

The Effect of HIIT, Resistance, and Combined Training on Obesity-Related Hormonal Factors in Obese and Overweight Prediabetic Adolescents

Mostafa Khani¹ , Saeid Nikokheslat² , Javid Nouri^{3✉} , Javad Vakili⁴ 

1. Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
E-mail: ms_khani@yahoo.com
2. Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
E-mail: s_niko@yahoo.com@ut.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: javid_nouri72@gmail.com
4. Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
E-mail: yakili@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research

Article history:

Received:
14 June 2024
Received in revised form:
9 June 2024
Accepted:
15 August 2024
Published online:
22 August 2024

Keywords:

Adolescent Boys,
High-Intensity Interval Training,
HOMA Index,
Obesity,
Resistance Training.

ABSTRACT

Introduction: The present study aimed to determine the effect of eight weeks of high-intensity interval training, resistance, and combined training on obesity-related hormonal factors in and sports adaptations in prediabetic adolescent boys

Methods: In a quasi-experimental research project, 40 healthy sedentary boys with an age range of 13-15 years (BMI: 28-31 kg/m²; fat percentage: 32-36%) were selected based on fat percentage and aerobic fitness, and they were assigned into four High-Intensity Interval Training (HIIT), Resistance, Combined and Control groups. Each training includes four sessions per week that lasts 45-60 minutes. Each HIIT session consisted of 6-8 repetitions of 30-60 seconds sprints at 80-85% of reserve heart rate (3.5 minutes rest between repetitions). Resistance training included movements of the main muscles of the upper body, trunk, and lower body. Combined training consisted of a combination of resistance training and HIIT. Fasting glucose concentration, HOMA index, and serum insulin of obese and overweight adolescent boys were measured before and after the training protocols. The changes in each studied indices during different stages of measurement were analyzed using 4x2 analysis of variance and Bonferroni post hoc tests via SPSS-22 software at a significance level less than 0.05.

Results: Fasting glucose concentration did not change significantly in any groups. However, it decreased significantly only in the combined training group. The serum insulin level and the HOMA index decreased significantly in all three training groups, and the reduction of these indices in the combined training group was significantly greater than in the other two groups.

Conclusion: Using the combination of HITT with resistance training improves and reduces the level of insulin, glucose, and insulin resistance. This combined training is a suitable method compared to each HITT and resistance training method alone.

Cite this article: Khani M., Nikokheslat S., Nouri J., & Vakili J. The Effect of HIIT, Resistance, and Combined Training on Obesity-Related Hormonal Factors in Obese and Overweight Prediabetic Adolescents. *Journal of Sport Biosciences*. 2024; 16 (2): 43-56.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jsb.2024.377037.1634>.



Journal of Sport Biosciences by University of Tehran Press is licensed under [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).
| Web site: <https://jsb.ut.ac.ir/> | Email: jsb@ut.ac.ir.

Extended Abstract

Introduction

Up to 30 years ago, type 2 diabetes mellitus (T2DM) rarely occurred in the pediatric population and was accordingly referred to as "adult-onset diabetes". Gradually, and especially in recent centuries, several countries started to report an increasing incidence of T2DM in youth, following an increase in both the prevalence and degree of pediatric obesity. Currently, T2DM is a complex and costly condition in adults, since almost half a billion people worldwide live with the disease, accounting for 90% of diabetes cases. T2DM in these patients can cause renal insufficiency, blindness, lower limb amputation, cardiovascular disease, and other complications, causing substantially higher morbidity and mortality than found in the general population. During physical activity (PA), glucose uptake into active skeletal muscles increases via insulin-independent pathways. Blood glucose levels are maintained by gluco-regulatory hormone-derived increases in hepatic glucose production and mobilization of free fatty acids, which may be impaired by insulin resistance or diabetes. Improvements in systemic, and possibly hepatic, insulin sensitivity following any PA can last from 2 to 72 hours, with reductions in blood glucose closely associated with PA duration and intensity. Additionally, regular PA enhances β -cell function, insulin sensitivity, and vascular function all of which may lead to better diabetes and health management and disease risk reduction. Therefore, the present study aimed to determine the effect of eight weeks of high-intensity interval training (HIIT), resistance, and combined training on obesity-related hormonal factors including insulin, fasting blood glucose, and HOMA index in obese adolescent boys.

Methods

In a quasi-experimental research project, 40 healthy sedentary boys with an age range of 13-15 years (BMI: 28-31 kg/m²; fat percentage: 32-36%) were selected based on fat percentage and aerobic fitness, and they were assigned into four High-Intensity Interval Training (HIIT), Resistance, Combined and Control groups. Each training includes four sessions per week that lasts 45-60 minutes. Each HIIT session consisted of 6-8 repetitions of 30-60 seconds sprints at 80-85% of reserve heart rate (3.5 minutes rest between repetitions). Resistance training included movements of the main muscles of the upper body, trunk, and lower body. Combined training consisted of a combination of resistance training and

HIIT. Fasting glucose concentration, HOMA index, and serum insulin of obese and overweight adolescent boys were measured before and after training protocols. The changes in each studied indices during different stages of measurement were analyzed using 4x2 analysis of variance and Bonferroni post hoc tests via SPSS-22 software at a significance level less than 0.05.

Results

Fasting glucose concentration did not change significantly in any of the groups. However, it decreased significantly only in the combined training group. The serum insulin level and the HOMA index decreased significantly in all three training groups, and the reduction of these indices in the combined training group was significantly greater than in the other two groups.

Conclusion

Various types of physical activity, including but not limited to planned exercises, can greatly enhance health and glycemic management. Physical activity undertaken with health complications can be made safe and efficient, and exercise training undertaken before and after bariatric surgery is warranted and may enhance its health benefits. Finally, barriers to, and inequities in, physical activity and exercise adoption and maintenance should be addressed to maximize participation. However, using the combination of HIIT with resistance training improves and reduces the level of insulin, glucose, and insulin resistance. This combined training is a suitable method compared to each HIIT and resistance training method alone.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines: This study followed the ethical standards and was approved by the Ethics Committee of the Sport Sciences and Research Institute.

Funding: This study was extracted from the MSc thesis by the first Author. No funding was received for this study.

Authors' contribution: All authors contributed equally to the study design.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest

Acknowledgments: We sincerely thank and appreciate all the people who have cooperated in this research.

تأثیر تمرین HIIT، مقاومتی و ترکیبی بر عوامل هورمونی مرتبط با چاقی در نوجوانان چاق و دارای اضافه وزن پیش‌دیابتی

