amateur bodybuilders

Abstract

Background and Purpose: the purpose of present study was comparison of the effects of rest intervals between sets of resistance exercise on insulin-like growth factor-1 and myostatin levels in male amateur bodybuilders.

Materials and Methods: Twelve young male amateur bodybuilders aged 20 to 35 were selected. The training protocol was implemented as a counterbalance, so that in the third week, the subjects performed the above movements with a one-minute rest interval between sets (RI1). In the fourth week, the subjects performed the above movements with a three-minute rest interval between sets (RI3). Blood was collected from the subjects' arm veins in three groups before (pre-test), after the resistance training session with a one-minute rest interval between sets (first post-test), and after the resistance training session with a three-minute rest interval between sets (second post-test). One-way analysis of variance (ANOVA) and Tukey's post-test were used to determine the difference between groups at a significance level of $p < 0.05$.

Results: there was a significant difference between the levels of IGF-1 in the pre-test, the first and second post-test ($P = 0.036$). In addition, there was no significant difference between the pre-test, the first and second post-test ($P > 0.05$). Also, there was a significant difference between the levels of MSTN in the pre-test, the first and second post-test ($P = 0.013$). In addition, the difference between the pre-test and the first post-test was significant ($P = 0.020$), the difference between the pre-test and the second post-test was significant, and the difference between the first and second post-test was not significant ($P > 0.05$).

Conclusion: According to the findings of the present study, this resting domain may be considered the point of differentiation of activated proteins in the processes of strength development and bulking at the cellular level.

Key words: Resistance training; Rest intervals; Myostatin; Insulin-like growth factor-1

فرایند رشد و ترمیم عضلات اسکلتی به عوامل مختلفی بستگی دارد؛ یکی از این عوامل مایوکاین‌ها هستند. مایوکاین‌ها، در واقع سایتوکاین‌هایی^۱ هستند که توسط میوسیت‌ها سنتز شده و در طی انقباض عضلانی آزاد می‌شوند و نقش مهمی در تنظیم عملکرد عضلات دارند (۱). میوستاتین^۲، که با نام‌های MSTN یا GDF8 نیز شناخته می‌شود، یک مهارکننده رشد عضلانی است که رشد عضلات اسکلتی را متوقف می‌کند. این پروتئین بخشی از ابرخانواده فاکتور رشد تغییر شکل‌دهنده بتا^۳ (TGF- β) است. در زمینه آتروفی عضلانی، سطح بیان MSTN در حیوانات افزایش می‌یابد. کمبود MSTN باعث افزایش قابل توجه توده عضلانی اسکلتی در گونه‌های مدل، از جمله موش، گوسفند، اسب و انسان می‌شود. این امر با افزایش تعداد فیبرهای عضلانی (هیپرپلازی) و اندازه آن‌ها (هیپرتروفی) نشان داده شده است (۲). این پروتئین شامل ۳۷۶ باقیمانده اسید آمینه است و در ابتدا به عنوان یک پیش‌ساز غیرفعال وجود دارد که از طریق برش پروتئولیتیک فعال می‌شود. ویژگی‌های ساختاری MSTN شامل یک پپتید سیگنال، یک ناحیه پیش‌ساز و یک قطعه C-ترمینال بالغ است که مسئول اتصال به گیرنده و اجرای عملکردهای بیولوژیکی است (۳). فاکتور رشد شبه انسولین-۱^۴ (IGF-1) نیز یک واسطه مؤثر در کاهش اختلال عملکرد اندام‌های ناشی از بیماری با ترویج تکثیر و تمایز سلولی است. علاوه بر این، IGF-1 ارتباط نزدیکی با توسعه توده عضلانی و قدرت و تنظیم متابولیسم و بازسازی عضلات اسکلتی دارد (۴). IGF-1 مهمترین عضو خانواده سوماتودین‌ها است و نقش مهمی در تمایز سلولی، سوخت و ساز و حیات دارد. این هورمون در کبد و عضله اسکلتی تولید شده و از طریق تنظیم افزایشی میوژنین و همچنین تنظیم کاهشی P21 سبب فعال‌سازی تکثیر و تمایز سلول‌های اقماری می‌گردد (۵). مطالعات قبلی نشان داده‌اند که ورزش می‌تواند بیان IGF-1 را در عضلات اسکلتی تحت شرایط پاتولوژیک افزایش دهد و توده عضلانی و عملکرد آن را بهبود بخشد. یک مطالعه اخیر نشان داده است که افراد سالم می‌توانند IGF-1 کافی ترشح کنند و سیگنالینگ فسفاتیدیل اینوزیتول ۳-کیناز^۶ (PI3K)/پروتئین کیناز B^۷ (Akt) را برای تقویت هیپرتروفی عضلات تحریک کنند. در مدل‌های پیری، کاهش بیان IGF-1 در عضله اسکلتی مشاهده شد و غیرفعال شدن مسیر سیگنالینگ IGF-1/PI3K/Akt سنتز پروتئین را کاهش داد (۴). عضله اسکلتی برای بسیاری از فرآیندهای حرکتی و متابولیسمی که برای سلامتی حیاتی هستند، ضروری است. انجام منظم تمرینات مقاومتی (RT)، انقباض عضلات در برابر مقاومت خارجی و سلامت عضلات را بهبود می‌بخشد، به طور خاص RT. توده عضلانی اسکلتی (یعنی هیپرتروفی)، قدرت و عملکرد بدنی (سرعت راه رفتن، زمان‌بندی برخاستن و رفتن، نشستن و برخاستن از صندلی و غیره) را افزایش می‌دهد. RT شامل متغیرهای برنامه‌ریزی متعددی مانند بار، ست‌ها، فرکانس، فواصل استراحت^۸ (RI)، نوع عمل عضله و سرعت است (۶). یکی از متغیرهای تمرینی که توجه نسبتاً کمی به آن شده است، فاصله استراحت بین ست‌ها است. گنجاندن استراحت کافی بین ست‌ها ضروری است، به ویژه هنگامی که هدف، توسعه حداکثر قدرت است. باید به عضلات یک دوره ریکاوری داده شود تا آدنوزین تری فسفات و فسفوکراتین درون عضلانی دوباره سنتز شوند و مواد ایجاد کننده خستگی از بدن پاک شوند. این فرآیند امکان بازیابی تولید نیرو را فراهم می‌کند که برای حفظ شدت تمرین و تکرارها در محدوده‌ای که امکان توسعه حداکثر قدرت را فراهم می‌کند، ضروری است (۷).

