The effect of a period of HIIT resistance, endurance and interval training on insulin resistance in obese diabetic Wistar rats

Vahideh Riyahi[1], Hassan Morovvati*[2]. Amir Khosravi[3]

[1]PHD student of Exercise Physiology, Department of Physical Education and Exercise Sciences, Borujerd, Iran.

[2]Professor, Department of Basic Sciences, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran.

[3]Assistant Professor, Department of Physical Education and Exercise, Faculty of Hu manities, Ayatollah Ozma Borujerdi University, Borujerd, Iran.

Received: 29 April 2023; Accepted: 04 July 2023

Abstract

Introduction and purpose: The purpose of this study was the effect of a period of HIIT resistance training on insulin resistance in obese diabetic Wistar rats.

Materials and methods: In this experimental study, 50 diabetic and healthy obese rats (230±16 grams) were randomly divided into 5 groups. 10 groups were divided into 1- control (no training) 2- intense HIIT interval training 3- aerobic training (traditional resistance) with moderate intensity 4- moderate resistance training 5- intense resistance training. The training groups participated in a 12-week resistance and aerobic training program with 5 sessions per week, and the control group did not participate in any training program. Serum insulin was measured by the ELISA method and according to the standards of the commercial kit (Demeditec Diagnostic insulin) ELIZA made in Germany. The data were analyzed using the statistical method of one-way analysis of variance at a significance level of 0.05.

Results: The results showed that after 12 weeks of training, the serum insulin of subjects in different training groups (endurance, resistance with medium and high intensity, intense interval) was significantly lower than the healthy group (P=0.001) and higher than the diabetic group. (P=0.001) was.

Conclusion: Exercise training (endurance resistance and intense interval) increases serum insulin levels in type 2 diabetic obese male rats.

Keywords: Aerobic Training, Resistance Training, Interval Training, Serum Insulin, Diabetes.

20.1001.1.27834603.1402.3.1.5.0

* **Corresponding author:** Professor, Department of Basic Sciences. Email: hmorovvati@ut.ac.ir

تاثیر یک دوره تمرین مقاومتی، استقامتی و تناوبی با شدت بالا بر مقاومت انسولین در رت‌های چاق دیابتی ویستار

وحیده ریاحی [۱] ، حسن مروتی *[۲] ، امیر خسروی [۳]

[۱] دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد بروجرد، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجرد، ایران.

[۲] استاد، گروه علوم پایه، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه تهران، ایران.

[۳] استادیار گروه تربیت بدنی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آیتالله العظمی بروجردی (ره)، بروجرد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۳

چکیده

مقدمه و هدف: هدف از پژوهش حاضر بررسی تاثیر یک دوره تمرین مقاومتی، استقامتی و تناوبی با شدت بالا بر مقاومت انسولین در رت‌های چاق دیابتی ویستار بود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه تجربی ۵۰ سر موش صحرایی چاق دیابتی و سالم (۱۶±۲۳۰ گرم) به شیوه تصادفی به ۵ گروه ۱۰ تایی ۱- کنترل (بدون تمرین) ۲- تمرین تناوبی شدید ۳ - تمرین هوازی (استقامتی سنتی) با شدت متوسط ۴- تمرین مقاومتی متوسط ۵- تمرین مقاومتی شدید تقسیم شدند. گروه‌های تمرینی در برنامه تمرینات مقاومتی و هوازی۱۲ هفته‌ای به تعداد ۵ جلسه در هفته شرکت نموده و گروه کنترل در هیچ برنامه تمرینی شرکت نداشتند. انسولین سرم به روش الیزا و مطابق با استانداردهای کیت تجاری ELIZA (Demeditec Diagnostic insulin) ساخت کشور آلمان اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از روش آماری تحلیل واریانس یک‌طرفه، در سطح معناداری ۰/۰۵ تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج: نتایج حاصل نشان داد متعاقب ۱۲ هفته تمرین، انسولین سرم آزمودنی گروه‌های مختلف تمرینی (استقامت، مقاومتی با شدت متوسط و بالا ، اینتروال شدید) به طور معنی داری از گروه سالم کمتر (**P**=۰/۰۰۱) و از گروه دیابتی بیشتر (**P**=۰/۰۰۱) بود.

نتیجه گیری: تمرینات ورزشی (استقامتی مقاومتی و اینتروال شدید) باعث افزایش سطح انسولین سرم در موش‌های صحرایی نر چاق دیابتی نوع ۲ می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تمرین هوازی، تمرین مقاومتی، تمرینات اینتروال، انسولین سرم، دیابت.