مصطفی خانی^۱، سعید نیکوخصلت^۲، جاوید نوری^۳، جواد وکیلی^۴

۱. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: s_niko@yahoo.com
۲. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: s_niko@yahoo.com@ut.ac.ir
۳. نویسنده مسئول، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: javid_nouri72@gmail.com
۴. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تهران و دانشگاه تبریز، تهران، ایران. رایانامه: vakili@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	مقدمه: هدف تحقیق حاضر، تعیین تأثیر هشت هفته تمرین تناوبی شدید، تمرین مقاومتی و ترکیبی بر عوامل هورمونی مرتبط با چاقی و سازگاری‌های ورزشی در پسران نوجوان پیش‌دیابتی است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۵	روش پژوهش: در یک طرح تحقیق نیمه‌تجربی، ۴۰ پسر سالم کم‌تحرک با دامنه سنی ۱۳-۱۵ سال (BMI: ۳۱-۲۸ kg/m ² ؛ درصد چربی: ۳۲-۳۶ درصد) بر اساس درصد چربی و آمادگی هوازی انتخاب شدند و در چهار گروه هشت هفته تمرین تناوبی شدید (HIIT)، مقاومتی، ترکیبی (هریک از تمرینات شامل هر هفته چهار جلسه و هر جلسه ۴۵-۶۰ دقیقه) و کنترل (بدون فعالیت) قرار گرفتند. هر جلسه HIIT شامل ۶-۸ تکرار دویدن ۳۰-۶۰ ثانیه‌ای با ۸۵-۸۰ درصد ضربان قلب ذخیره (۳/۵ دقیقه استراحت بین هر تکرار) بود. هشت هفته تمرین مقاومتی شامل حرکات عضلات اصلی بالاتنه، تنه و عضلات اصلی پایین‌تنه بود. تمرین ترکیبی شامل ترکیب تمرین مقاومتی و HIIT بود. غلظت گلوکز ناشتا، شاخص HOMA، انسولین سرمی پسران نوجوان چاق و دارای اضافه وزن پیش و پس از پروتکل تمرینی اندازه‌گیری شد. تغییرات هریک از شاخص‌های مورد بررسی طی مراحل مختلف اندازه‌گیری با آزمون‌های تحلیل واریانس ۲*۴ و تعقیبی بنفرونی با نرم‌افزار SPSS22 در سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ بررسی شد.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۲۰	یافته‌ها: غلظت گلوکز ناشتا در هیچ‌یک از گروه‌ها تغییر معناداری نداشت و تنها در گروه ترکیبی به‌طور معناداری کاهش یافت، اما سطح سرمی انسولین و شاخص HOMA در هر سه گروه تمرینی به‌طور معناداری کاهش یافت که کاهش این شاخص‌های گروه تمرین ترکیبی به‌طور معناداری بیشتر از دو گروه دیگر بود.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵	نتیجه‌گیری: استفاده از ترکیب تمرینات تناوبی شدید به‌همراه مقاومتی سبب بهبود و کاهش سطح انسولین، گلوکز و مقاومت به انسولین می‌شود و روش مناسبی نسبت به هریک از روش‌های تمرینی تناوبی و مقاومتی به‌تنهایی است.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۰۱	
کلیدواژه‌ها: پسران نوجوان، تمرینات تناوبی شدید، تمرین مقاومتی، چاقی، شاخص HOMA.	

استناد: نوری، جاوید؛ نیکوخصلت جاوید، سعید؛ خانی، مصطفی؛ وکیلی، جواد. تأثیر تمرین HIIT، مقاومتی و ترکیبی بر عوامل هورمونی مرتبط با چاقی در نوجوانان چاق و دارای اضافه وزن پیش‌دیابتی. نشریه علوم زیستی ورزشی، ۱۴۰۲، ۱۶(۲)، ۴۳-۵۶.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jsb.2024.377037.1634>

دسترسی به این نشریه علمی، رایگان است و حق مالکیت فکری خود را بر اساس لایسنس کپی‌رایت کامنز (CC BY-NC 4.0) به نویسندگان واگذار کرده است. آدرس نشریه: <https://jsb.ut.ac.ir/> | ایمیل: jsb@ut.ac.ir



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

بیماری‌های مزمن غیرواگیر شامل بیماری‌های قلبی-عروقی، چاقی و دیابت از عوامل اصلی مرگ‌ومیر در دنیا هستند. فراوانی بیماری‌های مزمن در حال افزایش است و در این میان کشورهای در حال توسعه بار بیشتری از این افزایش را به خود اختصاص می‌دهند. اگرچه بروز و ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی (CVD) طی مراحل انتهایی زندگی و به‌ویژه سالمندی نمود می‌یابد، اما فرایندهای فیزیولوژیک مرتبط با آترواسکروز در دوران کودکی و اوایل زندگی آغاز می‌شود [۱]. با این حال، تداوم و پیشرفت فرایندهای فیزیولوژیک مرتبط با خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی و دیابت در دوران نوجوانی و جوانی ادامه می‌یابد و ابتلا به بیماری‌های مزمنی مانند بیماری‌های قلبی-عروقی از دوران نوجوانی و حتی کودکی شروع می‌شود و منشأ می‌گیرد؛ به‌نحوی که در منابع جدید دیگر دیابت نوع دو به‌عنوان دیابت بزرگسالی نامیده نمی‌شود [۲]. افزون بر این برخی تحقیقات نشان داده‌اند حتی ارزیابی شاخص‌هایی مانند قند خون ناشتا، انسولین و HOMA در سنین کودکی و نوجوانی می‌تواند به ارزیابی کارآمد برای پیشگیری در سنین بالاتر منجر شود [۳]. از این‌رو به‌نظر می‌رسد مداخلات تعدیل عوامل خطر ابتلا به CVD برای اثرگذاری کارآمد بر آنها باید در دو دهه اول زندگی شروع شود. به‌طور کلی، فعالیت بدنی و تمرینات ورزشی منظم سبب کاهش عوامل خطر CVD در افراد نوجوان می‌شود. همچنین چاقی در دوران نوجوانی ممکن است سبب تغییر شاخص‌های هورمونی مانند انسولین و مقاومت به انسولین شود [۴]. مقاومت به انسولین و چاقی (به‌ویژه چاقی شکمی) دو مؤلفه اصلی مرتبط با چاقی‌اند [۵] که از طریق افزایش توده چربی در بروز مقاومت به انسولین و در پی آن ابتلا به بسیاری از بیماری‌های مزمن نقش دارد [۶]. امروزه مشخص شده است که چاقی موجب تغییر در عملکرد سلول‌های چربی و بروز اختلالاتی می‌شود. همچنین در بسیاری از افراد مبتلا به چاقی افزایش سطح قند خون ناشتا و هموگلوبین گلیکوزیله‌شده (A1C) مشاهده می‌شود که عامل خطر مرتبط با ابتلا به دیابت در این بیماران است؛ این مسئله در ترکیب با کاهش آمادگی هوازی (اکسیژن مصرفی بیشینه) در افراد روی می‌دهد [۷، ۸].

افزایش فعالیت بدنی و تمرینات ورزشی یکی از روش‌های کارآمد و مؤثر در جلوگیری از ابتلا به بیماری‌های سوخت‌وسازی محسوب می‌شود. طبق نتایج تحقیقات و پژوهش‌ها، انجام فعالیت‌های ورزشی منظم از طریق کاهش مقادیر لیپیدها و چربی‌های پلاسمایی و گلوکز خون و افزایش حساسیت انسولینی موجب بهبود و تعدیل عوارض ناشی از بیماری‌های متابولیکی و قلبی-عروقی می‌شود [۹، ۱۰]. همچنین تمرین ورزشی می‌تواند تأثیرات مفیدی بر کاهش چاقی احشایی و دیگر عوامل خطرزای قلبی-عروقی داشته باشد [۱۱]. با این حال تأثیر تمرینات ورزشی وابسته به نوع تمرین است که به‌طور عمده به شدت‌های متفاوت پروتکل‌های تمرینی وابسته است. اگرچه اغلب سازگاری‌های متابولیکی بر اثر تمرینات هوازی مورد توجه قرار گرفته است، اما امروزه ارزش بالقوه تمرینات تناوبی شدید (HIIT) و مقاومتی در زمینه توسعه سلامتی و آمادگی درک شده است [۱۲، ۱۳]. در دهه اخیر اطلاعاتی منتشر شده است که تمرینات تناوبی با حجم کم و شدت بالا تأثیر تمرین درمانی مشابه تمرینات تداومی سنتی برای بهبود سلامتی و سازگاری‌های مرکزی و محیطی دارد [۱۴]. همچنین در زمینه تأثیر تمرین ورزشی مقاومتی و HIIT بر شاخص‌های مرتبط با چاقی پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته است، به‌طوری که نتایج نشان می‌دهد که تمرینات ورزشی می‌تواند سبب بهبود شاخص‌های مرتبط با این بیماری شود [۱۵، ۱۶]. از طرف دیگر، عدم تغییر معنادار این شاخص‌ها در پژوهش‌های انجام‌گرفته گزارش شده است [۱۷، ۱۸]. از یک سو پیشینه پژوهش نشان از نتایج ناهمسو دارد که احتمالاً در نتیجه تفاوت پروتکل‌های تمرینی باشد. از سوی دیگر، تمرینات تناوبی شدید (HIIT) در چند سال اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است و از این منظر مهم‌اند که میزان سازگاری‌های موجود در عضلات اسکلتی و سایر بافت‌های بدن از جمله دستگاه غدد درون‌ریز را در مدت زمان کوتاه‌تری ایجاد می‌کنند. تمرینات HIIT احتمالاً می‌توانند در مدت زمان کوتاه‌تری نسبت به تمرینات تداومی هوازی سبب ایجاد سازگاری شوند و از دیدگاهی دیگر می‌توان گفت که هریک از تمرینات ورزشی مانند تمرینات ورزشی استقامتی و مقاومتی می‌توانند بسته به ماهیت رشته ورزشی و اصل ویژگی تمرینات ورزشی به سازگاری‌های متفاوتی منجر شوند که ممکن است از طریق برنامه تمرینات HIIT قابل دستیابی نباشد. با این حال، در سال‌های اخیر توجه به تمرینات ترکیبی بسیار مورد توجه قرار گرفته است، اما عمده پژوهش‌ها روی ترکیب تمرینات هوازی با سایر انواع تمرینات و به‌ویژه تمرینات مقاومتی بوده است. با این حال در تحقیقات بسیار اندکی تأثیر تمرینات