مطالعات انجام شده درباره مدت زمان استراحت بین دوره‌های تمرینی، فواصل استراحت یک، سه و پنج دقیقه را مقایسه کردند، اما اغلب آنها بر نتایج اجرایی حاصل از این فاصله‌های زمانی مختلف متمرکز شدند و سازوکارهای سلولی و مولکولی این تغییرات را کمتر مورد بررسی قرار دادند (۸). گرجیک و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش

^۱Myokines

^۲Cytokines

^۳Myostatin

^۴Transforming growth factor- β

^۵Insulin-like growth factor-1

^۶Phosphatidylinositol 3-kinase

^۷Protein kinase B

^۸Rest intervals

مروری خود در این زمینه به این نتیجه رسیدند که برای بهبود قدرت افراد تمرین کرده فاصله‌های زمانی بیش از دو دقیقه استراحت لازم است، اما در افراد تمرین نکرده (احتمالاً به علت آمادگی کمتر) فاصله‌های زمانی حتی یک دقیقه‌ای هم ممکن است قدرت را بهبود بخشد. آنها تأکید کردند که سازوکارهای سلولی-مولکولی این نتایج مشخص نیست و پژوهش‌های بیشتری لازم است (۹). برای نمونه، عباسی و مقدسی (۲۰۲۳) مشاهده کردند که سطح مقطع عضلات همسترینگ، چهارسر ران و کل عضلات ناحیه ران پس از هر دو شیوه تمرینی (تمرین مقاومتی با استراحت های ۳۰ و ۱۲۰ ثانیه‌ای) در زنان جوان سالم افزایش معنی‌داری پیدا کرد، اما سطوح IGF-1، تنها پس از تمرین مقاومتی با استراحت ۱۲۰ ثانیه افزایش معنی‌داری داشت (۱۰). در مقابل گریزی و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که میزان بیان ژن IGF-1 عضله در بین گروه‌های کنترل و گروه‌های تمرینی که شامل یک جلسه تمرین مقاومتی (صعود از نردبان عمودی یک‌متری با ۲۶ پله) با چهار نوبت و پنج تکرار همراه با استراحت‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ ثانیه‌ای بین نوبت‌ها بود در موش‌های صحرایی نر ویستار تفاوت معنی‌داری نداشت (۸). در ادامه کریمی فرد و همکاران (۲۰۲۳) دریافتند که تمرینات مقاومتی تکنیک استراحت-مکث^۱ (RP) و سنتی^۲ (TRT) سطوح MSTN را در مردان تمرین کرده تفریحی به‌طور معنی‌داری کاهش داد (۱۱). اما اسدپور و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که تمرین مقاومتی با دو دقیقه استراحت بین ست‌های تمرینی منجر به افزایش معنی‌داری در محتوای پروتئین MSTN در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل در موش‌های صحرایی سالمند شد (۱۲). با توجه به نتایج متفاوت، مطلوب ترین زمان استراحت برای ایجاد هیپرتروفی عضلانی و ترشح هورمون‌های مؤثر بر آن مشخص نیست. از طرف دیگر اگرچه چندین مطالعه سعی در تعیین مدت زمان استراحت مطلوب بین ست‌های تمرینات مقاومتی داشته اند اما مطالعه‌ای که در آن میزان هیپرتروفی و هورمون های کاتابولیک و آنابولیک مؤثر در آن را یکجا مورد بررسی قرار داده باشد انجام نشده است (۱۰). لذا در مطالعه حاضر اثر تناوب‌های استراحتی بین ست‌های تمرینات مقاومتی را بر سطوح IGF-1 و MSTN مردان بدنساز آماتور مورد بررسی قرار گرفته است.

