



Comparison of the effect of 8 weeks of intense interval training and resistance training on serum myostatin, follistatin and irisin indices in young athletic and non-athletic girls

Saeed Ilbeigi^{1*}, Atena Hakimian², Abbas Farjad Pezeshk³, Fatemeh Hajizadeh⁴

1. Corresponding Author, Associate Professor, Department of Sports Biomechanics, Faculty of Sports Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran. silbeigi@birjand.ac.ir
2. MSC, Department of Exercise Physiology, Faculty of Sports Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran. atenahakim@gmail.com
3. Assistant Professor, Department of Sports Biomechanics, Faculty of Sports Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran. abbas.farjad@birjand.ac.ir
4. PhD Student, Department of Exercise Physiology, Faculty of Sports Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran. fatemehajizade@chmail.ir

Article Information

Abstract

Article type: Research Article

Vol: 16
No: 32
P: 135-147
Received: 2025-02-04
Revised: 2025-04-25
Accepted: 2025-05-07

Cite this Article:

Saeed Ilbeigi, Atena Hakimian, Abbas Farjad Pezeshk, Fatemeh Hajizadeh. The effect of 8 weeks of high-intensity interval training and resistance training on serum myostatin, follistatin, and irisin levels in young female athletes and non-athletes. *Journal of Sport and Biomotor Sciences*. 2024-2025; 16(32): 135-147.
doi: 10.22034/sbs.2025.503943.1130

Publisher: Hakim Sabzevari University

© The Author(s)



 10.22034/sbs.2025.503943.1130

Introduction and Purpose: Follistatin, myostatin, and irisin are key proteins involved in the regulation of muscle hypertrophy and atrophy. This study aimed to compare the effects of eight weeks of high-intensity interval training (HIIT) and resistance training on serum levels of myostatin, follistatin, and irisin in young athletic and non-athletic women.

Materials and Methods: A total of 48 women aged 18 to 25, both athletic and non-athletic, were randomly assigned into four experimental groups (n=12 per group): athletic-HIIT, athletic-resistance training, non-athletic-HIIT, and non-athletic-resistance training. The participants in the training groups performed their respective exercise protocols three times per week for eight weeks. The HIIT protocol included three sets of the RAST protocol, in which each participant sprinted six 35-meter intervals at maximum speed per set. The number of sets was progressively increased: one additional set per week up to week four, and then one additional set every two weeks from week five to week eight, reaching a total of eight sets. The resistance training group performed eight resistance exercises in a circuit format during each session. In the first two weeks, exercises were performed at 65–75% of 1RM (equivalent to 10–12 repetitions), and from week three onward, intensity was increased to 80–85% of 1RM (equivalent to 4–6 repetitions). Paired t-tests and ANOVA were used to compare pre- and post-test within-group differences, and the Bonferroni test was applied for between-group comparisons. Statistical significance was set at $P < 0.05$.

Results: In all four groups, post-test results showed an increase in the mean serum levels of follistatin and irisin and a decrease in myostatin compared to pre-test levels, with greater improvements observed in athletic participants ($P < 0.05$). ANOVA results indicated no significant differences among the four groups in serum myostatin and follistatin levels ($P > 0.05$). However, significant differences were found in serum irisin levels: between the athletic-resistance group and both the non-athletic-HIIT and non-athletic-resistance groups ($P < 0.05$), as well as between the athletic-HIIT group and both non-athletic groups. A significant difference was also observed between the non-athletic-HIIT and non-athletic-resistance groups ($P < 0.05$).

Discussion and Conclusion: It appears that eight weeks of high-intensity interval and resistance training can reduce myostatin and increase follistatin and irisin serum levels in both athletic and non-athletic young women. These improvements were more pronounced in the athletic participants.

Key Words: Myostatin, Follistatin, Serum Irisin, High-Intensity Interval Training

Extended Abstract

1. Introduction and Purpose

Skeletal muscle plays a vital role not only in posture and movement but also as an endocrine organ through the secretion of signaling molecules known as *myokines*. These molecules include autocrine, paracrine, and endocrine factors that influence muscle function and systemic health. Among the key myokines, *myostatin* is recognized as a negative regulator of muscle growth; elevated levels of myostatin are associated with muscle atrophy, while its inhibition promotes hypertrophy. Myostatin primarily functions by binding to ActRIIA and ActRIIB receptors. Another important regulator is *follicistatin*, a glycoprotein that antagonizes myostatin by binding to its receptors, thereby promoting muscle growth and tissue regeneration. *Irisin*, a more recently discovered adipomyokine, facilitates communication between muscles and other tissues and is linked to energy metabolism and the browning of white fat. Although its role in chronic exercise remains debated, it is generally believed to support physical performance by enhancing metabolic efficiency. Exercise—especially resistance training and high-intensity interval training (HIIT)—is considered a non-pharmacological approach to enhancing muscle mass and health by modulating myokine levels. Resistance training tends to lower myostatin while increasing follicistatin and irisin, whereas HIIT can improve hormonal adaptations and body composition. Previous research has shown varying effects of these training modalities on myokines; however, no studies have compared the effects of resistance and HIIT protocols on myostatin, follicistatin, and irisin levels in both trained and untrained female participants. This gap in the literature motivated the present study, which aims to investigate and compare the effects of these two training methods on key myokines in athletic and non-athletic girls.

2. Materials and Methods

This study employs a quasi-experimental design and is classified as applied research. Forty-eight female athletes and non-athletes, aged 18 to 25 from Tabas city, were purposefully selected and randomly divided into four experimental groups: 12 athletes in the HIIT training group, 12 athletes in the resistance training group, 12 non-athletes in the HIIT training group, and 12 non-athletes in the resistance training group. Participants in the training groups engaged in specialized exercises three times a week for eight weeks. The exercise protocol for the HIIT training group consisted of three sets of the Rast protocol,

where each set involved running a distance of 35 meters at maximum speed in six intervals, with a ten-second rest between each interval. After completing a set, participants rested for five minutes before starting the next set. The exercise intensity progressed, with one set added per week until the fourth week, and one additional set introduced every two weeks from the fifth to the eighth week, ultimately reaching eight sets. The resistance training group performed three sessions per week, each consisting of eight stations arranged in a circular pattern. The resistance movements included eight exercises targeting both upper and lower body, practiced for two weeks at an intensity of 75-65% of 1RM (one-repetition maximum), equivalent to 10-12 maximum repetitions, before increasing to 85-80% of 1RM, corresponding to 4-6 maximum repetitions. The Shapiro-Wilk and Levene tests were utilized to assess normal distribution and the equality of variances, respectively. To compare intra-group changes between the pre-test and post-test stages in the training groups, the dependent t-test and ANOVA were applied, considering data normality. Differences between groups were examined using the Bonferroni test. Statistical analyses were conducted using SPSS version 24 software, with a significance level set at $P < 0.05$.

3. Results

The comparison of post-test and pre-test results across four groups revealed an increase in the mean serum follicistatin and irisin indices and a decrease in mean myostatin levels among both young athletes and non-athletes. Additionally, the performance of the athlete groups was superior to that of the non-athletes ($P = 0.001$). ANOVA results indicated no significant difference in serum myostatin and follicistatin among the four groups ($P > 0.05$). However, a significant difference was observed in serum irisin levels between the resistance training group of athletes and the interval training group of non-athletes. Furthermore, there was a notable difference between the interval training group of athletes and the interval training group of non-athletes, as well as between the interval training group of non-athletes and the resistance training group of non-athletes ($P < 0.05$). The findings of this study demonstrated that after 8 weeks of regular training, all four groups (athletes and non-athletes engaged in resistance training and high-intensity interval training) exhibited significant improvements in biochemical indices related to muscle health. These changes suggest the positive effects of both types of exercise on enhancing the body's hormonal and metabolic status. Although both forms of exercise effectively improve hormonal levels, the training of

athletes, in particular, leads to more pronounced increases in irisin, which may be linked to improved metabolic function, muscle adaptations, and better body composition.