HIIT و مقاومتی به صورت ترکیبی ارزیابی و بررسی شده است. از این رو پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر هشت هفته تمرین HIIT، مقاومتی و ترکیبی (HIIT و مقاومتی) بر عوامل هورمونی مرتبط با چاقی در پسران نوجوان چاق و دارای اضافه وزن انجام گرفت.

روش‌شناسی پژوهش

تحقیق حاضر در قالب طرح‌های نیمه‌تجربی چهارگروهی (HIIT، تمرین مقاومتی و ترکیبی و کنترل) با اندازه‌گیری دومرحله‌ای انجام گرفت. جامعه آماری تحقیق پسران نوجوان ۱۳-۱۵ ساله سالم کم‌تحرک مبتلا به اضافه وزن و چاقی و دارای شاخص‌های پیش‌دیابتی (قند خون ناشتای بین ۱۰۰-۱۲۵ میلی‌گرم/دسی‌لیتر) شهر تبریز مراجعه‌کننده به باشگاه ورزشی مختلف سطح شهر تبریز بودند. پس از هماهنگی اولیه با والدین از آزمودنی‌ها ثبت‌نام به عمل آمد. همه والدین و آزمودنی‌های نوجوان داوطلب با حضور در جلسه هماهنگی و پس از شرح کامل اهداف و روش‌های اندازه‌گیری توسط محقق، با تکمیل برگه رضایت آگاهانه و پرسشنامه‌های سلامتی و یادآمد تغذیه‌ای ۲۴ ساعته، مورد معاینات پزشکی (به همراه تعیین بلوغ جنسی با مقیاس تانر) قرار گرفتند که بر اساس نتایج هیچ کدام از آزمودنی‌ها وارد مرحله بلوغ نشده بودند. هیچ کدام از آزمودنی‌ها سابقه مصرف مکمل نداشتند یا دست کم از آخرین مصرف آنها شش ماه گذشته بود. آزمودنی‌های آسیب‌دیده و بیمار نیز از نمونه مورد بررسی حذف شدند. به منظور انتخاب نمونه مورد بررسی، دو هفته پیش از شروع تحقیق، ابتدا ویژگی‌های فردی و برخی از شاخص‌های تن‌سنجی (سن، قد، وزن بدن و درصد چربی) نوجوانان داوطلب اندازه‌گیری و ثبت شد. حجم نمونه مورد بررسی در حدود هشت نفر برای هر یک از گروه‌ها با در نظر گرفتن طرح تحقیق و نتایج پژوهش‌های قبلی با استفاده از نرم‌افزار G POWER در کل ۳۲ نفر برآورد شد. البته به منظور جلوگیری از افت احتمالی آزمودنی‌ها طی مراحل تحقیق، ۴۰ نفر برای شرکت در تحقیق انتخاب شدند که به طور تصادفی با توجه به شاخص‌های تن‌سنجی و آمادگی هوازی در چهار گروه همگن جایگزین شدند. افزون بر این از مقیاس تعیین مراحل بلوغ تانر برای تعیین سطح بلوغ جسمانی و تأثیرات احتمالی آن بر نتایج استفاده شد [۱۹].

بخش آشناسازی و آمادگی تمرینات

ابتدا همه آزمودنی‌ها پس از قرار گرفتن به صورت تصادفی در هر یک از گروه‌ها بسته به نوع تمرینات دو هفته آشناسازی و آمادگی برای اجرای تمرینات را گذراندند. برنامه تمرینی آماده‌سازی برای گروه تمرین HIIT شامل ۱۵-۲۰ دقیقه دویدن با شدت ۶۰-۷۰ درصد HRR و برای گروه تمرین مقاومتی شامل تمرین با شدت ۶۰-۶۵ درصد 1RM (۲-۱ ست، ۱۵ تکرار، ۶۰ ثانیه استراحت بین هر تکرار، ۱۸۰ ثانیه استراحت بین هر ست) بود. همچنین تمرین آشناسازی گروه ترکیبی شامل ترکیبی از این دو تمرین بود.

پروتکل ورزشی تمرین تناوبی شدید

همه این افراد با هدف آشناسازی و آمادگی اولیه در برنامه تمرین تداومی هوازی (با شدت ۶۵-۷۰ درصد ضربان قلب ذخیره به مدت ۳۰ دقیقه، سه جلسه در هفته) به مدت دو هفته شرکت کردند. هر جلسه HIIT شامل ۱۵ دقیقه گرم کردن، ۶-۸ تکرار دویدن ۳۰-۶۰ ثانیه‌ای با شدت ۸۰-۸۵ درصد ضربان قلب ذخیره (۳/۵ دقیقه استراحت بین هر تکرار) بود. طی برنامه HIIT تعداد تکرار دویدن ۳۰ ثانیه‌ای با شش تکرار شروع شد و پس از چهار هفته به ۴۵ ثانیه و در نهایت در دو هفته نهایی تمرینات به شش الی هشت تکرار ۶۰ ثانیه‌ای رسید. طی هر جلسه تمرینی ابتدا ۳-۴ تکرار دویدن با ۸۰-۸۵ درصد ضربان قلب ذخیره با ۳/۵ دقیقه استراحت بین هر تکرار اجرا شد و سپس آزمودنی‌های نوجوان پنج دقیقه استراحت داشتند و ۳-۴ تکرار دویدن بعدی را اجرا کردند. در ابتدا بالاترین مسافت و سرعت ممکن در یک زمان خاص به دست آمد و سپس اجرای با ۸۰-۸۵ درصد ضربان قلب ذخیره و سرعت نسبت به آن ارزیابی شد. همچنین باید خاطر نشان شود که تمرینات هم‌ایزو و کالریک و هم‌ایزو و لومیک بودند تا مقدار کار و کالری هر نوع تمرین یکسان باشد.