روش پژوهش

جامعه آماری این پژوهش را مردان تمرین کرده مقاومتی با دامنه سنی ۲۰ تا ۳۵ سال تشکیل دادند. حجم نمونه در این پژوهش، ۱۲ نفر تعیین شد که به طور متوسط یک سال سابقه انجام فعالیت‌های بدنسازی را داشتند. آزمودنی‌ها به صورت داوطلبانه و بر حسب تمایل خود در پژوهش شرکت کردند. ملاک انتخاب آزمودنی‌ها، ورزشکار بودن مردان جوان، نداشتن سابقه هیچ‌گونه بیماری مانند بیماری قلبی عروقی، کلیوی، ریوی، دیابت و تیروئیدی و عدم مصرف سیگار و الکل و دارو و مکمل بود. فرآیند اجرای کار و مراحل خون گیری برای آزمودنی ها توضیح داده می شود که آن ها متعهد شوند که حضوری منسجم در برنامه داشته و مواردی که از آن ها خواسته می شود را رعایت کنند. همچنین، به آزمودنی ها این اطمینان داده می شود که اطلاعات آن ها محرمانه باقی بماند و هر زمانی که احساس رنجش کنند می توانند از اجرای پروتکل خارج شوند. برای اندازه‌گیری شاخص‌هایی مانند قد و وزن از متر نواری و ترازوی دیجیتالی استفاده گردید. شاخص توده بدنی (BMI)^۳ از نسبت وزن بر حسب کیلوگرم بر مجذور قد بر حسب متر به دست آمد. برای تعیین درصد چربی بدن آزمودنی‌ها، ابتدا ضخامت چربی زیر پوستی در چهار نقطه شکم، سه سر بازو، ران و فوق خاصره با استفاده از کالیپر اندازه‌گیری شد (۱۳). سپس اعداد به‌دست آمده در معادله جکسون و پولاک برای تعیین چگالی بدن در مردان جوان جای‌گذاری گردید (۱۴). با قرار دادن مقدار عددی محاسبه شده در معادله سیری درصد چربی بدن محاسبه شد (۱۵).

$$۴۵۰ - (\text{چگالی بدن} \div ۴۹۵) = \text{درصد چربی بدن}$$

^۱Rest-pause

^۲Traditional resistance training

^۳Body Mass Index

از معادله برزیسکی برای تعیین یک تکرار بیشینه^۱ (۱۰۰۰) در تمرینات مقاومتی استفاده شد (۱۶).

$$\text{وزنه‌ی جا به جا شده (کیلو گرم)} \\ \text{یک تکرار بیشینه} = \frac{0.7 \times \text{تعداد تکرار تا خستگی} - 10278}{10278}$$

پس از تعیین ۱۰۰۰، آزمودنی‌ها اولین جلسه پروتکل فعالیت مقاومتی بالاتنه که به ترتیب اجرا شامل پرس سینه با هالتر، پرس سرشانه با هالتر نشسته، پشت بازو با هالتر نشسته و جلو بازو با هالتر نشسته بود را انجام دادند. پروتکل فوق به صورت کانتربالانس اجرا شد به طوری که در هفته سوم آزمودنی‌ها حرکات فوق را با وهله یک دقیقه استراحت بین ست (RI1) اجرا کردند. در هفته چهارم، آزمودنی‌ها حرکات فوق را با تناوب استراحتی سه دقیقه‌ای (RI3) بین ست‌ها انجام دادند. در چنین شرایطی آزمودنی‌ها هر دو تناوب استراحتی را اجرا کردند. قبل از هر جلسه، آزمودنی‌ها یک گرم کردن استاندارد که شامل دو ست ۱۲ تکراری با ۴۰ درصد ۱۰۰۰ اجرای پرس سینه که قبلاً تعیین شده بود را انجام دادند (۱۷). دو دقیقه تناوب استراحتی برای گرم کردن اختصاص داده شد. بعد از دو دقیقه، پروتکل شروع و برای هر حرکت برای پنج ست ۱۰ تکراری با ۸۵ درصد ۱۰۰۰ اجرا شد (۱۸). فاصله استراحت بین هر حرکت پرس سینه با هالتر، پرس سرشانه با هالتر نشسته، پشت بازو با هالتر نشسته و جلو بازو با هالتر نشسته نیز یک و سه دقیقه بود (با توجه به زمان استراحت ست) (۱۷). نوع استراحت بین ست‌ها غیرفعال بود (۱۹). برای جلوگیری از وقفه بین فازهای درونگرا و برونگرا و همچنین برای انجام حداکثر تکرار در هر نوبت، آزمودنی‌ها مورد تشویق قرار گرفتند. همچنین، در صورت نیاز یک کمک حداقلی توسط هم تیمی در فاز درونگرا به آزمودنی داده شد تا تمامی ست‌های اجرا به پایان برسند (۲۰). از آزمودنی‌ها خواسته شد که حرکات کنترل شده‌ای را در سرتاسر دامنه حرکتی انجام و بین فازهای برونگرا و درونگرا مکثی صورت نگیرد (۱۷). فاز برونگرا سه ثانیه و درونگرا یک ثانیه اجرا شد (۲۱). برای به حداقل رسیدن اثرات چرخه شبانه روزی تمامی حرکات در ساعت خاصی از روز اجرا شدند. بعد از آزمودنی‌ها سرد کردن را به مدت ۱۰ دقیقه پیاده روی و حرکات کششی انجام دادند. افراد از اجرای هر گونه فعالیت و تمرین ورزشی در بازه زمانی اجرای پروتکل منع شدند.