4. Conclusions

This study's results indicate that exercise training, particularly resistance and high-intensity interval training (HIIT), significantly affects the levels of key myokines such as myostatin, follistatin, and irisin, thus improving the metabolic and muscular status of individuals. The most important finding is the positive impact of exercise training on reducing myostatin (which inhibits muscle growth) while increasing follistatin and irisin, both of which contribute to muscle growth, repair, and the regulation of energy metabolism. Furthermore, exercise training in athletes demonstrated a greater effect on elevating irisin levels and enhancing muscle function compared to non-athletes. These results underscore the importance of incorporating resistance training and HIIT into training programs to improve muscle health and hormonal regulation, particularly for individuals aiming to enhance physical performance and body composition. Therefore, it is recommended that individuals, especially those engaged in regular physical activities, leverage this type of training to boost their muscular and metabolic function.

5. Acknowledgment & Funding

We would like to thank all the subjects who helped us in this study. This study was not supported by any specific financial support.

6. Ethical Consideration

Before conducting the study, all stages of the study were explained to the subjects and a consent form was obtained from them, and the subjects were allowed to withdraw from the study at any stage of the study. Also, all matters related to the Declaration of Helsinki on the ethical principles of medical research on human subjects were applied.

7. Contribution of authors

All authors contributed to the article. All authors read and approved the final article.

8. Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest in the present study.

مقایسه اثر ۸ هفته تمرینات تناوبی شدید و مقاومتی بر شاخص های میوستاتین و فولیستاتین و آیریزین سرم در دختران جوان ورزشکار و غیرورزشکار

سعید ایل بیگی^{۱*}، آتنا حکیمیان^۲، عباس فرجادپزشک^۳، فاطمه حاجی زاده^۴

۱. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. silbeigi@birjand.ac.ir
۲. کارشناسی ارشد، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. atenahakim@gmail.com
۳. استادیار، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. abbas.farjad@birjand.ac.ir
۴. دانشجوی دکتری، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. fatemehajizade@chmail.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

مقدمه و هدف: پروتئین های فولیستاتین و میوستاتین و آیریزین پروتئین های کلیدی در تنظیم هایپرتروفی و آتروفی عضلانی هستند. مطالعه حاضر با هدف مقایسه اثر هشت هفته تمرینات تناوبی شدید و مقاومتی بر شاخص های میوستاتین و فولیستاتین و آیریزین سرم در دختران جوان ورزشکار و غیرورزشکار اجرا شد.

مواد و روش ها: در مطالعه حاضر ۴۸ نفر از دختران ۱۸ تا ۲۵ سال ورزشکار و غیرورزشکار به چهار گروه تجربی ۱۲ نفری: ورزشکار گروه تمرینی HIIT و ورزشکار گروه تمرین مقاومتی و غیرورزشکار گروه تمرینی HIIT و غیرورزشکار گروه تمرین مقاومتی تقسیم شدند. آزمودنی های گروه های تمرینی به مدت هشت هفته، سه جلسه در هفته به تمرینات ویژه پرداختند. پروتکل تمرین در گروه تمرینات HIIT شامل سه ست پروتکل Rast بود، که در هر ست آزمودنی در شش وهله و در هر وهله فاصله ۳۵ متری را با حداکثر سرعت می دوید و تمرینات به شکل فزاینده ای تا هفته چهارم در هفته یک ست و از هفته ی پنجم تا هشتم هر دو هفته ای یک ست اضافه انجام دادند و در نهایت به هشت ست رساندند. گروه تمرین مقاومتی هر جلسه هشت ایستگاه را به صورت دایره ای تمرین کردند. حرکات مقاومتی در دو هفته با شدت ۷۵-۶۵ درصد 1RM معادل ۱۲-۱۰ تکرار بیشینه انجام شد و سپس به ۸۵-۸۰ درصد IRM که معادل ۴ تا ۶ RM است افزایش یافت. به منظور مقایسه تغییرات درون گروهی در مراحل پیش آزمون و پس آزمون در گروه های تمرینی از آزمون t وابسته و آنوا و برای بررسی تفاوت بین گروهی از آزمون بونفرونی استفاده شد. همچنین محاسبات آماری در سطح معناداری $P < 0.05$ در نظر گرفته شد.

یافته ها: نتایج گروه های چهارگانه، در حالت پس آزمون نسبت به پیش آزمون، افزایش میانگین شاخص فولیستاتین و آیریزین سرم و کاهش میانگین میوستاتین دختران جوان ورزشکار و غیرورزشکار را نشان داد و عملکرد گروه های ورزشکار بهتر از غیرورزشکار بود ($P < 0.05$). همچنین نتایج آنوا نشان داد که بین گروه های چهارگانه تفاوت معناداری در میوستاتین و فولیستاتین سرم وجود نداشت ($P > 0.05$). اما در آیریزین سرم بین گروه تمرینات مقاومتی ورزشکاران با مقاومتی و تناوبی غیرورزشکاران تفاوت معناداری وجود داشت ($P < 0.05$). بین گروه تناوبی ورزشکاران با باگروه های مقاومتی و تناوبی غیرورزشکاران تفاوت وجود داشت. بین گروه تمرینات تناوبی غیرورزشکاران با مقاومتی غیرورزشکاران نیز تفاوت معناداری وجود داشت ($P < 0.05$).

بحث و نتیجه گیری: به نظر می رسد که هشت هفته تمرینات تناوبی شدید و مقاومتی شدید توانست باعث کاهش میوستاتین و افزایش فولیستاتین و آیریزین سرم دختران ورزشکار و غیرورزشکار شد. این بهبود در میان ورزشکاران بیشتر از غیرورزشکاران بود.

واژه های کلیدی: میوستاتین، فولیستاتین، آیریزین سرم، تمرینات تناوبی شدید، تمرینات مقاومتی

نوع مقاله: پژوهشی

دوره:

۱۶

شماره:

۳۲

صفحه:

۱۳۵-۱۴۷

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۱۱/۱۶

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۴/۲/۵

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۲/۱۷

نحوه ارجاع به این مقاله:

سعید ایل بیگی، آتنا حکیمیان، عباس فرجادپزشک، فاطمه حاجی زاده. مقایسه اثر ۸ هفته تمرینات تناوبی شدید و مقاومتی بر شاخص های میوستاتین و فولیستاتین و آیریزین سرم در دختران جوان ورزشکار و غیرورزشکار. نشریه ورزش و علوم زیست حرکتی. ۱۴۰۳؛ ۱۶(۳۲): ۱۳۵-۱۴۷.

Doi:10.22034/sbs.2025.503943.1130

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری



© نویسنده(گان).

0.22034/sbs.2025.503943.1130

مقدمه

اهمیت حیاتی عضلات اسکلتی برای حفظ و توسعه سلامت مورد توجه است. در گذشته تصور بر این بود که عضلات اسکلتی تنها در حفظ وضعیت بدن و حرکت جانداران نقش دارند؛ اما امروزه به خوبی مشخص شده است که عضلات با ترشح عواملی تحت عنوان مایوکاین‌ها که ممکن است، ماهیتی اتوکراینی، پاراکراینی و حتی اندوکراینی داشته باشند، عملکرد خود و سایر بافت‌های بدن را تحت تأثیر قرار می‌دهند. از این جهت اخیراً عضلات را به عنوان یک ارگان درون‌ریز با اهمیت در نظر می‌گیرند (۱). در سال‌های اخیر، تلاش‌های زیادی برای روشن شدن سازوکارهای سلولی و مولکولی هایپرتروفی و آتروفی عضلانی صورت گرفته است، هایپرتروفی عضلانی و افزایش قدرت عضلانی برای تمامی جمعیت‌های مختلف ضروری می‌باشد، هایپرتروفی عضلانی باعث افزایش توان، قدرت و توسعه عملکرد ورزشکاران و توسعه سلامتی و پیشگیری از ابتلا به بیماری‌ها در جمعیت عمومی می‌شود (۲). بر این اساس، مک فرون یک فاکتور مهارکننده رشد عضلانی به نام میوستانین را شناسایی کرد. میوستانین به عنوان عضو جدید خانواده بزرگ فاکتور رشدی تغییر شکل‌دهنده بتا ($TGF-\beta$) است که بیان آن به طور منفی رشد عضله اسکلتی را تنظیم می‌کند (۳) و افزایش این هورمون در شرایط آتروفی یا دیستروفی عضلانی مشاهده شده است، درحالی که در پاسخ به اضافه بار عضلانی، مقادیر آن بعد از دوره آتروفی کاهش می‌یابد (۴). میوستانین به عنوان تنظیم‌کننده اصلی توده عضلانی شناخته شده است که غیرفعال‌سازی آن منجر به هایپرتروفی عضلانی چشمگیری می‌شود و از سویی دیگر، بیان بیش از حد آن منجر به افزایش آتروفی عضلانی می‌شود. در واقع، سیگنالینگ میوستانین در الگوی اتوکراین/ پاراکراین به واسطه اتصال به گیرنده‌های اکتیوین نوع II ($ActRII$)، نوع A ($ActRIIA$) و B و ($ActRIIB$) در تنظیم توده عضلانی درگیر است (۲).