جدول ۱. پروتکل تمرینی HIIT

هفته	تعداد جلسات هفتگی	تعداد ست	شدت (درصد HRR)	مدت هر وهله (ثانیه)	تعداد تکرار هر فعالیت	استراحت بین ستها (دقیقه)	مدت زمان استراحت غیرفعال (دقیقه)	گرم کردن (۱۵ دقیقه)	سرد کردن (۱۰ دقیقه)
اول و دوم	۴	۲	۸۵-۸۰	۳۵-۳۰	۴-۳	۵	۳/۵	حرکت کششی و نرمشی	حرکت کششی و نرمشی
سوم و چهارم	۴	۲	۸۵-۸۰	۴۵-۴۰	۴-۳	۵	۳/۵	حرکت کششی و نرمشی	حرکت کششی و نرمشی
پنجم و ششم	۴	۲	۸۵-۸۰	۵۵-۵۰	۴-۳	۵	۳/۵	حرکت کششی و نرمشی	حرکت کششی و نرمشی
هفتم و هشتم	۴	۲	۸۵-۸۰	۶۰-۵۵	۴-۳	۵	۳/۵	حرکت کششی و نرمشی	حرکت کششی و نرمشی

تمرین مقاومتی: تمرین مقاومتی شامل سه بخش است. حرکات پویا شامل عضلات اصلی بالاتنه (پرس سینه، پرس شانه و زیر بغل از جلو)، عضلات اصلی پایین تنه (پرس پا، جلو پا و پشت پا) و عضلات تنه (شکم و پشت) با ۸ تا ۱۲ تکرار، چهار جلسه در هفته همراه با گرم کردن و سرد کردن و استراحت دو تا سه دقیقه‌ای بین ستها بود. تمرین مقاومتی نیز در ابتدا با ۱۲ تکرار انجام گرفت و با گذشت هفته‌های تمرینی تعداد تکرارها کم و شدت زیاد شد. ترتیب اجرای حرکات بدین صورت بود: ابتدا پرس پا، پرس سینه، جلو پا، سرشانه، پشت پا، قایقی از جلو، دراز و نشست و در نهایت حرکت فیله کمر بود.

جدول ۲. پروتکل تمرینی مقاومتی

هفته	تعداد جلسات هفتگی	تعداد ست	تعداد تکرار	استراحت بین تکرارها (ثانیه)	استراحت بین ستها (ثانیه)	شدت (درصد 1RM)	گرم کردن (۱۵ دقیقه)	سرد کردن (۱۰ دقیقه)
۱-۲	۴	۳-۲	۱۲	۶۰	۱۸۰	۷۵-۷۰	حرکت کششی و نرمشی	حرکت کششی و نرمشی
۳-۴	۴	۳-۲	۱۲	۶۰	۱۸۰	۸۰-۷۵	حرکت کششی و نرمشی	حرکت کششی و نرمشی
۵-۶	۴	۳-۲	۱۰	۶۰	۱۸۰	۸۵-۸۰	حرکت کششی و نرمشی	حرکت کششی و نرمشی
۷-۸	۴	۳-۲	۸	۶۰	۱۸۰	۹۰-۸۵	حرکت کششی و نرمشی	حرکت کششی و نرمشی

تمرین ترکیبی: تمرین ترکیبی شامل دو بخش تمرینات HIIT و مقاومتی است. حرکات پویا شامل عضلات اصلی بالاتنه (پرس سینه، پرس شانه و زیر بغل از جلو)، عضلات اصلی پایین تنه (پرس پا، جلو پا و پشت پا) و عضلات تنه (شکم و پشت) با چهار تا هشت تکرار، سه-چهار جلسه در هفته همراه با گرم کردن و سرد کردن و استراحت دو تا سه دقیقه‌ای بین ستها استفاده شد.

تمرین مقاومتی نیز در ابتدا با ۱۲ تکرار انجام گرفت و با گذشت هفته‌های تمرینی تعداد تکرارها زیاد شد. طی بخش HIIT تعداد تکرار دویدن ۳۰ ثانیه‌ای با سه تکرار شروع شد، پس از چهار هفته به ۴۵ ثانیه و در نهایت در دو هفته نهایی تمرینات سه تا چهار تکرار ۶۰ ثانیه‌ای شد. طی هر جلسه تمرینی ابتدا ۳-۴ تکرار دویدن با ۸۰-۸۵ درصد ضربان قلب ذخیره با ۳/۵ دقیقه استراحت بین هر تکرار اجرا شد، سپس آزمودنی‌های نوجوان پنج دقیقه استراحت داشتند و ۳-۴ تکرار دویدن با شدت ۸۰-۸۵ درصد ضربان قلب ذخیره بعدی را اجرا کردند.

جدول ۳. پروتکل تمرینات ورزشی ترکیبی

تمرین تناوبی (روزهای شنبه و سه‌شنبه)

سرد کردن (۱۰ دقیقه)	گرم کردن (۱۵ دقیقه)	استراحت		تعداد تکرار هر فعالیت (دقیقه)	مدت هر وهله (ثانیه)	شدت (درصد) (HRR)	تعداد ست	تعداد جلسات هفتگی	هفته
		غیرفعال	استراحت بین ست‌ها (دقیقه)						
حرکت کششی و نرمشی	حرکت کششی و نرمشی	۳/۵	۵	۴-۳	۳۵-۳۰	۸۵-۸۰	۲	۴	اول و دوم
حرکت کششی و نرمشی	حرکت کششی و نرمشی	۳/۵	۵	۴-۳	۴۵-۴۰	۸۵-۸۰	۲	۳	سوم و چهارم
حرکت کششی و نرمشی	حرکت کششی و نرمشی	۳/۵	۵	۴-۳	۵۵-۵۰	۸۵-۸۰	۲	۳	پنجم و ششم
حرکت کششی و نرمشی	حرکت کششی و نرمشی	۳/۵	۵	۴-۳	۶۰-۵۵	۸۵-۸۰	۲	۳	هفتم و هشتم

تمرین مقاومتی (روزهای یکشنبه و چهارشنبه)

سرد کردن (۱۰ دقیقه)	گرم کردن (۱۵ دقیقه)	شدت (درصد) (IRM)	استراحت بین ست‌ها (ثانیه)	استراحت بین تکرارها (ثانیه)	تعداد تکرار	تعداد ست	تعداد هفتگی	هفته
حرکت کششی و نرمشی	حرکت کششی و نرمشی	۸۰-۷۵	۱۸۰	۶۰	۱۲	۳-۲	۴	۴-۳
حرکت کششی و نرمشی	حرکت کششی و نرمشی	۸۵-۸۰	۱۸۰	۶۰	۱۰	۳-۲	۴	۶-۵
حرکت کششی و نرمشی	حرکت کششی و نرمشی	۹۰-۸۵	۱۸۰	۶۰	۸	۳-۲	۴	۸-۷

۴۸ ساعت پیش و پس از اولین و آخرین جلسه تمرین شاخص‌ها در هر چهار گروه اندازه‌گیری شد. رژیم غذایی روزانه آزمودنی‌ها طی دوره تحقیق (با استفاده از پرسشنامه یادآمد تغذیه‌ای ۲۴ ساعته) کنترل شد. همه آزمودنی‌ها در حین تمرینات بدنی هیچ محدودیتی در زمینه دسترسی و نوشیدن آب نداشتند. همچنین افراد حاضر در گروه کنترل به فعالیت‌های عادی و زندگی روزمره خود ادامه دادند.