۵ میلی‌لیتر خون از ورید بازوی آزمودنی‌ها قبل (پیش‌آزمون)، پس از جلسه تمرین مقاومتی با تناوب استراحتی یک دقیقه‌ای بین ست‌ها (پس‌آزمون اول) و پس از جلسه تمرین مقاومتی با تناوب استراحتی سه دقیقه‌ای بین ست‌ها (پس‌آزمون دوم) بعد از ۲۰ دقیقه استراحت روی صندلی گرفته شد. نمونه‌های خونی به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ و سرم جدا شد (مدل یونیورسال^۲، شرکت بهداد^۳، ایران). سرم در میکروتیوب‌های ۰/۵ میلی‌لیتری در شرایط دمایی ۸۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان ارزیابی‌های بیوشیمیایی نگهداری شد. برای ارزیابی بیوشیمیایی MDA از روش اسپکتروفتومتری استفاده شد.

داده‌ها به کمک نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۶، بررسی شدند؛ پس از تأیید طبیعی بودن توزیع داده‌ها با آزمون شاپیروویلک، بررسی همگن بودن داده‌ها توسط آزمون لون انجام شد. در آمار استنباطی نیز برای بررسی و تجزیه تحلیل فرضیه‌های پژوهش، از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (آنوا) و آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. آزمون فرضیه‌ها با سطح معناداری $p < 0.05$ انجام گرفت.

نتایج

میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای آنتروپومتریک پیش و پس از مداخله در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

^۱One-repetition maximum

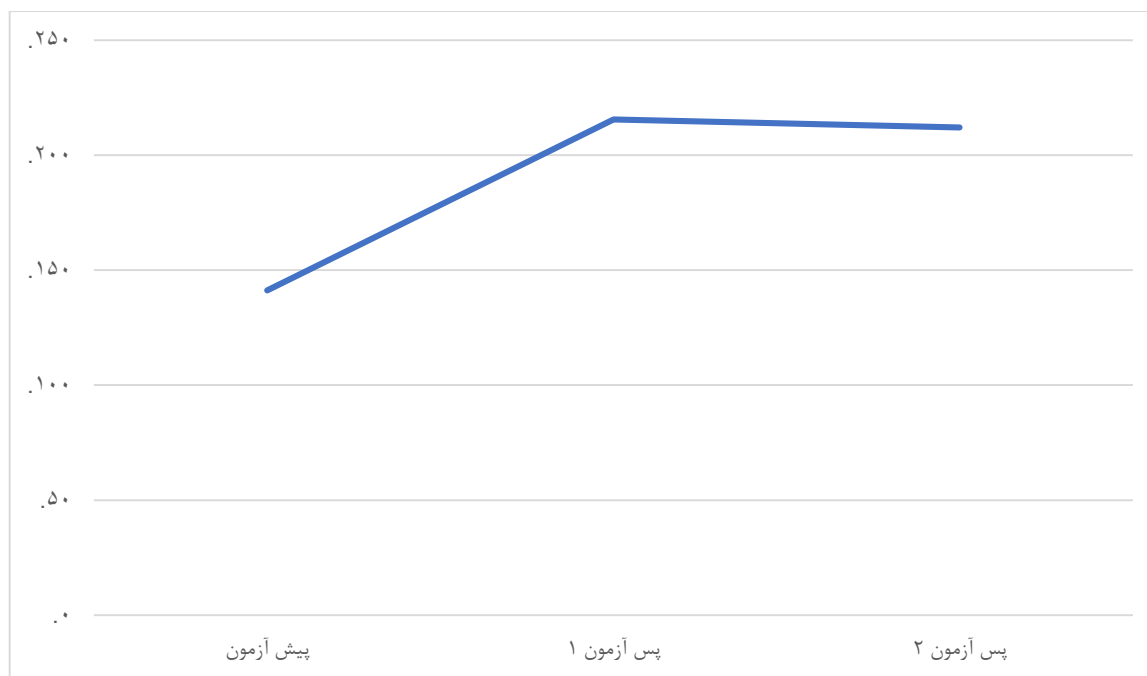
^۲Universal model

^۳Behdad corporation

جدول ۱. مقادیر آنترپومتری آزمودنی‌ها (میانگین $\pm$ انحراف استاندارد)