یکی دیگر از عوامل مرتبط با توده عضلانی که می‌توان به آن اشاره کرد فولیستاتین است. فولیستاتین یک پلی‌پپتید با تک زنجیره ای با عملکردی متنوع و یکی از اعضای خانواده بزرگ فاکتور رشد بتا، بزرگ ترین خانواده ترشح‌کننده فاکتورهای رشد، تمایز و هموستازی بدن است. این خانواده نقش‌های بسیار مهمی را در تنظیم و پیشرفت رشد بافت‌های بدن ایفا می‌کند از نقش‌های مهم فولیستاتین می‌توان به خنثی سازی اعمال پروتئین های خانواده انتقال‌دهنده فاکتور رشد بتا، از جمله میوستانین، رشد و تمایز بافت‌ها، بازسازی و ترمیم بافت‌های آسیب‌دیده اشاره کرد (۱). همچنین فولیستاتین یک پروتئین پیوندی ترشحی منومریک از خانواده عامل تغییر شکل رشدی بتا است. فولیستاتین تقریباً از تمام بافت‌های بدن ترشح می‌شود و به عنوان قوی‌ترین عامل

آنتاگونیست میوستانین می‌تواند با پیوند به گیرنده میوستانین (اکتیوین IIb) فعالیت میوستانین را مهار کند (۵).

آیریزین یک آدیپومیوکین اخیراً شناسایی شده است که به عنوان یک پیام‌رسان شیمیایی عمدتاً بین عضله و بافت‌های مختلف دیگر عمل می‌کند. این هورمون در دهه گذشته بسیار مورد توجه قرار گرفته است و منجر به کشف مقدار زیادی از عملکردهای فیزیولوژیکی آن شده است و احتمالاً اثرات بیشتری در سال‌های آینده مشخص خواهد شد. مکانیسم‌های نظارتی مؤثر بر بیان و ترشح آیریزین سرم به دلیل اختلاف بین مطالعات با طرح‌های تجربی متمایز بحث‌انگیز است. در حالی که القای ورزش بیشتر مشهود است، این احتمال وجود دارد که مکانیسم‌های بازخوردی دیگر نیز در ترشح آیریزین نقش داشته باشند. آیریزین هموستاز گلوکز و لیپید را به سمت بسیج و استفاده از انرژی هدایت می‌کند. چنین ویژگی‌هایی برای انجام فعالیت بدنی مفید هستند، زیرا عضله‌های منقبض به تأمین انرژی مداوم برای جلوگیری از خستگی نیاز دارند (۶). سطح آیریزین معمولاً در تمرینات ورزشی مزمن افزایش قابل توجهی نشان نمی‌دهد. زیرا اغلب حتی کاهش سطح آیریزین را نشان می‌دهد (۷).

فعالیت بدنی و تمرین می‌تواند یک مسیر طبیعی و غیردارویی مناسب برای مداخلات درمانی و سازگاری‌های فیزیولوژیک باشد اما شیوه‌های مختلف تمرینی سازگارهای مختلفی ایجاد می‌کند. با توجه به اینکه مدت، حجم و آستانه تمرینات ورزشی برای فراهم نمودن شرایط مطلوب مهار میوستانین و هایپرتروفی مهم هستند، انتخاب شیوه مناسب تمرین ضرورت دارد (۸). در ورزشکاران، سطح پایه‌ای میوستانین معمولاً پایین‌تر است زیرا تمرینات طولانی‌مدت باعث مهار ترشح آن شده‌اند. در افراد غیرورزشکار، میوستانین به طور طبیعی بیشتر است و کاهش آن پس از تمرینات نیاز به زمان بیشتری دارد. ورزشکاران، به دلیل تجربه تمرینی، توانایی بیشتری در ترشح فولیستاتین برای مقابله با اثرات مهاری میوستانین دارند. در افراد غیرورزشکار، افزایش فولیستاتین ممکن است آهسته‌تر رخ دهد زیرا حساسیت سلولی به تمرینات جدید پایین‌تر است. آیریزین به عنوان یک مایوکاین مرتبط با افزایش متابولیسم و تبدیل چربی سفید به قهوه‌ای، در ورزشکاران به دلیل تمرینات مداوم، در سطح بالاتری تولید می‌شود. افراد غیرورزشکار، به دلیل کمتر بودن حجم و کیفیت عضلاتشان، آیریزین کمتری ترشح می‌کنند، اما تمرینات می‌توانند به مرور زمان سطح آن را افزایش دهند. تمرینات مقاومتی به عنوان یک راهکار مؤثر برای افزایش هایپرتروفی عضلات اسکلتی شناخته می‌شوند که این اثر را از طریق مهار فرایند پروتئولیز و فعال‌سازی سنتز پروتئین اعمال می‌کنند، تعدادی از مطالعاتی که منتشر شده در مورد تأثیر تمرینات مقاومتی بر میوستانین گزارش کردند که تمرین مقاومتی باعث کاهش معنادار سطوح سرمی میوستانین می‌گردد (۸،۹). با

میوستاتین و آیریزین در دختران ورزشکار و غیرورزشکار انجام شده است.

روش شناسی

مطالعه حاضر شبه تجربی و از نوع تحقیقات کاربردی می باشد. جامعه آماری این تحقیق کلیه دختران شهر طبس است که پس از اعلام فراخوان، به دلیل ماهیت آزمایشی تحقیق و رعایت مسائل اخلاقی تعداد ۴۸ نفر به صورت هدفمند انتخاب شدند. معیارهای ورود به تحقیق شامل: عدم استفاده از دارو یا مکمل های خاص، عدم استفاده از دخانیات، برخودار بودن از دامنه سنی بین ۱۸ تا ۲۵ سال، سابقه سه سال فعالیت ورزشی منظم در رشته های ورزشی مختلف، افراد غیرورزشکار سابقه هیچگونه فعالیت های بدنی منظمی نداشتند و همچنین عدم حضور در پس آزمون در موعد مقرر، غیبت بیش از سه جلسه تمرین، آسیب دیدگی های ورزشی به عنوان معیارهای خروج بود. در نهایت آزمودنی های ورزشکار و غیرورزشکار به شکل تصادفی به چهار گروه تجربی: ۱۲ نفر گروه تمرینی تناوبی شدید و ۱۲ نفر گروه تمرین مقاومتی در میان ورزشکاران و ۱۲ نفر گروه تمرینی تناوبی شدید و ۱۲ نفر گروه تمرین مقاومتی در میان غیرورزشکاران تقسیم شدند. به منظور کسب رضایت آگاهانه و توجیه آزمودنی ها جهت شرکت در تحقیق، کلیه آزمودنی ها یک هفته قبل از روز آزمون در جلسه معارفه شرکت کردند. در طی آن آزمودنی ها در مورد مدت زمان اجرای طرح، چگونگی خونگیری و ... توسط شخص محقق توجیه شدند. در نهایت آزمودنی ها فرم رضایت نامه شفاهی و کتبی، خود را برای شرکت در این تحقیق کامل کردند.

پروتکل تمرینات تناوبی شدید: پروتکل تمرین در گروه تمرینات تناوبی شدید شامل ۸ هفته و هفته ای ۳ بار به مدت یک ساعت (۱۰ دقیقه گرم کردن، ۴۵ دقیقه تمرین رست و ۵ دقیقه سرد کردن) بود این پروتکل شامل سه ست پروتکل Rast بود، که در هر ست آزمودنی در شش وهله و در هر وهله فاصله ۳۵ متری را با حداکثر سرعت می دويد و استراحت بین هر وهله ده ثانیه در نظر گرفته می شد، سپس برای مدت زمان پنج دقیقه استراحت می کردند و ست بعدی تمرین شروع می شد و تمرینات به شکل فزاینده ای تا هفته چهارم در هفته یک ست و از هفته پنجم تا هشتم هر دو هفته ای یک ست اضافه انجام دادند و در نهایت به هشت ست رساندند. جدول ۱ نشان دهنده نحوه اجرای پروتکل تمرینی گروه تمرینات تناوبی شدید می باشد (۱۵).