جمع‌آوری داده‌ها

تمام آزمودنی‌ها صبح روز پیش از شروع پروتکل تمرینی و ۴۸ ساعت پس از اتمام پروتکل تمرینی برای جمع‌آوری نمونه‌های خون در آزمایشگاه حاضر شدند و از همه آزمودنی‌ها نمونه‌های خونی جمع‌آوری شد. نمونه‌های خونی (به مقدار ۷ میلی‌لیتر) از ورید پیش‌آرنجی دست چپ افراد گرفته شد. یک میلی‌لیتر از نمونه‌های خونی به منظور شمارش تعداد سلول‌های خونی (CBC) در ویال‌های مخصوص حاوی ماده ضد انعقاد EDTA_{K3} ریخته شده و کاملاً مخلوط شد. چهار میلی‌لیتر باقیمانده خون به منظور جداسازی سرم در لوله آزمایش مخصوص ریخته شد. نمونه‌های خونی به مدت ۱۵ دقیقه در دمای محیط آزمایشگاه (۲۵-۲۲ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شدند تا لخته

تشکیل شود. پس از آن سرم نمونه‌ها به وسیله دستگاه ساترفیوژ (۳۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه) جدا شد. برای انجام مراحل بعدی، نمونه‌ها در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد قرار داده شد [۱۴، ۵].

شرایط انجام تحقیق

تمام اندازه‌گیری شاخص‌های خونی در ساعت ۸-۱۰ صبح (۱۲ ساعت ناشتا و هشت ساعت خواب شبانه‌گاهی) انجام گرفت. رژیم غذایی روزانه آزمودنی‌ها طی دوره تحقیق (با استفاده از پرسشنامه یادآمد تغذیه‌ای ۲۴ ساعته) کنترل شد.

روش‌های اندازه‌گیری متغیرها

به منظور تعیین مقادیر انسولین، گلوکز ناشتا و شاخص HOMA به روش آنزیماتیک و ELISA با کیت اندازه‌گیری شد.

شاخص HOMA با استفاده از فرمول زیر و بر اساس انسولین ناشتا و قند خون ناشتا محاسبه شد:

$$\text{HOMA-IR} = \{[\text{fasting insulin } (\mu\text{U/ml}) \times [\text{fasting glucose (mmol/l)}]]\} / 22.5$$

روش‌های آماری

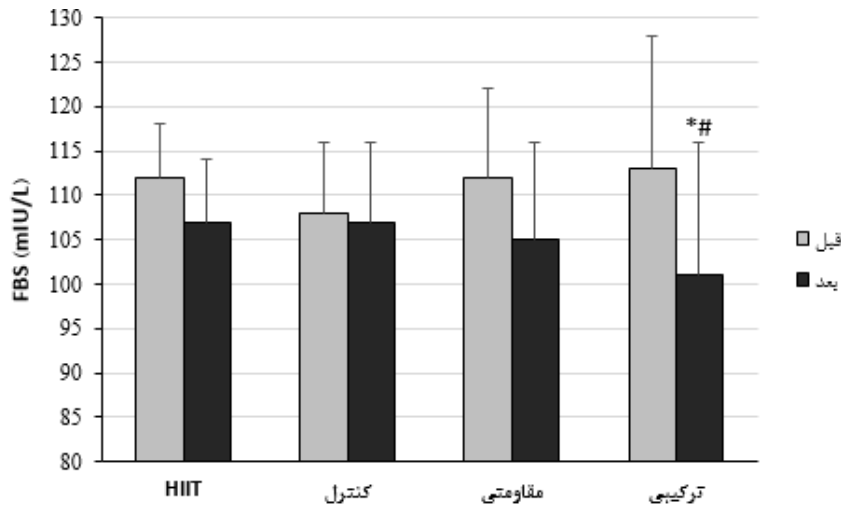
وضعیت توزیع طبیعی داده‌ها (میانگین و انحراف استاندارد) با استفاده از آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. پس از تأیید توزیع طبیعی و همگنی داده‌های حاصله در مرحله اول (آزمون تحلیل واریانس یکطرفه چهارگروهی)، تغییرات هریک از شاخص‌های مورد بررسی طی مراحل مختلف اندازه‌گیری با آزمون‌های تحلیل کوواریانس و تعقیبی بنفرونی با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ تحت ویندوز در سطح معناداری ۵ درصد بررسی شد.

یافته‌های پژوهش

در جدول ۴ شاخص‌های آماری مربوط به ویژگی‌های فردی آزمودنی‌ها در گروه‌های مختلف آورده شده است.

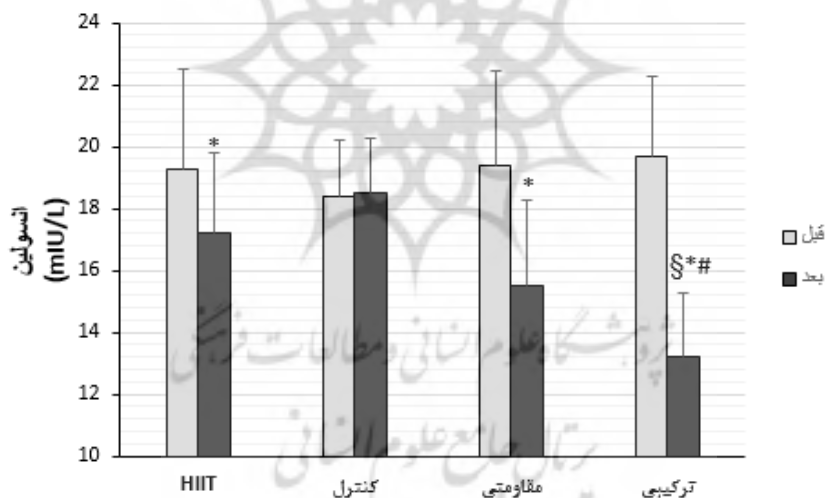
جدول ۴. خلاصه وضعیت توصیفی آزمودنی‌ها

معناداری	میانگین ± انحراف استاندارد			ویژگی / گروه‌ها
	کنترل	تمرین ترکیبی	HIIT	
بین گروهی				
۰/۷	۱۳/۷±۱/۷۱	۱۳/۱±۲/۱۷	۱۴/۴±۲/۲۴	سن (سال)
۰/۸۱	۱/۷۲±۰/۰۳	۱/۷۴±۰/۰۲	۱/۷۵±۰/۰۶	قد (سانتی‌متر)
۰/۹۲	۸۵/۲±۴/۷	۸۵/۴±۱/۵۴	۸۵/۶±۴/۴۳	پیش
۰/۲	۸۶/۱±۴/۷	۸۴/۲±۱/۱۲	۸۴/۶±۲/۲۲	پس
۰/۴۵	۲۸/۶۸±۱/۱۷	۲۸/۲۵±۲/۱۷	۲۸/۰۵±۲/۸۲	پیش
۰/۳	۲۹/۱±۲/۸	۲۷/۴۹±۴/۴	۲۷/۶۲±۲/۳	پس
۰/۳۸	۳۵/۶۴±۳/۰۲	۳۶/۷±۳/۵۳	۳۵/۸±۱/۹۷	پیش
۰/۲۱	۳۵/۸±۴/۳	۳۴/۹±۲/۲	۳۵/۱±۲/۱۲	پس
۰/۷۴	۰/۹۲±۰/۰۳	۰/۹±۰/۰۲	۰/۹۱±۰/۰۶	پیش
۰/۳	۰/۹۲±۰/۰۷	۰/۸۹±۰/۵۴	۰/۹۰±۰/۰۳	پس
				WHR



شکل ۱. تغییرات سطح گلوکز ناشتا بعد از انواع مختلف تمرینات ورزشی
* تفاوت معنادار نسبت به گروه کنترل؛ # تفاوت معنادار نسبت به گروه مقاومتی

همچنین سطوح سرمی انسولین و شاخص HOMA در هر سه گروه تمرین مقاومتی، HIIT و ترکیبی (مقاومتی + HIIT) به طور معناداری نسبت به گروه کنترل و مرحله پیش‌آزمون کاهش یافت ($P < 0.05$)؛ افزون بر این میزان کاهش سطوح سرمی انسولین و شاخص HOMA در گروه تمرین ترکیبی به طور معناداری بیشتر از دو گروه تمرین مقاومتی ($P = 0.03$) و HIIT ($P = 0.001$) بود (شکل ۲).