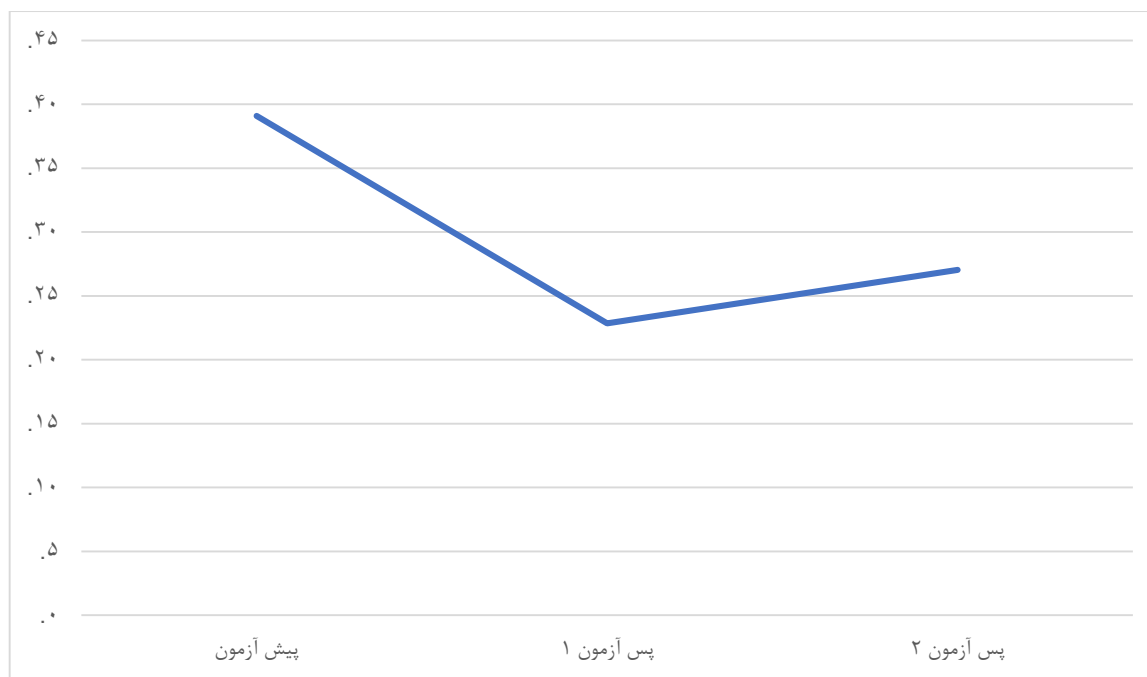
ویژگی‌های آزمودنی	خطای استاندارد $\pm$ میانگین
سن (سال)	۲۵/۱۴ $\pm$ ۳/۷۶
وزن (کیلوگرم)	۸۲/۰۸ $\pm$ ۹/۸۱
قد (سانتی‌متر)	۱۷۸/۱۴ $\pm$ ۵/۰۱
درصد چربی بدن (%)	۷/۰۷ $\pm$ ۲۱/۲۲
شاخص توده بدن (کیلوگرم بر مترمربع)	۳۴/۸۸ $\pm$ ۴/۴۴

بنابر نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه بین سطوح IGF-1 در پیش‌آزمون، پس‌آزمون اول و دوم تفاوتی معنی‌دار وجود دارد ($P=0/036$). در ادامه نتایج آزمون تعقیبی توکی نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین پیش‌آزمون، پس‌آزمون اول و دوم وجود ندارد ($P>0/05$) (شکل ۱)



شکل ۱. نمودار میانگین متغیرهای IGF-1

همچنین بنابر نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه بین سطوح MSTN در پیش‌آزمون، پس‌آزمون اول و دوم تفاوتی معنی‌دار وجود دارد ($P=0/013$). در ادامه نتایج آزمون تعقیبی توکی نشان داد که تفاوت بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون اول معنی‌دار بود ($P=0/020$)، تفاوت بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون دوم معنی‌دار و تفاوت بین پس‌آزمون اول و پس‌آزمون دوم معنی‌دار نبود ($P>0/05$) (شکل ۲).