این وجود مطالعات دیگری نشان داد که مقادیر میوستاتین به دنبال تمرینات مقاومتی شدید کاهش معناداری داشته است (۱۱). نتایج تحقیق چادرشنین و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که هر دو نوع تمرین مقاومتی با شدت بالا و پایین موجب بهبود سطح سرمی آیریزین در زنان شد (۱۲). همچنین تحقیقات شیرزاد و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد که پس از ۸ هفته تمرین مقاومتی کاهش معناداری در سطح مایوستاتین و موجب افزایش معنادار فولستاتین و آیریزین شد (۱۰). تمرینات HIIT نیز می تواند تاثیرات مفیدی بر ترکیب بدنی، سازگاری های هورمونی داشته باشد و همچنین موجب افزایش سنتز پروتئین ها شود (۱۳). نتایج پژوهش رضایی-منش (۱۴۰۲) نشان داد که هر دو شیوه تمرین تناوبی شدید باعث افزایش معنادار مقادیر آیریزین و فولیستاتین شد (۱۴). همچنین تحقیقات وکیلی و همکاران (۱۴۰۱) نشان داد که تمرینات HIIT با و بدون ویتامین D موجب کاهش میوستاتین می شود. همچنین ممکن است موجب کاهش آتروفی عضلانی در مردان سالمند شود و در سلامت مردان سالمند موثر باشد (۱۳). تمرینات مقاومتی از طریق بار مکانیکی و افزایش تنش عضلانی باعث فعال سازی مسیرهای آنابولیک و در نهایت تقویت هایپرتروفی عضلانی می شود و تمرینات تناوبی بیشتر از طریق افزایش تقاضای متابولیکی و استرس فیزیولوژیکی عمل کرده و می توانند تأثیر غیرمستقیمی بر سازوکارهای آنابولیک و کاتابولیک داشته باشند. همان طور که نتایج تحقیقات پیشین نشان داده اند، تمرینات مقاومتی و تمرینات تناوبی شدید تأثیرات متفاوتی بر عملکرد مایوکلین ها دارند. برخی مطالعات تمرینات مقاومتی را در بهبود سطوح مایوکلین ها مؤثر دانسته اند، در حالی که برخی دیگر تمرینات تناوبی شدید را مؤثرتر معرفی کرده اند. با این حال، تاکنون مطالعه ای که به مقایسه اثر دو نوع تمرین مقاومتی و تناوبی شدید بر سطوح فولیستاتین، میوستاتین و آیریزین در دختران ورزشکار و غیرورزشکار پرداخته باشد، صورت نگرفته است و اطلاعات دقیق و مستندی در این زمینه در دست نیست. این خلأ پژوهشی باعث شد تا پرسشی در ذهن محقق شکل گیرد: آیا دو نوع پروتکل تمرینی (تناوبی شدید و مقاومتی) می توانند تأثیر متفاوتی بر سطوح این مایوکلین ها در دختران ورزشکار و غیرورزشکار داشته باشند؟ از سوی دیگر، با توجه به آشنایی اندک مربیان و ورزشکاران با تمرینات تناوبی شدید و کمبود اطلاعات علمی و کاربردی در این زمینه، و همچنین با در نظر گرفتن اهمیت قدرت، حجم عضله و توان بی هوازی در بسیاری از رشته های ورزشی، بررسی این موضوع ضروری به نظر می رسد. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی و مقایسه تأثیر دو پروتکل تمرینی (تناوبی شدید و مقاومتی) بر سطوح فولیستاتین،

جدول ۱. نحوه اجرای پروتکل تمرینی گروه HIIT

زمان	وهله‌های تمرینی
هفته اول	سه وهله اجرای RAST با فاصله استراحتی پنج دقیقه‌ای
هفته دوم	چهار وهله اجرای RAST با فاصله استراحتی پنج دقیقه‌ای
هفته سوم	پنج وهله اجرای RAST با فاصله استراحتی پنج دقیقه‌ای
هفته چهارم	شش وهله اجرای RAST با فاصله استراحتی پنج دقیقه‌ای
هفته پنجم و ششم	هفت وهله اجرای RAST با فاصله استراحتی پنج دقیقه‌ای
هفته هفتم و هشتم	هشت وهله اجرای RAST با فاصله استراحتی پنج دقیقه‌ای

شرایط خونگیری، از آزمودنی‌ها خواسته شد تا یک هفته قبل از نمونه‌گیری خونی از انجام هرگونه فعالیت بدنی سنگین، شرایط استرس آور و مصرف مکمل و دارو اجتناب ورزند. خونگیری مرحله‌ی دوم ۴۸ ساعت بعد از انجام آخرین جلسه‌ی تمرین به منظور از بین رفتن تأثیر آخرین جلسه‌ی تمرینی از گروه‌های تمرینی به عمل آمد.

روش‌های آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری و سنجش طبیعی بودن توزیع داده‌ها از طریق آزمون شاپیرو-ویلک، برای همگن بودن واریانس‌ها از آزمون لون استفاده شد. همچنین به منظور مقایسه تغییرات درون گروهی در مراحل پیش آزمون و پس آزمون در گروه‌های تمرینی با توجه به نرمال بودن داده‌ها از آزمون t وابسته و آنوا و برای بررسی تفاوت بین گروهی از آزمون بونفرونی استفاده شد. کلیه موارد آماری در محیط نرم افزار SPSS نسخه ۲۴ و در سطح معنی داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

ویژگی‌های توصیفی متغیرهای پژوهش حاضر در جدول ۲ (پیش آزمون - پس آزمون) ارائه شده است. در جداول ۳ نتایج آزمون t زوجی و تحلیل واریانس آنوا در مورد میوستاتین، فولیستاتین و آیریزین و در جدول ۴ نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی در مورد تفاوت بین گروهی آیریزین سرم دختران جوان ورزشکار و غیرورزشکار ارائه شده است. نتایج آزمون t زوجی نشان می‌دهد که در گروه‌های چهارگانه (گروه تمرینات ورزشکاران/ تمرینات مقاومتی، ورزشکاران/ تمرینات تناوبی، گروه غیرورزشکاران/ تمرین مقاومتی و گروه غیرورزشکاران/ تمرینات تناوبی) در حالت پس آزمون نسبت به پیش آزمون، میانگین شاخص آیریزین و فولیستاتین به‌طور معناداری افزایش پیدا کرده اما در شاخص میوستاتین به‌طور معناداری کمتر است ($P < 0.05$). همچنین نتایج آزمون تحلیل واریانس چندگانه نشان داد در شاخص میوستاتین ($P = 0.227$) و فولیستاتین ($P = 0.137$) بین گروه‌های چهارگانه

پروتکل تمرینات مقاومتی شدید: در طول هشت هفته

پروتکل تمرینی، گروه تمرین مقاومتی سه جلسه در هفته و هر جلسه هشت ایستگاه شامل حرکات صلیب دستگاه، جلو ران، سرشانه دمبل طرفین، پرس پا، سیم‌کش قایقی، زیربغل سیم‌کش از جلو، پشت بازو سیم‌کش و جلو بازو لاری را به صورت دایره‌ای تمرین کردند حرکات مقاومتی هر جلسه تمرین شامل ۸ حرکت با آرایش بالاتنه - پایین تنه بود که دو هفته با شدت ۶۵-۷۵ درصد 1RM معادل ۱۰-۱۲ تکرار بیشینه تمرین کردند و سپس به ۸۵-۸۰ درصد 1RM^۱ که معادل چهار تا شش تکرار RM است افزایش یافت. حرکات نامبرده در سه نوبت با فاصله استراحتی ۲۰ ثانیه‌ای بین نوبت‌ها اجرا گردید. آزمودنی‌های هر گروه تمرین بعد از هر بار مراجعه به سالن وزنه، بعد از ۲۰ دقیقه رکاب زدن بر روی دوچرخه و انجام حرکات کششی، به اجرای تمرینات مقاومتی و در نهایت ده دقیقه پایانی تمرین با سرد کردن (ابتدا پنج دقیقه با سرعت شش و سپس پنج دقیقه با سرعت چهار کیلومتر بر ساعت) تمرین خود را به پایان می‌رساندند. رژیم غذایی آزمودنی‌ها به وسیله پرسشنامه یاد آمد ۲۴ ساعته غذایی ارزیابی شد (۱۶). همچنین به آزمودنی‌ها توصیه‌های لازم جهت صرف غذا شده بود تا احتمال ضعف ناشی از گرسنگی روزانه یا حالت تهوع حین تمرین پس از صرف غذا کاهش یابد.