شکل ۲. تغییرات سطح انسولین سرمی بعد از انواع مختلف تمرینات ورزشی

* تفاوت معنادار نسبت به گروه کنترل؛ # تفاوت معنادار نسبت به گروه مقاومتی؛ § تفاوت معنادار نسبت به گروه HIIT

با در نظر گرفتن مقادیر پیش‌آزمون سطح FBS، درصد چربی و پروتئین واکنشگر C-به‌عنوان عوامل کوواریانس، نتایج نشان داد که سطح FBS پیش‌آزمون تأثیر معناداری بر تغییرات سطح انسولین و شاخص HOMA نداشته است و نتایج آن‌ها همچنان دارای ثبات و پایداری بود، اما سطح CRP و درصد چربی در مرحله پیش‌آزمون ارتباط معناداری با میزان تغییرات انسولین و شاخص HOMA دارد ($P = 0.001$).

جدول ۵. یافته‌های تحلیل آنووا برای شاخص انسولین

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معناداری	ضریب اتا
منبع کووری	۲۰/۵	۱	۲۰/۵	۱۲/۳	۰/۰۰۱	۰/۶۱
گروه	۱۶۴/۳	۳	۵۴/۷	۱۵/۲	۰/۰۰۱	۰/۵۹
خطا	۱۱۱/۳	۳۱	۳/۵۹			
کل	۹۶۷۴/۶	۳۶				

بر این اساس، می‌توان گفت که پس از اعمال عوامل اثرگذار و مداخله‌گر، تغییرات شاخص انسولین همچنان ماندگاری لازم را برای نوجوانان چاق پیش‌دیابتی داشته است و تفاوت معناداری بین چهار گروه مورد بررسی مشاهده شد (جدول ۵).

جدول ۶. یافته‌های تحلیل آنووا برای شاخص HOMA

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معناداری	ضریب اتا
منبع کووری	۰/۱۵	۱	۰/۱۵	۵/۶	۰/۰۱	۰/۰۷
گروه	۰/۴	۳	۰/۱۳	۲۳/۹	۰/۰۰۱	۰/۸۷
خطا	۰/۱۷	۳۱	۰/۰۰۶			
کل	۱۲۴۶/۶	۳۶				

بر این اساس، می‌توان گفت که پس از اعمال عوامل اثرگذار و مداخله‌گر، تغییرات شاخص HOMA همچنان ماندگاری لازم را برای نوجوانان چاق پیش‌دیابتی داشته است و تفاوت معناداری بین چهار گروه مورد بررسی مشاهده شد (جدول ۶).

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر مبنی بر کاهش سطح سرمی انسولین و شاخص HOMA در هر سه گروه تمرینی و بیشتر بودن این شاخص‌ها در گروه تمرین ترکیبی در راستای نتایج پژوهش‌های هایس و همکاران (۲۰۲۰) [۲۰]، کنتو-گالاگو و همکاران (۲۰۲۲) [۲۱]، کاظمی نسب و همکاران (۲۰۲۳) [۲۲] است. افزون بر این تغییرات سرمی و شاخص HOMA در گروه ترکیب تمرین مقاومتی و HIIT نسبت به گروه کنترل تفاوت معناداری داشته است که در راستای یافته‌های مارکوتی-چنارد (۲۰۲۱) و رزکاله و همکاران (۲۰۱۹) است [۲۳، ۲۴]. همچنین کاهش سطح شاخص‌های گلیسمیک خون و به‌ویژه قند خون ناشتا در گروه ترکیب تمرین مقاومتی و HIIT (گروه ترکیبی) با یافته‌های سلطانی و همکاران (۲۰۲۰) و داسلیوا و همکاران (۲۰۲۰) همراستا است [۲۵، ۲۶]. برای مثال نصیری و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی تأثیر سه نوع تمرین هوازی، HIIT و ترکیب این دو نوع تمرین در زنان دیابتی گزارش کردند که هر سه نوع تمرین موجب کاهش قند خون ناشتا و بهبود شاخص مقاومت به انسولین شده است، اما تأثیر تمرین ترکیبی بیشتر از دو روش تمرینی دیگر بود [۲۷]. این محققان گزارش کردند که تمرینات ترکیبی حساسیت به انسولین را افزایش می‌دهد که می‌تواند به‌عنوان افزایش‌گیرنده سیگنالینگ انسولین یا از طریق افزایش سطح پروتئین انتقال‌دهنده گلوکز و ژن، فعال‌سازی سنتز گلیکوژن و هگزوکیناز یا از طریق افزایش برگشت گلوکز عضلانی و تغییر در ترکیب عضلات تفسیر شود. در راستای سازوکار این مطلب، هایپرگلاسمی (افزایش سطح قند خون) موجب فعال‌سازی پروتئین کیناز C (PKC) می‌شود. فعال‌سازی PKC به نوبه خود تولید و رهایش نیتریک اکسید از بافت اندوتلیالی را مهار می‌کند که بروز این وضعیت سازوکار مهمی در ایجاد اختلال در عملکرد اندوتلیالی بیماران دیابتی مبتلا به نوروپاتی است [۲۸]. در نتیجه، تجمع گلوکز

اضافی و افزایش غلظت آن در اعصاب محیطی سبب راه‌اندازی مسیرهای سوخت‌وسازی مخرب و تحلیل‌برنده می‌شود [۲۹]. همچنین میکروآنژیوپاتی ناشی از عملکرد نامناسب اندوتلیال عروقی موجب بروز هایپوکسی و ایسکمی در نوروهای بیماران دیابتی و افراد چاق و توسعه نوروپاتی محیطی می‌شود [۳۰]. همچنین در صورتی که شدت و مدت زمان اجرای تمرینات ورزشی کافی باشد، می‌تواند سبب کاهش سطح گلوکز خون و هموگلوبین گلیکوزیله شود [۳۱]. علاوه بر این، تمرینات ورزشی منظم سبب افزایش و بهبود حساسیت به انسولین و هزینه روزانه انرژی و در نهایت بهبود کیفیت زندگی می‌شود [۳۲]. همچنین برنامه‌های تمرینات ورزشی اثر انسولین بر هر تار عضلانی را بدون افزایش اندازه تار تغییر می‌دهد [۳۳].