شکل ۲. نمودار میانگین متغیرهای MSTN

بحث

با توجه به نتایج به دست آمده بین تناوب های استراحتی در ست های فعالیت مقاومتی بر سطح IGF-1 مردان تمرین کرده مقاومتی تفاوت معنی داری وجود ندارد. همچنین نتایج نشان داد که بین سطوح MSTN در بین پیش آزمون و پس آزمون اول تفاوت معنی دار بود. در حوزه مولکول های سیگنال دهنده، چندین مایوکاین به دلیل نقششان در مهار پاسخ هیپرتروفیک در عضلات شناخته شده اند. یک مایوکاین قابل توجه در این زمینه، میوستاتین (MSTN) است که به عنوان تنظیم کننده کلیدی توده عضلانی اسکلتی شناخته می شود. MSTN به گیرنده های اکتیوین نوع II واقع در عضلات اسکلتی متصل می شود و مسیر درون سلولی SMAD 2/3 را که مسئول مهار رشد عضلات است، فعال می کند. در مطالعاتی که روی موش های تراریخته با ژن MSTN مختل شده انجام شد، افزایش قابل توجهی در توده عضلانی (۲ تا ۳ برابر) بدون افزایش متناظر در بافت چربی مشاهده شد. در نتیجه سارکوپنی، سطح فاکتور رشد شبه انسولین ۱ (IGF-1) تمایل به کاهش دارد، در حالی که فاکتورهای کاتابولیک، از جمله MSTN، اغلب افزایش می یابند. علاوه بر این، IGF-1 یک نشانگر قوی از فعالیت سلول های ماهواره ای است که منجر به افزایش تعداد سلول های ماهواره ای می شود. نشان داده شده است که IGF-1 با افزایش تنظیم MSTN و کاهش تنظیم P21 در شرایط مختلف، تکثیر و تمایز سلول های ماهواره ای را افزایش می دهد. بنابراین، افزایش بیان IGF-1 در فرآیند هیپرتروفی عضلات، به ویژه تحت بارگذاری مکانیکی، بسیار مهم تلقی می شود (۲۲). در واقع IGF-1 یک واسطه مؤثر در کاهش اختلال عملکرد اندام های ناشی از بیماری با ترویج تکثیر و تمایز سلولی است. علاوه بر این، IGF-1 ارتباط نزدیکی با توسعه توده عضلانی و قدرت و تنظیم متابولیسم و بازسازی عضلات اسکلتی دارد. مطالعات قبلی نشان داده اند که ورزش می تواند بیان IGF-1 را در عضلات اسکلتی تحت شرایط پاتولوژیک افزایش دهد و توده عضلانی و عملکرد آن را بهبود بخشد (۲۳). یک مطالعه به بررسی تاثیر فواصل استراحت مختلف بین ست ها بر IGF-1، در مردانی که دو پروتکل تمرین مقاومتی سنگین را انجام دادند پرداخت که از نظر حجم کل کار (ست ها × تکرارها × بار) مشابه بودند، اما از نظر طول استراحت بین ست ها (۱ در مقابل ۳ دقیقه) متفاوت بودند. غلظت سرمی IGF-1 در طول یک ساعت پس از تمرین به طور قابل توجهی افزایش یافت اما از نظر طول استراحت تفاوتی دیده نشد (۲۴). نتیجه این پژوهش تا حدود زیادی با پژوهش حاضر همسو است. امیرساسان و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان دادند که سطوح IGF-1، قبل، بلافاصله و دو ساعت بعد از فعالیت مقاومتی (۶۰ درصد ۱۰۰ و

تناوب استراحت یک دقیقه بین ست‌ها)، اختلاف معنی‌داری نداشت (۲۵). ناهمسو با پژوهش حاضر، شعبانی و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که یک جلسه فعالیت مقاومتی که شامل سه حرکت پرس، پشت و اسکات پا با شدت ۷۵ درصد ۱۰۰ برای هر حرکت بود و آزمودنی‌ها هر حرکت را در سه ست با ۱۲ تکرار و استراحت ۹۰ ثانیه‌ای بین ست‌ها اجرا کردند سبب افزایش معنی‌دار میزان IGF-1 گردید (۲۶). بامن و همکاران (۲۰۰۱) نیز بیان ژن IGF-1 عضله بر اثر اجرای یک جلسه تمرین مقاومتی با یک تا دو دقیقه استراحت بین ست‌ها را گزارش کرده است (۲۷).

مهار حاد سیگنالینگ میوستاتین با استفاده از یک مهارکننده ActRIIB، وزن بافت چربی قهوه‌ای^۱ (BAT) را افزایش داده و عملکرد میتوکندری، مصرف انرژی و تحمل سرما را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، افزایش میوستاتین سرم در موش‌هایی که در معرض دمای بالا قرار گرفته‌اند و ظرفیت ورزشی آنها کاهش یافته است، مشاهده شده است. به نظر می‌رسد عضله اسکلتی منبع اصلی میوستاتین است، با این حال، نشان داده شده است که بافت چربی قهوه‌ای نقش مهمی در سطح میوستاتین سرم دارد و می‌تواند مقادیر قابل توجهی از میوستاتین را در پاسخ به گرم شدن خون ترشح کند. منابع موجود نشان می‌دهند که ورزش باعث ایجاد تغییرات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی در بافت چربی سفید^۲ (WAT) نسبت به BAT می‌شود. تمرین ورزشی، قهوه‌ای شدن WAT را یا با تحریک سیستم عصبی سمپاتیک^۳ (SNS) و آزادسازی نوراپی‌نفرین^۴ (NE) در حین ورزش یا با تغییر مایوکاین‌ها از جمله میوستاتین، افزایش می‌دهد (۲۸). همسو با پژوهش حاضر، کاظمی و نورشاهی (۲۰۱۳) دریافتند که دو جلسه فعالیت مقاومتی دایره‌ای نمی‌تواند اثرات قابل توجهی بر پاسخ حاد و تأخیری MSTN و مقاومت به انسولین داشته باشد. برنامه فعالیت مقاومتی دایره‌ای به صورت هفت حرکت [پرس سینه، کشش زیر بغل از بالا با دست باز، پرس پا، پرس سر شانه، جلو ران (باز کردن زانو)، پشت ران (خم کردن زانو) و جلو بازو] با شدت ۵۵ درصد ۱۰۰ در سه دور با ۱۵ تکرار، با ۳۰ ثانیه استراحت بین هر حرکت و دو دقیقه استراحت بین هر ست انجام گرفت (۲۹). اعظمیان جزی و عبدالله (۲۰۲۴) نشان دادند که تمرین مقاومتی با کش الاستیک با فواصل استراحتی ۳۰ تا ۹۰ ثانیه بین ست‌های تمرین سبب کاهش معنی‌دار سطوح سرمی میوستاتین در زنان سالمند دارای اضافه وزن گردید (۳۰). ناهمسو با پژوهش حاضر، می‌توان به مطالعه ویلویی و همکاران (۲۰۰۴) اشاره کرد. آنان بیان کردند که تمرین مقاومتی با شدت ۸۵ تا ۹۰ درصد ۱۰۰ منجر به افزایش بیان ژن میوستاتین (۳۲ درصد) می‌شود (۳۱). با توجه به این نتایج می‌توانیم بگوییم که هنوز مکانیسم دقیق کاهش میوستاتین مشخص نشده است؛ با این حال مشخص شده است که تغییرات میوستاتین در سالمندان و به ویژه در زنان بیشتر از مردان می‌باشد. این تغییرات را به کلیرانس میوستاتین از سنتز تا تجزیه و هم‌چنین تغییرات هورمون‌های آنابولیکی مسئول رشد از جمله تستوسترون، هورمون رشد و IGF-1 نسبت داده‌اند (۱۲).