سنجش بیوشیمیایی: نمونه‌گیری برای سنجش مقادیر

سرمی مایوستاتین، فولیستاتین، آیریزین با استفاده از روش آزمایشگاهی الیزا و کیت (Bioassay Technology Laboratory) ساخت چین (حساسیت برای مقادیر سرمی مایوستاتین (۵/۵۲ ng/l)، فولستاتین (۰/۲۴ ng/l) و آیریزین (۰/۰۹۵ ng/l)) توسط کارشناس خبره علوم آزمایشگاهی و با رعایت کامل اصول بهداشتی و در محل آزمایشگاه دکتر کامکار طبس انجام شد. نمونه خونی (۵ میلی‌لیتر) با استفاده از سرنگ، از ورید بازویی اخذ شد. خونگیری از آزمودنی‌ها بعد از ۱۲ ساعت ناشتایی و در دو مرحله (پیش‌آزمون - پس‌آزمون) انجام گرفت. در مرحله‌ی اول طبق دستورالعمل‌های ارائه شده مخصوص

نیز تفاوت معناداری وجود ندارد اما در شاخص آیریزین بین گروه‌های چندگانه نیز تفاوت معناداری وجود دارد. بین گروه تمرینات مقاومتی ورزشکاران با مقاومتی و تناوبی غیرورزشکاران افزایش معناداری وجود داشت ($P < 0.05$). میزان دلتا برای گروه های ورزشکاران و تمرین مقاومتی، ورزشکاران و تمرین تناوبی، غیرورزشکاران و تمرین مقاومتی و غیرورزشکاران و تمرین تناوبی برای شاخص میوستانین به ترتیب ($52/15$ ، $63/03$ ، $36/12$ ،

$42/06$) برای شاخص آیریزین ($3/38$ ، $2/95$ ، $1/05$ ، $0/77$) و شاخص فولیستاتین ($1/63$ ، $2/80$ ، $0/84$ ، $1/09$) می‌باشد. بین گروه تناوبی ورزشکاران با گروه‌های مقاومتی و تناوبی غیرورزشکاران افزایش معناداری وجود داشت. بین گروه تمرینات تناوبی غیرورزشکاران با مقاومتی غیرورزشکاران نیز افزایش معناداری وجود داشت ($P < 0.05$).

جدول ۲. میانگین و انحراف استاندارد شاخص‌های اندازه‌گیری شده در حالت پیش آزمون- پس آزمون

متغیرها	ورزشکاران				غیرورزشکاران			
	پیش آزمون		پس آزمون		پیش آزمون		پس آزمون	
	مقاومتی	تناوبی شدید	مقاومتی	تناوبی شدید	مقاومتی	تناوبی شدید	مقاومتی	تناوبی شدید
میوستانین (ng/L)	$472/95 \pm 26/58$	$478/40 \pm 36/58$	$420/80 \pm 37/54$	$415/36 \pm 54/30$	$477/71 \pm 26/66$	$468/25 \pm 10/88$	$441/58 \pm 21/98$	$426/18 \pm 18/32$
فولیستاتین (ng/L)	$27/77 \pm 1/09$	$27/65 \pm 1/24$	$29/41 \pm 1/26$	$30/46 \pm 2/69$	$28/12 \pm 0/78$	$28/16 \pm 1/02$	$28/96 \pm 0/77$	$29/26 \pm 0/98$
آیریزین (ng/L)	$54/04 \pm 1/13$	$54/66 \pm 2/40$	$57/42 \pm 1/06$	$57/61 \pm 1/74$	$53/61 \pm 2/20$	$53/60 \pm 2/30$	$54/67 \pm 2/54$	$54/38 \pm 2/21$

جدول ۳. نتایج آزمون t زوجی و تحلیل واریانس آنوا در مورد میوستانین، آیریزین و فولیستاتین دختران جوان ورزشکار و غیرورزشکار

شاخص	گروه	پیش آزمون	پس آزمون	اختلاف میانگین			درون گروهی		بین گروهی
				میانگین	t	درجه آزادی	P	F	
میوستانین	ورزشکاران / مقاومتی	$472/95 \pm 26/58$	$420/80 \pm 37/54$	$52/15$	$9/07$	۱۱	$0/001$	$1/183$	$0/227$
	ورزشکاران / تناوبی	$478/40 \pm 36/58$	$415/36 \pm 54/30$	$63/03$	$8/21$	۱۱	$0/001$		
	غیرورزشکاران / تمرین مقاومتی	$477/71 \pm 26/66$	$441/58 \pm 21/98$	$36/12$	$8/342$	۱۱	$0/001$		
	غیرورزشکاران / تناوبی	$468/25 \pm 10/88$	$426/18 \pm 18/32$	$42/06$	$11/34$	۱۱	$0/001$		
آیریزین	ورزشکاران / مقاومتی	$54/04 \pm 1/13$	$57/42 \pm 1/06$	$3/38$	$-13/98$	۱۱	$0/001$	$9/269$	$0/001$
	ورزشکاران / تناوبی	$54/66 \pm 2/40$	$57/61 \pm 1/74$	$2/95$	$-7/39$	۱۱	$0/001$		
	غیرورزشکاران / تمرین مقاومتی	$53/61 \pm 2/20$	$54/67 \pm 2/54$	$1/05$	$-3/91$	۱۱	$0/001$		
	غیرورزشکاران / تناوبی	$53/60 \pm 2/30$	$54/38 \pm 2/21$	$0/77$	$-10/06$	۱۱	$0/001$		
فولیستاتین	ورزشکاران / مقاومتی	$27/77 \pm 1/09$	$29/41 \pm 1/26$	$1/63$	$-12/79$	۱۱	$0/001$	$1/942$	$0/137$
	ورزشکاران / تناوبی	$27/65 \pm 1/24$	$30/46 \pm 2/69$	$2/80$	$-3/295$	۱۱	$0/007$		
	غیرورزشکاران / تمرین مقاومتی	$28/12 \pm 0/78$	$28/96 \pm 0/77$	$0/84$	$-9/44$	۱۱	$0/001$		
	غیرورزشکاران / تناوبی	$28/16 \pm 1/02$	$29/26 \pm 0/98$	$1/09$	$-8/44$	۱۱	$0/001$		

* اختلاف معناداری در سطح $P < 0.05$

جدول ۴. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی در مورد تفاوت بین گروهی آیریزین سرم دختران جوان ورزشکار و غیرورزشکار

گروه	گروه	اختلاف میانگین	P
مقاومتی / ورزشکار	تناوبی / ورزشکاری	-۰/۱۹۴	۱/۰۰۰
	مقاومتی / غیرورزشکار	۲/۷۴۶	*۰/۰۰۸
	تناوبی / غیرورزشکار	۳/۰۳۸	*۰/۰۰۳
تناوبی / ورزشکاری	مقاومتی / ورزشکار	۰/۱۹۴	۱/۰۰۰
	مقاومتی / غیرورزشکار	۲/۹۴۰	*۰/۰۰۴
	تناوبی / غیرورزشکار	۳/۲۳۲	*۰/۰۰۱
مقاومتی / غیرورزشکار	مقاومتی / ورزشکار	۲-۷۴۶	*۰/۰۰۸
	تناوبی / ورزشکاری	۲-۹۴۰	*۰/۰۰۴
	تناوبی / غیرورزشکار	۰/۲۹۱	۱/۰۰۰
تناوبی / غیرورزشکار	مقاومتی / ورزشکار	-۳/۰۳۸	*۰/۰۰۳
	تناوبی / ورزشکاری	-۳/۲۳۲	*۰/۰۰۱
	مقاومتی / غیرورزشکار	-۰/۲۹۱	۱/۰۰۰

* اختلاف معناداری در سطح $P < 0.05$

بحث

نتایج نشان داد که در گروه‌های چهارگانه در حالت پس آزمون نسبت به پیش آزمون، میانگین شاخص میوستانین به‌طور معناداری کمتر است ($P < 0.05$). به این معنا که در اثر تمرینات مقاومتی و تناوبی شاخص میوستانین کاهش معناداری پیدا کرد و این کاهش نشان دهنده بهبود میوستانین و اثر گذاری مثبت تمرینات ورزشی بر روی این شاخص است. به نظر می‌رسد تغییرات کاهشی این پروتئین با تمرین مقاومتی را می‌توان به تأثیرات مثبت ژن‌های هایپرتروفی و نقش کنترلی آنها نسبت به میوستانین نسبت داد. شیرزاد و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی با عنوان سازگاری آیریزین، فولستاتین و میوستانین سرمی به هشت هفته تمرین مقاومتی، هوازی و ترکیبی در مردان چاق نشان دادند که در متغیر میوستانین، فولستاتین و آیریزین بین گروه‌های پژوهش پس از هشت هفته مداخله تفاوت معناداری وجود داشت. نتایج آزمون تعقیبی LSD نشان داد، تمرین مقاومتی نسبت به گروه کنترل موجب کاهش معنادار میوستانین شد. این در حالی بود که تمرین مقاومتی و هوازی نسبت به گروه کنترل موجب افزایش معنادار فولستاتین شد. همچنین، تمرین مقاومتی، هوازی و ترکیبی نسبت به گروه کنترل موجب افزایش معنادار آیریزین شد (۱۰).

یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که متعاقب ۸ هفته تمرین تناوبی خیلی شدید، مقادیر پلاسمایی میوستانین کاهش یافت. این یافته با مطالعات بیگری و همکاران (۱۳۹۷) و روستایی و همکاران (۲۰۲۰) همسو و با مطالعه کاباک و همکاران (۲۰۱۸) ناهمسو می‌باشد (۱۹-۱۷). آذیر و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی با عنوان تأثیر هشت هفته تمرین تناوبی شدید بر میوستانین، فولستاتین و نسبت بیان ژن فولستاتین بر میوستانین در

موش‌های صحرایی نر مبتلا به دیابت نوع ۲ نشان دادند که تفاوت معناداری در بیان ژن میوستانین در گروه‌های تحقیق وجود نداشت به نظر می‌رسد علت تفاوت این نتایج با نتایج پژوهش حاضر تفاوت نوع تمرین داده شده باشد. با این حال، بیان ژن فولستاتین و نسبت فولستاتین به میوستانین در گروه‌های تحقیق معنادار بود (۲۰).

نتایج آزمون t زوجی در شاخص فولستاتین نشان داد که در گروه‌های چهار گانه در حالت پس آزمون نسبت به پیش آزمون، میانگین شاخص فولستاتین به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرده است ($P < 0.05$). این افزایش در این شاخص نشان دهنده تأثیر مثبت تمرینات مقاومتی و تناوبی شدید بر فولستاتین می‌باشد.

در بررسی مقادیر فولستاتین پژوهش حاضر نیز مشاهده شد که ۸ هفته تمرین مقاومتی سبب افزایش معنادار فولستاتین می‌شود. بر اساس مطالعات به نظر می‌رسد شدت و حجم تمرین دو عامل تأثیر گذار در رهایی مایوکاین‌های تنظیم‌کننده رشدی محسوب می‌شوند (۲۱). همسو با نتایج پژوهش حاضر عطارزاده و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که ۸ هفته تمرین مقاومتی با شدت بالا سبب افزایش هر دوی فولستاتین و همچنین نسبت فولستاتین به مایوستانین می‌شود. تمرین مقاومتی با افزایش انقباض و کشش سبب ایجاد تعادل مثبت در فاکتورهای مایوژنیک از جمله فولستاتین، Myoc-fos D- می‌شود. علاوه بر مکانیسم‌های ذکر شده، با توجه به این نتایج می‌توان بیان کرد که مدت تمرین نیز یک عامل تنظیم‌کننده فاکتور رشد عضلانی به ویژه فولستاتین محسوب می‌شود. به نظر می‌رسد فولستاتین از طریق مکانیسم‌های متابولیکی در بهبود مقاومت به انسولین بافت عضلانی دخیل باشد. زیرا که همانطور که بیان شد افزایش مقادیر فولستاتین سبب افزایش هایپرتروفی بافت عضلانی و بهبود

چربی سفید را بهبود بخشیده و هزینه انرژی کل بدن را افزایش می‌دهد (۲۵). به نظر می‌رسد آیریزین در پاسخ به فعالیت ورزشی افزایش می‌یابد و فعالیت ورزشی مقاومتی محرک مناسبی برای ترشح آن می‌باشد. احتمالاً دلیل افزایش سطوح آیریزین افزایش سطح جریان خون و برخی از عوامل محرک PGC-1 α باشد.

خلاقی و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان دادند ۱۲ هفته تمرین تناوبی و تناوبی روی نوارگردان در موش‌های صحرایی چاق باعث افزایش غلظت آیریزین سرمی و بیان PGC 1-UCP-۱۰ و افزایش هزینه انرژی و بهبود تحمل گلوکز گردید و این تغییرات به طور معناداری در گروه تناوبی نسبت به گروه تناوبی بیشتر بود (۲۶). موراووسکا-سیالوویچ و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی با عنوان تأثیر تمرینات تناوبی شدید با پروتکل تاباتا بر آیریزین سرم، عملکرد فیزیکی و ترکیب بدن مردان نشان دادند که تمرین منجر به افزایش غلظت آیریزین خون، افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی، کاهش درصد چربی بدن و افزایش توان بی‌هوازی در گروه تمرینات تناوبی شدید شد. هیچ تغییری در گروه کم تحرک مشاهده نشد. HIIT منجر به اثرات مفیدی در افزایش غلظت آیریزین خون، عملکرد فیزیکی و کاهش محتوای چربی شد. HIIT ممکن است نشان دهنده تسریع متابولیسم پایه باشد. از این اثر می‌توان در پیشگیری یا درمان چاقی استفاده کرد (۲۷). آرچندیا-هررا و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی با عنوان پاسخ آیریزین عضلانی در تمرینات هوازی در مقابل تمرینات تناوبی شدید در نوجوانان دختر دارای اضافه وزن نشان دادند که سطح بیان آیریزین در عضله اسکلتی پس از یک جلسه تمرینات تناوبی شدید به طور قابل توجهی افزایش یافت در حالی که ورزش هوازی بر سطح آیریزین تأثیری نداشت. تفاوت معناداری بین گروه‌ها در سطح آیریزین پلاسما مشاهده نشد (۲۸).

نتایج مطالعات حاکی است که فعالیت‌های ورزشی تناوبی و تناوبی با سرعت و به طور چشمگیری بیان PGC-1 α را افزایش می‌دهد، اما این اثر گذرا است، زیرا هم mRNA و هم سطوح پروتئینی PGC-1 α به سرعت به مقادیر پیش از ورزش باز می‌گردد (۲۹،۳۰). به نظر می‌رسد تمرینات تناوبی و تناوبی منظم، موجب رهایش کلسیم در پی انقباض عضلانی و فعال شدن کالمودولین و در ادامه باعث فعال شدن کلسی نورین و کالمودولین کیناز و کاهش شارژ انرژی درون سلولی می‌گردد. این امر باعث فعال شدن AMPK و SIRT1 و افزایش بیان و غلظت PGC-1 α می‌شود (۳۰،۳۱). HIIT همچنین باعث تحریک فعالسازی گیرنده‌های آدرنژیکی توسط کاتکولامین‌ها می‌شود که منجر به افزایش cAMP و در نتیجه فعال شدن عوامل رونویسی

ساختاری این بافت می‌شود. هاپرتروفی عضلانی هنگامی رخ می‌دهد که مسیرهای متابولیکی به ویژه گلیکولیز که با انتقال گلوکز به سلول شروع می‌شود به خوبی فعالیت داشته باشند. در نتیجه سیگنالینگ انسولینی با افزایش فولیستاتین نیز بهبود می‌یابد (۱۱). فولیستاتین فاکتور تنظیم‌گر مثبت رشد عضلانی بوده، در بررسی تغییرات این هورمون در پاسخ به فعالیت ورزشی مطالعات مختلفی انجام شده است. پس از فعالیت ورزشی مقادیر بیان ژن اکتیوین - فولیستاتین در کبد رت‌ها تغییر کرده و سطوح mRNA اکتیوین کاهش می‌یابد (۲۲).