مقاومت به انسولین و اختلال سوخت‌وساز گلوکز به‌طور معمول روندی تدریجی است و با زیاد شدن بیش‌ازحد وزن و چاقی شروع می‌شود. مقاومت به انسولین پایه مرکزی ابتلا به بسیاری از بیماری‌های مزمن در نظر گرفته شده است. تمرینات ورزشی راهکار درمانی مناسبی برای بهبود مقاومت به انسولین و افزایش حساسیت انسولینی در بیماران با اختلالات متابولیکی از جمله دیابت نوع دو، چاق و افراد با سندروم متابولیک است. یافته‌های پژوهش حاضر نیز نشان داد که تمرین HIIT سبب کاهش چشمگیر گلوکز و بهبود مقاومت به انسولین در افراد با سندروم متابولیک می‌شود، اگرچه تأثیر زیادی بر انسولین ندارد. نتایج تحقیقات قبلی نیز یافته‌های پژوهش حاضر را تأیید می‌کنند [۳۶-۳۷]. بهبود در حساسیت انسولینی محیطی یکی از سازوکارهای اصلی توضیح بهبود مقاومت به انسولین پس از تمرین مقاومتی و HIIT است. مشخص شده است که تمرین HIIT از طریق مسیرهای مختلف می‌تواند سبب کاهش گلوکز خون و بهبود مقاومت به انسولین شود. در این زمینه HIIT سبب جذب گلوکز در عضلات اسکلتی، افزایش محتوای GLUT4 و افزایش حساسیت به انسولین از طریق تخلیه گلیکوژن درون عضلانی می‌شود [۳۴]. علاوه بر این، ترکیب این دو روش تمرینی احتمالاً از طریق افزایش اثر هم‌افزایی ناشی از درگیری بیشتر توده عضلانی و دستگاه قلبی-عروقی، سبب افزایش هزینه انرژی، بالا رفتن سهم هریک از سیستم‌های انرژی هوازی و بی‌هوازی به‌صورت هم‌زمان می‌شود. همچنین کاهش چاقی شکمی، در اثر تمرین ورزشی ممکن است سبب بهبود مقاومت به انسولین و بهبود حساسیت انسولینی کبد شود [۱۱]. بنابراین به‌نظر می‌رسد در پژوهش حاضر نیز کاهش گلوکز سرم و بهبود مقاومت به انسولین در نتیجه کاهش توده چربی به‌ویژه چربی احشایی و افزایش حساسیت عضلات اسکلتی به انسولین حاصل شده باشد. با این حال، نقش آدیپوکاین‌های مترشحه از بافت چربی در سوخت‌وساز گلوکز و تغییرات مقاومت به انسولین نیز بسیار حائز اهمیت است. در این زمینه، مشخص شده است که تمرین ورزشی می‌تواند از طریق افزایش آدیپونکتین سبب بهبود مقاومت به انسولین شود. یکی از سازوکارهای اصلی درگیر در خصوص اثر آدیپونکتین بر کاهش مقادیر گلوکز و بهبود مقاومت به انسولین آن است که آدیپونکتین با تنظیم منفی آنزیم‌های کلیدی فرایند گلوکونئوزنز مانند فسفوانول پیروات کربوکسی کیناز و گلوکز-۶ فسفاتاز، از تولید گلوکز کبدی جلوگیری می‌کند و بدین ترتیب تأثیر انسولین را تقویت می‌کند [۳۷].

در راستای تبیین سازوکار اثرگذاری ترکیب تمرین مقاومتی و HIIT بر شاخص‌های گلیسمیک، سلطانی و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که ترکیب دو نوع روش تمرینی تمرین مقاومتی و HIIT از طریق اثر هم‌افزایی و مسدود کردن مسیر NF- κ B و در پی آن کاهش عوامل التهابی همچون TNF α از بروز آسیب به سلول‌های بتای پانکراس و متعاقب آن بر هم خوردن تعادل گلیسمیک طبیعی در افراد چاق مبتلا به دیابت یا پیش‌دیابت جلوگیری می‌کند. همچنین این محققان استدلال کردند به‌دلیل ارتباط مستقیم مسیر NF- κ B با بروز استرس اکسایشی احتمالاً این بهبود شاخص‌های گلیسمی هنگام ترکیب تمرین مقاومتی با HIIT ناشی از کاهش عوامل مرتبط به تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و پیامد آن کاهش بروز آسیب اکسایشی به بافت پانکراسی و اختلال در تولید کافی انسولین برای تنظیم متعادل شاخص‌های گلیسمیک باشد [۲۶]. در برخی پژوهش‌ها احتمال داده شده است که بیشتر بودن کاهش التهاب سیستمیک در افراد چاق متعاقب ترکیب تمرین مقاومتی با HIIT که به کاهش معنادار در سطوح پروتئین واکنشگر C منجر شده است، به‌عنوان عامل و دلیل دیگری برای بهبود وضعیت گلیسمیک پس از این نوع پروتکل‌های تمرینی گزارش شده است؛ دلیل این مسئله نیز هنگام ترکیب این دو روش تمرینی بیشتر بودن کاهش توده چربی و نیز افزایش توده عضلانی و سازگاری‌های عضلانی و رخ دادن این دو به‌صورت هم‌زمان بیان شده است [۳۸، ۳۹]. همچنین در پژوهشی مشاهده شد که تغییرات روی‌داده در عامل هورمونی بتاتروفین که عامل مؤثری بر

شاخص‌های گلیسمیک خون است، تنها در حین به‌کارگیری ترکیب تمرینات با شدت بالا مانند HIIT و مقاومتی روی می‌دهد. عامل هورمونی بتاتروفین به‌واسطهٔ پیام‌رسانی PPAR-Y و MAPK P38 می‌تواند همزمان به‌ترتیب روی دو بافت آدیپوز و عضلانی تأثیر بگذارد و موجب بهبود شاخص‌های گلیسمی به‌واسطهٔ افزایش بیان GLUT4 در سطح بافتی و افزایش فعال‌سازی آنزیمی شود [۴۰].

به‌طور کلی بر اساس نتایج تحقیق حاضر احتمالاً استفاده از ترکیب تمرینات تناوبی شدید به‌همراه مقاومتی سبب بهبود و کاهش سطح انسولین، گلوکز و مقاومت به انسولین می‌شود و روش مناسبی نسبت به هر یک از روش‌های تمرینی تناوبی و مقاومتی به‌تنهایی است.

تشکر و قدردانی

از تمامی آزمودنی‌های شرکت‌کننده و کسانی که ما را در اجرای این تحقیق یاری رساندند، نهایت تشکر و قدردانی را داریم.

References

- [1]. Dalla Pozza R, Beyerlein A, Thilmany C, Weissenbacher C, Netz H, Schmidt H, et al. The effect of cardiovascular risk factors on the longitudinal evolution of the carotid intima medial thickness in children with type 1 diabetes mellitus. *Cardiovascular diabetology*. 2011;10(1):53.
- [2]. Mahoney LT, Burns TL, Stanford W, Thompson BH, Witt JD, Rost CA, et al. Coronary risk factors measured in childhood and young adult life are associated with coronary artery calcification in young adults: the Muscatine Study. *Journal of the American College of Cardiology*. 1996;27(2):277-84.
- [3]. Serbis A, Giapros V, Kotanidou EP, Galli-Tsinopoulou A, Siomou E. Diagnosis, treatment and prevention of type 2 diabetes mellitus in children and adolescents. *World Journal of Diabetes*. 2021;12(4):344.
- [4]. Ekelund U, Luan Ja, Sherar LB, Esliger DW, Griew P, Cooper A, et al. Moderate to vigorous physical activity and sedentary time and cardiometabolic risk factors in children and adolescents. *Jama*. 2012;307(7):704-12.
- [5]. Després J-P, Lemieux I, Bergeron J, Pibarot P, Mathieu P, Larose E, et al. Abdominal obesity and the metabolic syndrome: contribution to global cardiometabolic risk. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology*. 2008;28(6):1039-49.
- [6]. Romero-Corral A, Somers VK, Sierra-Johnson J, Korenfeld Y, Boarin S, Korinek J, et al. Normal weight obesity: a risk factor for cardiometabolic dysregulation and cardiovascular mortality. *European Heart Journal*. 2009:ehp487.
- [7]. Lee J. Influences of cardiovascular fitness and body fatness on the risk of metabolic syndrome: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Health Promotion*. 2020;34(7):796-805.
- [8]. Türkay İK, Suna G. Examination of Body Mass Indexes, Blood Glucose, Hemoglobin A1C and Insulin Resistance Levels of Individuals Applying to Sports Center. *International Journal of Applied Exercise Physiology*. 2020;9(5):248-52.
- [9]. Eapen DJ, Ghasemzadeh N, MacNamara JP, Quyyumi A. The Evaluation of Novel Biomarkers and the Multiple Biomarker Approach in the Prediction of Cardiovascular Disease. *Current Cardiovascular Risk Reports*. 2014;8(11):1-4.