نتیجه‌گیری

از آنجاکه دست یافتن به بهترین عملکرد برای ورزشکاران، که موفقیت آنها به کیلوگرم و حتی گرم قدرت و وزن بدن وابسته است، حائز اهمیت است، شناخت سازوکارهای سلولی-مولکولی اشکال مختلف این تمرینات ضروری است. پژوهش حاضر، با اجرای دو جلسه فعالیت مقاومتی با فواصل گوناگون استراحت و اندازه‌گیری شاخص‌های مربوط به حجیم‌سازی مشخص کرد که با فرض اینکه تغییرات سطوح پروتئین‌ها بر اثر اجرای دو جلسه فعالیت، به تغییرات پروتئین در اثر تمرینات طولانی مدت بینجامد، احتمال دارد دامنه استراحت بین یک تا سه دقیقه نقطه افتراق پروتئین‌های فعال شونده در فرآیندهای توسعه قدرت و حجیم‌سازی در سطح سلولی باشد.

^۱Brown adipose tissue

^۲White adipose tissue

^۳Sympathetic nervous system

^۴Norepinephrine

۱. Yousefvand Z, Rahmati M, Mirnasuri R. The Effect of 12 Weeks of Resistance Training on Serum Levels of Myonectin and FGF-21 in Inactive Middle-aged Men. *Journal of Arak University of Medical Sciences*. 2024;27(3):164-70.
۲. Yang H, Zheng Y, Yu T, Wu B, Liu Z, Liu S, et al. A functional role for myostatin in muscle hyperplasia and hypertrophy revealed by comparative transcriptomics in *Yesso scallop Patinopecten yessoensis*. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2025;307:142308.
۳. Zhong C, Zeng X, Yi X, Yang Y, Hu J, Yin R, et al. The Function of Myostatin in Ameliorating Bone Metabolism Abnormalities in Individuals with Type 2 Diabetes Mellitus by Exercise. *Current Issues in Molecular Biology*. 2025;47(3):158.
۴. Li B, Feng L, Wu X, Cai M, Yu JJ, Tian Z. Effects of different modes of exercise on skeletal muscle mass and function and IGF-1 signaling during early aging in mice. *Journal of Experimental Biology*. 2022;225(21):jeb244650.
۵. Rezaeimanesh D. The Effect of Selected Aquatic Training on Serum Levels of Insulin-like Growth Factor-1 and Myostatin in Middle-aged Male Swimmers. *Jundishapur Scientific Medical Journal*. 2024;23(2):103-13.
۶. Mcleod JC, Currier BS, Lowisz CV, Phillips SM. The influence of resistance exercise training prescription variables on skeletal muscle mass, strength, and physical function in healthy adults: An umbrella review. *Journal of sport and health science*. 2024;13(1):47-60.
۷. Willardson JM, Burkett LN. The effect of different rest intervals between sets on volume components and strength gains. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2008;22(1):146-52.
۸. Gorzi A, Jazaei R, Rahmani A, Bahari A. The effects of different rest interval durations between resistance exercise sets on gene expression of CGRP and IGF-1 of muscle in male wistar rats. *Research in Sport Medicine and Technology*. 2019;17(18):23-33.
۹. Grgic J, Schoenfeld BJ, Skrepnik M, Davies TB, Mikulic P. Effects of rest interval duration in resistance training on measures of muscular strength: a systematic review. *Sports Medicine*. ۲۰۱۸;۴۸:۱۳۷-۵۱.
۱۰. Abbasi T, Moghadasi M. Comparison the effect of very short vs. short rest period between the sets in resistance training on hormonal adaptations and thigh muscles hypertrophy. *Sport Physiology & Management Investigations*. 2023;15(3):57-70.
۱۱. Karimifard M, Arazi H, Mehrabani J. Twelve weeks rest-pause and traditional resistance training: effects on myokines and performance adaptations among recreationally trained men. *Stresses*. ۲۰۲۳;۲(۱):۳۰۲-۱۵.
۱۲. Asadpour SM, Daryanoosh F, Salesi M, Nemati J. Effect of Eight Weeks of Resistance Training on Myostatin and Follistatin Proteins Content in Gastrocnemius Muscle Tissue of Elderly Rats. *The Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences*. 2020.۲۱۲۴-۴۳:(۱۰)۲۸;
۱۳. Kraemer WJ, Fleck SJ. Optimizing strength training: designing nonlinear periodization workouts: *Human Kinetics*; 2007.
۱۴. Jackson AS, Pollock ML, Ward A. Generalized equations for predicting body density of women. *Medicine and science in sports and exercise*. 1980;12(3):175-81.
۱۵. Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. 1956.
۱۶. Brzycki M. Strength testing—predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *Journal of physical education, recreation & dance*. 1993;64(1):88-90.
۱۷. Rodrigues BM, Dantas E, de Salles BF, Miranda H, Koch AJ, Willardson JM, et al. Creatine kinase and lactate dehydrogenase responses after upper-body resistance exercise with different rest intervals. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2010;24(6):1657-62.
۱۸. Senna GW, Dantas EHM, Scudese E, Brandão PP, Lira VA, Baffi M, et al. Higher muscle damage triggered by shorter inter-set rest periods in volume-equated resistance exercise. *Frontiers in physiology*. 2022;13:82.۷۸۴۷
۱۹. Eiras A, Reis R, Silva P, Monteiro A, Machado M. Comparison of two different rest intervals on drop jump: effects on muscle damage markers. *Biomedical Human Kinetics*. 2009;1:76.