نتایج آزمون t زوجی در شاخص آیریزین نشان داد که در گروه‌های چهارگانه در حالت پس آزمون نسبت به پیش آزمون، میانگین شاخص آیریزین به‌طور معناداری افزایش پیدا کرده است. این افزایش نشان دهنده تأثیر مثبت تمرینات مقاومتی و تناوبی بر این شاخص می‌باشد.

همسو با نتایج مطالعه حاضر مبنی بر افزایش غلظت آیریزین سرم پس از فعالیت ورزشی مقاومتی؛ نیگارد و همکاران (۲۰۱۶) افزایش معناداری را در غلظت آیریزین پلاسما در مردان و زنان سالم پس از ۳ نوبت (۱۰-۱۲ تکراری) گزارش کردند (۲۳). هو و همکاران (۲۰۱۵) نیز در مقایسه‌ای اثر فعالیت ورزشی مقاومتی و هوازی بر غلظت آیریزین پلاسما در مردان میانسال بیان کردند که فعالیت ورزشی مقاومتی (۶ فعالیت در ۳ نوبت ۱۰ تکراری) به مدت ۴۵ دقیقه منجر به افزایش بیشتری در غلظت آیریزین پلاسما نسبت به یک نوبت فعالیت ورزشی هوازی می‌شود. نویسندگان این مقاله بیان کردند که آسیب عضلانی بیشتر ناشی از فعالیت ورزشی مقاومتی ممکن است باعث افزایش رهایی آیریزین از عضله به جریان خون شود (۲۴). براساس نتایج مطالعات طی فعالیت ورزشی مقاومتی سطوح کلسیم درون سلولی (Ca^{2+})، مولکول‌های تنظیم‌کننده انرژی مانند AMP ADP و گروه‌های فسفات آزاد (Pi) و گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) افزایش می‌یابد. این مواد منجر به فعال شدن عوامل تنظیم‌کننده (AMPK, CaMk, P38-MAPK) رونویسی و فعالیت PGC-1 α می‌شوند و بدین طریق زمینه ترشح FNDC5^۲ و آیریزین را فراهم می‌سازد. آیریزین حاصل شکست پروتئین غشایی FNDC5 می‌باشد و عمدتاً توسط PGC1-a تنظیم می‌شود (۲۴). این مایوکاین برخی از اثرات مفید فعالیت ورزشی را از طریق اتصال به گیرنده‌های ناشناخته‌ای در سطح سلول‌های بافت چربی سفید (WAT^3) و بیان پروتئین جفت نشده ($UCP1^4$) میانجی‌گری می‌کند و منجر به قهوه ای شدن بافت چربی سفید می‌گردد؛ این اثر آیریزین نیمرخ متابولیکی بافت

2 Fibronectin type III domain containing 5

3. White adipose tissue

4. Uncoupling protein 1

1 Peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1-alpha

و افزایش بیان مولکول PTEN منجر به قهوه‌ای شدن بافت چربی سفید گردد (۳۶).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق می‌توان عنوان کرد که هشت هفته تمرینات تناوبی شدید و مقاومتی شدید توانست باعث بهبود میوستاتین، فولیستاتین و آیریزین سرم دختران ورزشکار و غیرورزشکار شود. این بهبود در میان ورزشکاران بیشتر از غیرورزشکاران بود.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از کلیه آزمودنی‌هایی که ما را در این تحقیق یاری نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌نماییم.

تعارض منافع

نویسندگان مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

(CREB) پروتئین متصل به عناصر حساس به cAMP و در نهایت باعث افزایش بیان α -PGC می‌شود (۳۲). مطالعات اخیر گزارش کرده‌اند مولکول آیریزین تولید شده به گیرنده‌های α -PPAR در سطح بافت چربی سفید متصل می‌شود و از طریق افزایش بیان این گیرنده‌ها قهوه‌ای شدن آدیپوسیت‌های سفید زیرپوستی را القا می‌کند (۳۳، ۳۴). علاوه بر این، مولکول آیریزین می‌تواند از طریق افزایش بیان PPAR-Y موجب افزایش بیان UCP-1 در سطح بافت چربی سفید و افزایش محتوای میتوکندریایی این بافت و القا تبدیل آن به بافت چربی قهوه‌ای از طریق مسیرهای MAPK P38 و ERK گردد (۳۵). این عملکرد آیریزین با افزایش فعالیت متابولیکی بدن و افزایش مصرف انرژی در بدن و در نهایت کاهش وزن همراه می‌باشد که به عنوان نقش جدید آیریزین در درمان بیماری‌های متابولیکی در نظر گرفته می‌شود. همچنین، آیریزین می‌تواند با مهار پیام‌دهی آنزیم P13K

منابع

- Attarzadeh Hosseini SR, Motahari Rad M, Moien Neia N. The effect of two different intensities resistance training on muscle growth regulatory myokines in sedentary young women. *Journal of Arak University of Medical Sciences*. 2016;19(7):56-65. URL: <http://jams.arakmu.ac.ir/article-1-4375-en.html>. [In Persian]
- Mosavi R, Kazemi F, Nazari P. The effect of a full-body resistance training (TRX) program on serum myostatin and follistatin concentrations in inactive women. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences*. 2021;28(1):41-47. https://jsums.medsab.ac.ir/article_1381.html?lang=en. [In Persian]
- Bourdon PC, Cardinale M, Murray A, Gastin P, Kellmann M, Varley MC, Gabbett TJ, Coutts AJ, Burgess DJ, Gregson W, Cable NT. Monitoring athlete training loads: consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2017 Apr;12(Suppl 2):S2161-S2170. doi: 10.1123/IJSP.2017-0208. PMID: 28463642.
- Elliott BT, Herbert P, Sculthorpe N, Grace FM, Stratton D, Hayes LD. Lifelong exercise, but not short-term high-intensity interval training, increases GDF11, a marker of successful aging: a preliminary investigation. *Physiological Reports*. 2017 Jul;5(13):e13343. doi: 10.14814/phy2.13343. Epub 2017 Jul 11. PMID: 28701523; PMCID: PMC5506528.
- Hansen JS, Plomgaard P. Circulating follistatin in relation to energy metabolism. *Molecular and Cellular Endocrinology* 2016 Sep 15;433:87-93. doi: 10.1016/j.mce.2016.06.002. Epub 2016 Jun 2. PMID: 27264073.
- Wan JJ, Qin Z, Wang PY, Sun Y, Liu X. Muscle fatigue: general understanding and treatment. *Experimental & Molecular Medicine* 2017 Oct 6;49(10):e384. doi: 10.1038/emmm.2017.194. PMID: 28983090; PMCID: PMC5668469.
- Motahari Rad M, Bijeh N, Attarzadeh Hosseini S R, & Raouf Saeb A. The impact of different modes of exercise training on irisin: A Systematic Review and Meta-Analysis Research. *Journal of Advances in Medical and Biomedical Research* 2021; 29(134), 125-138. URL: <http://journal.zums.ac.ir/article-1-6123-fa.html>. [In Persian]
- Arabmomeni A, Momeni K, Soltanian E. Comparison of the effect of two resistance and functional training on myostatin and body composition in non-active men. *Journal of Jiroft University of Medical Sciences* 2023; 10 (1) :1215-1227 URL: <http://journal.jmu.ac.ir/article-1-691-fa.html>. [In Persian]
- Karimi R, Fakhripour R, Zarneshan A. Effect of resistance training with milk protein concentrate (MPC) supplementation on serum levels of follistatin and myostatin and muscle hypertrophy in beginner bodybuilders. *Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology*, 2022; 9(1): 151-63. doi: 10.22049/jahssp.2022.27812.1471. [In Persian]
- Shirzad J, Tofighi A, Tolouei azar J, Khadem Ansari M H. Adaptation of irisin, follistatin and myostatin to 8 weeks of resistance, endurance and concurrent training in obese men. *Sport Physiology and Management Investigations*. 2021; 12(4): 23- 41. https://www.sportrc.ir/article_129032.html?lang=en [In Persian]