20.1001.1.27834603.1402.3.1.5.0

* **نویسنده مسئول:** استاد گروه علوم پایه، دانشکده دامپزشکی.

Email: hmorovvati@ut.ac.ir

مقدمه

بیماری دیابت از جمله بیماری‌های متابولیک در حال گسترش است که به خاطر مرگ و میر، عوارض بالا و هزینه‌های درمانی، فشار اقتصادی هنگفتی بر خانواده و اجتماع وارد می‌کند. دیابت نوع ۲ به علت فرآیند کاهش متابولیسم بدن، افزایش بافت چربی و کم‌تحرکی، شیوع بیشتری دارد. این بیماری شامل گروهی از بیماری‌های متابولیک است که در اثر نقص در عملکرد و ترشح انسولین ایجاد شده و منجر به افزایش مقدار گلوکز در خون می‌گردد(۱)، افزایش وزن و درصد چربی بدن رابطهٔ مستقیم با افزایش مقاومت به انسولین داشته و میزان ابتلاء به دیابت نوع۲ را افزایش می‌دهند(۱). به طور مشخص بافت چربی علاوه بر تنظیم متابولیکی بدن، یک عضو درون ریز فعال است که شمار زیادی مولکول‌های پیام رسان پپتیدی فعال با عملکرد بیولوژیکی متنوع ترشح می‌کند. ویژگی اصـلی شروع دیابت نوع ۲ پدیده مقاومت انسولینی است. در افراد دارای مقاومت انسولینی چنانچه ظرفیت ترشح انسولین، کـافی جهت جبران مقاومت انسولینی وجود داشته باشد، شدت دیابت افزایش نمی یابد. اما هایپرگلیسمی مزمن با آسیب ترشح انسولین و عملکرد آن همراه می‌باشد. در افراد سالم ترشح انسولین و عملکرد آن همراه می‌باشد(۲). در افراد سالم ترشح انسولین از طریق یک حلقه بازخورد منفی با حساسیت انسولین مرتبط است که به سلول‌های بتا اجازه جبران هر گونه تغییر در مقاومت انسولین یا حساسیت سلول های بدن به انسولین به واسطه افزایش ترشح انسولین را می‌دهد. اما در دیابتی های نوع ۲ سازگاری سلول‌های بتا با افزایش ترشح انسولین در پاسخ به پدیده مقاومت انسولین نهایتا به پدیده هایپرانسولینمی و افزایش بیش از حد مقاومت انسولین منجر می‌شود و این دوره سازگاری نهایتا به آسیب عملکرد این سلول‌ها منجر می‌شود(۳). در این مطالعه به دنبال پاسخ به این سوال هستیم که آیا تفاوت معنی‌داری بین شاخص‌های مختلف ذکر شده با انجام تمرینات مختلف وجود دارد یا خیر؟ همچنین با توجه به نتایج ضد و نقیض موجود در خصوص تأثیر انواع فعالیت‌های ورزشی و شدت تمرین انجام این مطالعه با بررسی سنجش سطح انسولین و گلوکز سرم با انجام تمرینات مختلف مقاومتی، استقامتی و تناوبی می‌تواند ابهامات موجود را تا حدودی برطرف کند. اضافه‌وزن و چاقی عامل مهم سندروم متابولیک هستند(۴). افزایش در کلسترول تام[۱]، لیپویروتئین کم چگال[۲]و تری‌گلیسیرید[۳] با کاهش در لیپوپروتئین با چگالی بالا[۴] مشاهده می‌شود و در نهایت بیماری‌های کرونری را ایجاد می‌نمایند و افزایش تری‌گلیسرید نقش مهمی در ایجاد امراض قلبی – عروقی دارد(۵). پروفایل لیپیدی و وزن بدن تحت تأثیر فعالیت ورزشی هستند. در نتیجه فعالیت ورزشی می‌تواند اثر کاهشی بر پروفایل لیپیدی و وزن بدن داشته باشد(۶). لذا این امر می‌تواند دلیل

[۱] Total Cholesterol (TCH)

[۲] Low Density Lipoprotein (LDL-C)

[۳] Triglyceride (TG)

[۴] High Density Lipoprotein (HDL-C)