- [10]. Mair J, Jaffe AS. Biomarker Tests for Risk Assessment in Coronary Artery Disease: Will They Change Clinical Practice? *Molecular Diagnosis & Therapy*. 2014;18(1):5-15.
- [11]. Vissers D, Hens W, Taeymans J, Baeyens J-P, Poortmans J, Van Gaal L. The effect of exercise on visceral adipose tissue in overweight adults: a systematic review and meta-analysis. *PloS one*. 2013;8(2):e56415.
- [12]. Trapp EG, Chisholm DJ, Freund J, Boutcher SH. The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women. *Int J Obes (Lond)*. 2008;32(4):684-91.
- [13]. Tjonna AE, Lee SJ, Rognmo O, Stolen TO, Bye A, Haram PM, et al. Aerobic interval training versus continuous moderate exercise as a treatment for the metabolic syndrome: a pilot study. *Circulation*. 2008;118(4):346-54.
- [14]. Gibala MJ, Little JP, van Essen M, Wilkin GP, Burgomaster KA, Safdar A, et al. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *The Journal of physiology*. 2006;575(Pt 3):901-11.
- [15]. Wang X, You T, Murphy K, Lyles MF, Nicklas BJ. Addition of Exercise Increases Plasma Adiponectin and Release from Adipose Tissue. *Medicine and science in sports and exercise*. 2015.
- [16]. Racil G, Ounis OB, Hammouda O, Kallel A, Zouhal H, Chamari K, et al. Effects of high vs. moderate exercise intensity during interval training on lipids and adiponectin levels in obese young females. *European journal of applied physiology*. 2013;113(10):2531-40.
- [17]. Marcell TJ, McAuley KA, Traustadóttir T, Reaven PD. Exercise training is not associated with improved levels of C-reactive protein or adiponectin. *Metabolism*. 2005;54(4):533-41.
- [18]. Yokoyama H, Emoto M, Araki T, Fujiwara S, Motoyama K, Morioka T, et al. Effect of aerobic exercise on plasma adiponectin levels and insulin resistance in type 2 diabetes. *Diabetes care*. 2004;27(7):1756-8.
- [19]. Tanner J, Whitehouse R. Clinical longitudinal standards for height, weight, height velocity, weight velocity, and stages of puberty. *Archives of disease in childhood*. 1976;51(3):170-9.
- [20]. Hayes LD, Herbert P, Sculthorpe N, Grace F. High intensity interval training (HIIT) produces small improvements in fasting glucose, insulin, and insulin resistance in sedentary older men but not masters athletes. *Experimental Gerontology*. 2020;140:111074.
- [21]. Mateo-Gallego R, Madinaveitia-Nisarre L, Giné-Gonzalez J, Bea AM, Guerra-Torrecilla L, Baila-Rueda L, et al. The effects of high-intensity interval training on glucose metabolism, cardiorespiratory fitness and weight control in subjects with diabetes: Systematic review a meta-analysis. *Diabetes Research and Clinical Practice*. 2022:109979.
- [22]. Kazeminasab F, Sharafifard F, Miraghajani M, Behzadnejad N, Rosenkranz SK. The

- effects of exercise training on insulin resistance in children and adolescents with overweight or obesity: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Endocrinology*. 2023;14.
- [23]. Marcotte-Chénard A, Tremblay D, Mony M-M, Boulay P, Brochu M, Morais JA, et al. Acute and Chronic Effects of Low-Volume High-Intensity Interval Training Compared to Moderate-Intensity Continuous Training on Glycemic Control and Body Composition in Older Women with Type 2 Diabetes. *Obesities*. 2021;1(2):72-87.
- [24]. RezkAllah SS, Takla MK. Effects of different dosages of interval training on glycemic control in people with prediabetes: a randomized controlled trial. *Diabetes Spectrum*. 2019;32(2):125-31.
- [25]. Da Silva MAR, Baptista LC, Neves RS, De França E, Loureiro H, Lira FS, et al. The effects of concurrent training combining both resistance exercise and high-intensity interval training or moderate-intensity continuous training on metabolic syndrome. *Frontiers in Physiology*. 2020;11:572.
- [26]. Soltani N, Esmail N, Marandi SM, Hovsepian V, Momen T, Shahsanai A, et al. Assessment of the effect of short-term combined high-intensity interval training on TLR4, NF- κ B and IRF3 expression in young overweight and obese girls. *Public Health Genomics*. 2020;23(1-2):26-36.
- [27]. Nasiri S, Banitalebi E, Faramarzi M. Effects of two exercise modalities of sprint interval training and combined training (strength-aerobic) on serum apelin levels and insulin resistance in women with type 2 diabetes. *Iranian Journal of Nursing Research*. 2018;13(1):40-6.
- [28]. Tesfaye S, Selvarajah D. Advances in the epidemiology, pathogenesis and management of diabetic peripheral neuropathy. *Diabetes/metabolism research and reviews*. 2012;28(S1):8-14.
- [29]. David André B. Rodent Models of Painful Diabetic Neuropathy: What Can We Learn from Them? *Journal of Diabetes & Metabolism*. 2012;5:1-11.
- [30]. Cameron N, Eaton S, Cotter M, Tesfaye S. Vascular factors and metabolic interactions in the pathogenesis of diabetic neuropathy. *Diabetologia*. 2001;44(11):1973-88.
- [31]. Misra A, Alappan NK, Vikram NK, Goel K, Gupta N, Mittal K, et al. Effect of supervised progressive resistance-exercise training protocol on insulin sensitivity, glycemia, lipids, and body composition in Asian Indians with type 2 diabetes. *Diabetes care*. 2008;31(7):1282-7.
- [32]. Arora E, Shenoy S, Sandhu J. Effects of resistance training on metabolic profile of adults with type 2 diabetes. *Indian J Med Res*. 2009;129(5):515-9.
- [33]. Eves ND, Plotnikoff RC. Resistance training and type 2 diabetes considerations for implementation at the population level. *Diabetes Care*. 2006;29(8):1933-41.
- [34]. Jolleyman C, Yates T, O'Donovan G, Gray L, King JA, Khunti K, et al. The effects of high-intensity interval training on glucose regulation and insulin resistance: a meta-analysis. *Obesity Reviews*. 2015;16(11):942-61.
- [35]. Shaban N, Kenno K, Milne K. The effects of a 2 week modified high intensity interval

- training program on the homeostatic model of insulin resistance (HOMA-IR) in adults with type 2 diabetes. The Journal of sports medicine and physical fitness. 2014;54(2):203-9.
- [36]. Gibala MJ, Little JP, MacDonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. The Journal of physiology. 2012;590(5):1077-84.
- [37]. Zhaosheng T, Li Y, Chengying G, Yun L, Lian Z. Effect of exercise on the expression of adiponectin mRNA and GLUT4 mRNA in type 2 diabetic rats. Journal of Huazhong University of Science and Technology [Medical Sciences]. 2005;25(2):191-3.
- [38]. Aronson D, Bartha P, Zinder O, Kerner A, Shitman E, Markiewicz W, et al. Association between fasting glucose and C-reactive protein in middle-aged subjects. Diabetic Medicine. 2004;21(1):39-44.
- [39]. Lopes WA, Leite N, da Silva LR, Brunelli DT, Gáspari AF, Radominski RB, et al. Effects of 12 weeks of combined training without caloric restriction on inflammatory markers in overweight girls. Journal of sports sciences. 2016;34(20):1902-12.
- [40]. Enteshary M, Esfarjani F, Reisi J. Comparison of the effects of two different intensities of combined training on irisin, betatrophin, and insulin levels in women with type 2 diabetes. Asian journal of sports medicine. 2019;10(2).