11. Attarzadeh Hosseini S R, Motahari Rad M, Hejazi K. Effects of Ramadan fasting and regular physical activity on serum myostatin and follistatin concentrations. *International Journal of Applied Exercise Physiology*. 2016; 5(3):38-45. <https://www.academia.edu/31162506>. [In Persian]
12. Taheri Chadarnashin, H., Ali Pourraz, M., Kalanteri, M., Nikdel, M., Saberi, Z., Fatahi, Z., & Mansouri Ajoul, A. (2021). The effect of resistance training intensity on serum irisin levels and lipid profile in inactive elderly women. *Journal of Applied Life Sciences in Sports*, 9(17), 68-79. doi: 10.22077/jpsbs.2020.2986.1529. [In Persian]
13. Vakili J, Amir Sasan R, & Betorak, K. The effect of eight weeks of high-intensity interval training (HIIT) and vitamin D supplementation on serum IGF-1, myostatin levels, and muscle hypertrophy in healthy elderly men. *Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology*. 2022, 12(1): 1-12 -. doi: 10.22049/jahssp.2022.27754.1456. [In Persian]
14. Razavi Mansh D. Responses of plasma irisin, follistatin, and insulin resistance index to two types of high-intensity interval training in overweight men. *Journal of Exercise Physiology and Physical Activity*. 2023; 16(4), 31-40. doi: 10.48308/joeppa.2023.232503.1182. [In Persian]
15. Ramadan Nejad M J . A Comparison of two protocols of high-intensity interval training and resistance training on the ratio of serum follistatin to myostatin and some performance indices in active male students. Master's Thesis, Department of Physical Education and Sport Sciences, *Ferdowsi University of Mashhad*, Iran. 2017
16. Conway et al. Comparing food frequency questionnaire with 7-day food record. *Public Health Nutrition*. 2014
17. Biglari S, Gaini A A, Kordi M R, Qardashi-Afosi A R. The effect of 8 weeks of high-intensity interval training on the expression of myostatin and follistatin genes in rat gastrocnemius muscle. *Journal of Arak University of Medical Sciences*. 2018; 21 (1): 1-10. URL: <http://jams.arakmu.ac.ir/article-1-5477-fa.html>. [In Persian]
18. Roostaei M, Pirani H, Rashidlamir A. High intensity interval training induces the expression of Myostatin and Follistatin isoforms in rat muscle: differential effects on fast and slow twitch skeletal muscles. *Medical Laboratory Journal* 2020; 14 (5) :48-53. URL: <http://mlj.goums.ac.ir/article-1-1230-en.html>. [In Persian]
19. Kabak B, Belviranli M, Okudan N. Irisin and myostatin responses to acute high-intensity interval exercise in humans. *Hormone Molecular Biology and Clinical Investigation*. 2018 Mar 20;35(3):/j/hmbci.2018.35.issue-3/hmbci-2018-0008/hmbci-2018-0008.xml. doi: 10.1515/hmbci-2018-0008. PMID: 29558345.
20. Azhir S, Alijani E, mohsenzadeh M. Effect of 8 weeks HIIT exercise on myostatin, follistatin an follistatin gene expression ratios on myostatin in male rats with type 2 diabetes. *Medical Journal of Tabriz University of Medical Sciences*. 2020; 42(2): 117-125. doi: 10.34172/mj.2020.027. [In Persian]
21. Winbanks CE, Weeks KL, Thomson RE, Sepulveda PV, Beyer C, Qian H, et al. Follistatin-mediated skeletal muscle hypertrophy is regulated by Smad3 and mTOR independently of myostatin. *Journal of Cell Biology*. 2012 Jun 25;197(7):997-1008. doi: 10.1083/jcb.201109091. Epub 2012 Jun 18. PMID: 22711699; PMCID: PMC3384410.
22. Gholamnezhad Z, Mégarbane B, Rezaee R. Molecular mechanisms mediating adaptation to exercise. *dvances in Experimental Medicine and Biology*. 2020;1228:45-61. doi: 10.1007/978-981-15-1792-1_3. PMID: 32342449.
23. Nygaard H, Slettaløkken G, Vegge G, Hollan I, Whist JE, Strand T, Rønnestad BR, Ellefsen S. Irisin in blood increases transiently after single sessions of intense endurance exercise and heavy strength training. *PLoS One*. 2015 Mar 17;10(3):e0121367. doi: 10.1371/journal.pone.0121367. PMID: 25781950; PMCID: PMC4363689.
24. Huh JY, Siopi A, Mougios V, Park KH, Mantzoros CS. Irisin in response to exercise in humans with and without metabolic syndrome. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2015 Mar;100(3):E453-7. doi: 10.1210/jc.2014-2416. Epub 2014 Dec 16. PMID: 25514098.
25. Kim HJ, Lee HJ, So B, Son JS, Yoon D, Song W. Effect of aerobic training and resistance training on circulating irisin level and their association with change of body composition in overweight/obese adults: a pilot study. *Physiological Research*. 2016 Jun 20;65(2):271-9. doi: 10.33549/physiolres.932997.
26. Khalafi M, Mohebbi H, Symonds ME, Karimi P, Akbari A, Tabari E, Faridnia M, Moghaddami K. The impact of moderate-intensity continuous or high-intensity interval training on adipogenesis and browning of subcutaneous adipose tissue in obese male rats. *Nutrients*. 2020 Mar 27;12(4):925. doi: 10.3390/nu12040925. PMID: 32230849; PMCID: PMC723100. [In Persian]
27. Murawska-Cialowicz E, Wolanski P, Zuwala-Jagiello J, Feito Y, Petr M, Kokstejn J, Stastny P, and Goliński D. Effect of hiIT with tabata protocol on serum irisin, physical performance, and body composition in men. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020 May 20;17(10):3589. doi: 10.3390/ijerph17103589. PMID: 32443802; PMCID: PMC7277607.
28. Archundia-Herrera C, Macias-Cervantes M, Ruiz-Muñoz B, Vargas-Ortiz K, Kornhauser C, Perez-Vazquez V. Muscle irisin response to aerobic vs HIIT in overweight female adolescents. *Diabetology & Metabolic Syndrome*. 2017 Dec 28;9:101. doi: 10.1186/s13098-017-0302-5. PMID: 29299068; PMCID: PMC5746008.
29. Norheim F, Langleite TM, Hjorth M, Holen T, Kielland A, Stadheim HK, et al. The effects of acute and chronic exercise on PGC-1 α , irisin and browning of subcutaneous adipose tissue in humans. *The FEBS Journal*. 2014 Feb;281(3):739-49. doi: 10.1111/febs.12619. Epub 2013 Dec 10. PMID: 24237962.

30. Shirvani H, Arabzadeh E. Metabolic cross-talk between skeletal muscle and adipose tissue in high-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous training by regulation of PGC-1 α . *Eating and Weight Disorders - Studies on Anorexia, Bulimia and Obesity*. 2020 Feb;25(1):17-24. doi: 10.1007/s40519-018-0491-4. Epub 2018 Feb 26. PMID: 294804. [In Persian]
31. Fathi A, Noorshahi M, Haghparast A, Hossini H. Effect of eight-week aerobic continuous and high intensity interval training on levels of SIRT3 in skeletal muscle tissue of Wistar rats. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2015; 8(2): 1277-1289. doi: 10.48308/joeppa.2015.98771.[In Persian]
32. Afzalpour ME, Ghasemi E, Zarban A. Effects of 10 weeks of high intensity interval training and green tea supplementation on serum levels of Sirtuin-1 and peroxisome proliferator-activated receptor gamma co-activator 1-alpha in overweight women. *Science & Sports*.2017; 32 (2): 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2016.09.004> .[In Persian]
33. Schnyder S, Handschin C. Skeletal muscle as an endocrine organ: PGC-1 α , myokines and exercise. *Bone*. 2015; 80:115-125. doi: 10.1016/j.bone.2015.02.008.
34. Boström P, Wu J, Kajimura S, Zingaretti C. M, Vind B. F, Tu H Cinti, et al. A PGC1- α -dependent myokine that drives brown-fat-like development of white fat and thermogenesis. *Nature*.2012;481(7382):463-8. doi: 10.1038/nature10777.
35. Aldiss P, Lewis JE, Lupini I, Bloor I, Chavoshinejad R, Boocock DJ, et al. Exercise training in obese rats does not induce browning at thermoneutrality and induces a muscle-like signature in brown adipose tissue.*Frontiers in Endocrinology*.2020;11:97. doi: 10.3389/fendo.2020.00097.
36. Yan M, Audet-Walsh É, Manteghi S, Dufour CR, Walker B, Baba M, St-Pierre J, Giguère V, Pause A. Chronic AMPK activation via loss of FLCN induces functional beige adipose tissue through PGC-1 α /ERR α .*Genes & Development*2016;30(9):1034-46. doi: 10.1101/gad.281410.116.