منطقی برای توجه به تمرین هوازی در جهت کاهش وزن و درمان چاقی باشد(۷). هم‌سو با افزایش وزن و گسترش چاقی، بیماری-های مرتبط با چاقی همچون سندرم متابولیک و دیابت نیز رو به افزایش هستند. بنابراین، یافتن درمان دارویی و غیر دارویی موثر و کارآمد برای پیشگیری از بروز این اختلال هموستازی بسیار ضروری است. یکی از بهترین نسخه‌های کنترل وزن و پیشگیری از چاقی و اضافه وزن، کنترل دریافت انرژی از طریق کنترل تغذیه و افزایش مصرف انرژی از طریق تمرینات ورزشی است. آمار دیابتی‌ها در سال ۲۰۲۳ حدود ۵۳۷ میلیون نفر بوده است که برآورد اخیر سازمان بهداشت جهانی نشان می‌دهد، در سال ۲۰۳۰ تعداد دیابتی‌ها در جهان به ۶۴۳ میلیون افزایش یابد. بنابرین آمارها هشت درصد بالغین در آمریکا مبتلا به دیابت نوع ۲ و ۱۳/۴ میلیون آمریکایی دارای اختلال تحمل گلوکز هستند(۸). مطالعات اخیر نشادن داده‌اند، که بروز دیابت نوع دو در جمعیت ایران ۳/۳۶ در هر ۱۰۰۰ نفر در سال گزارش شده، که انتظار میرود در سال ۲۰۳۰، نزدیک به ۲/۹ میلیون ایرانی تحت تأثیر این بیماری قرار گیرند(۹). دیابت جزو ۱۰ عامل اصلی مرگ و میر در سال ۲۰۱۶ شناخته شده‌است. در سال ۲۰۱۶ دیابت باعث مرگ ۱/۶ میلیون نفر گردید، این رقم در سال ۲۰۰۰ کمتر از ۱ میلیون نفر بوده‌است. که این آمار موجب شد دیابت به عنوان هفتمین عامل مرگ ومیر شناخته شود. تعداد افراد مبتال به دیابت از ۱۰۸ میلیون نفر در سال ۱۹۸۰ به ۴۲۲ میلیون نفر در سال ۲۰۱۴ رسید و با شیوع جهانی دیابت در میان بزرگسالان بالای ۱۸ سال، از ۴/۷ درصد در سال ۱۹۸۰ به ۵/۸ درصد در سال ۲۰۱۴ افزایش یافته است. انتظار میرود تا سال ۲۰۴۰، ۶۴۲ میلیتون بزرگسال (از هر ۱۰ بزرگسال ۱ نفر) به دیابت مبتلا شوند. همچنین، ۵/۴۶ درصد از افرادی که به دیابت مبتلا هستند شناسایی نشده‌اند(۱۰). پژوهشگران همواره به دنبال راه‌حل‌های آسان، کم‌هزینه و کم‌خطر برای درمان چاقی و دیابت بوده‌اند. از روش‌های اساسی موثر در درمان دیابت نوع ۲ می‌توان فعالیت بدنی همراه با رژیم غذایی و دارو درمانی را نام برد. با توجه به ارتباط علمی بین چاقی و مقاومت نسبت به انسولین، یکی از این اقدامات اولیه در درمان دیابت نوع ۲ کاهش وزن است. ورزش یکی از روش‌های درمان چاقی می‌باشد. آدیپونکتین یک آدیپوسایتوکین با نقش مهم در تعادل انرژی است، و معمولاً افراد چاق و مبتلایان به دیابت نوع ۲ با کاهش مقادیر سرمی آن روبرو هستند(۱۱). گزارش شده است که ورزش باعث کاهش وزن وافزایش حساسیت به انسولین می‌شود. لذا در این بخش هدف بررسی سنجش سطح انسولین سرم با انجام تمرینات مختلف مقاومتی، استقامتی و تناوبی می‌تواند ابهامات موجود را تا حدودی برطرف کند.

روش پژوهش

مطالعه حاضر از نوع تحقیقات تجربی است که به لحاظ استفاده از نتایج آن جنبه کاربردی دارد. اصول اخلاقی مراحل اجرایی کار رعایت شد. آزمودنی‌های این تحقیق موش‌های صحرایی نر چاق شده با رژیم غذایی و سپس دیابتی شده با تزریق داروی