۲۰. Azizbeigi K, Atashak S, Stannard SR. Effect of different rest interval lengths of resistance exercise on lipid peroxidation and creatine kinase responses. *Kinesiology*. 2015;47(2.):139-44.
۲۱. Ghaderi M, Rahimi R, Ravasi A, Jaafari M. The effect of rest interval between sets on markers of muscle damage in professional bodybuilders. *Glob J Eng Technol*. 2012;3:9-15.
۲۲. Barzegari Marvast H, Akbarnejad A, Norouzi J. Effect of 12 Weeks Incremental Resistance Training on Serum Levels of Myostatin, Follistatin, and IGF-I in Sedentary Elderly Men. *Iranian Journal of War and Public Health*. 2024;16(1):1-8.
۲۳. Li B-W, Feng L-L, Tian Z-J. Research progress of the role of IGF-1 in metabolic diseases and the effect of exercise intervention. *Sheng li xue bao:[Acta Physiologica Sinica]*. 2021;73(2):342-52.
۲۴. Boroujerdi SS, Rahimi R. Acute GH and IGF-I responses to short vs. long rest period between sets during forced repetitions resistance training system. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*. 2008;30(2):31-8.
۲۵. Amirsasan R, Sari-Saraf V, Pourgholi T, Armanfar M. Comparing the effects of combined endurance-resistance training versus resistance-endurance on growth hormone and insulin-like growth factor-I in non-athlete prepubertal girls. *Feyz Medical Sciences Journal*. 2015;19(3):214-22.
۲۶. Shabani M, Hovanloo F, Ebrahim K, Hedayati M. The effect of acute resistance exercise on BDNF, IGF-1 and IGFBP-3 in the elderly. *Iranian Journal of Ageing*. 2014;9(3):218-26.
۲۷. Bamman MM, Shipp JR, Jiang J, Gower BA, Hunter GR, Goodman A, et al. Mechanical load increases muscle IGF-I and androgen receptor mRNA concentrations in humans. *American journal of physiology-endocrinology and metabolism*. 2001;280(3):E383-E90.
۲۸. Rahmani N, Motamedi P, Amani-Shalamzari S, Escobar KA, Suzuki K. Swimming in cold water increases the browning process by diminishing the Myostatin pathway. *Molecular Biology Reports*. 2024;51(1):884.
۲۹. Kazemi F, Nourshahi M. Acute and Delayed Response of Myostatin and Insulin Resistance to Circuit Resistance Exercise. *Journal of Sport Biosciences*. 2013;4(14):129-43.
۳۰. Azamian Jazi A, Abdellah E. The effects of elastic band resistance training on serum levels of growth differentiation factor 11, myostatin, and insulin resistance in overweight elderly women. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2024;17(3):91-106.
۳۱. Willoughby DS. Effects of an alleged myostatin-binding supplement and heavy resistance training on serum myostatin, muscle strength and mass, and body composition. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*. 2004;14(4):461-72.