استرپتوزوتوسین (STZ) بودند. در این تحقیق ۵۰ موش صحرایی نر نژاد ویستار با سن حدود شش هفته و دامنه وزنی ۱۶±۲۳۰ گرم که سابقه هیچ‌گونه بیماری یا استفاده در هیچ نوع تحقیقی نداشتند. آزمودنی‌های این تحقیق در قفسه‌های پلی کربنات شفاف (در هر قفسه چهار سر موش صحرایی نر) در دمای محیط بین ۱۹ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد و میزان رطوبت بین ۴۵ تا ۶۵ درصد و چرخه روشنایی تاریکی ۱۲:۱۲ ساعت نگهداری شدند. همچنین، متغیرهای دما و رطوبت و سنسورهای تعبیه شده در داخل اتاق تمرین و حیوان‌خانه به طور خودکار در محدوده مشابه و استاندارد حفظ شدند. به صورت تصادفی در پنج گروه (به دلیل محدودیت هزینه و دقت در انجام تمرین در گروه‌های تمرینی هر گروه ده سر)، شامل: ۵ گروه ۱۰ تایی ۱- کنترل (بدون تمرین) ۲- تمرین تناوبی شدیدHIIT ۳- تمرین هوازی (استقامتی سنتی) با شدت متوسط ۴- تمرین مقاومتی متوسط ۵- تمرین مقاومتی شدید تقسیم شدند. موش‌های صحرایی نر چاق به عنوان نمونه تحقیق از مرکز تکثیر حیوانات آزمایشگاهی دانشگاه شهید بهشتی تهران خریداری شدند. حیوانات در دو مرحله با استفاده از ترازو وزن کشی شدند. مرحله اول در شروع مطالعه، مرحله دوم در پایان پروتکل‌های ورزشی در انتهای تحقیق انجام شد.

پروتکل‌های تمرینی

پروتکل تمرین هوازی (استقامتی) با شدت متوسط

یک هفته پس از دیابتی شدن موش‌ها برنامه تمرین‌هوازی بر روی از نوارگردان مخصوص جوندگان اجرا شد. در تحقیق حاضر پروتکل تمرین هوازی موش‌ها شامل دویدن بر روی تردمیل بود، که در طی ۱۲ هفته اجرا شد. این پروتکل مشتمل بر دو مرحله‌ی آشنایی و تمرین بود. در این مطالعه قبل از اجرای برنامه تمرینی پروتکل‌های تمرینی تناوبی شدید و هوازی تداومی (شدت متوسط) از لحاظ بار حجمی تمرینی یکسان سازی شده، که برای این همسان سازی به مولفه‌های زمان تمرین و شدت تمرین در دو گروه توجه شد و نهایتا با محاسبات عددی حجم تمرین همسان سازی شد. مرحله تمرین عبارت بود از ۵ دقیقه گرم و سرد کردن با ۳۰ درصد سرعت بیشینه ۶ دقیقه دویدن با ۶۰ درصد سرعت بیشینه در هفته اول (۹ متر بر دقیقه) که به ۲۱ دقیقه دویدن با شدت ۶۰ درصد سرعت بیشینه در پایان هفته دوازدهم رسید. شایان ذکر است، سرعت در هفته آخر به ۱۵ متر بر دقیقه رسید. در مجموع زمان کل تمرین هوازی تداومی در هفته آخر ۳۰ دقیقه بود. در روز ششم هر دو هفته یکبار سرعت بیشینه موش‌ها اندازه گیری و شدت تمرین بر اساس آن تعیین گردید. گروه کنترل نیز ۵ بار در هفته به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه در هر جلسه روی نوار گردان بی حرکت قرار می‌گرفتند (۱۲).

پروتکل تمرین گروه تناوبی شدید

یک هفته پس از دیابتی شدن موش‌ها، آزمودنی‌ها یک هفته به مدت ۳ تا ۱۰ دقیقه با سرعت ۶ تا ۱۰ متر بر دقیقه در هر جلسه با تردمیل ویژه جوندگان آشنا شدند. برای ارزیابی توان هوازی محاسبه سرعت بیشینه در زمان رسیدن به حداکثر اکسیژن مصرفی و محاسبه تعیین شدت تمرین با استفاده از آزمون فزاینده لئوناردو و همکاران(۲۰۰۷) انجام شد(۱۳). بعد از یک هفته، آشنا سازی تمامی آزمودنی‌های با تردمیل گروهای مختلف به مدت ۱۲ هفته برنامه تمرین خود را اجرا کردند.

در این مطالعه قبل از اجرای برنامه تمرینی پروتکل‌های تمرینی تناوبی شدید و هوازی استقامتی (شدت متوسط) از لحاظ بار حجمی تمرینی یکسان سازی شده که برای این همسان سازی به مولفه‌های زمان تمرین و شدت تمرین در دو گروه توجه شد و نهایتا با محاسبات عددی حجم تمرین همسان سازی شد. پروتکل گروه تمرینی تناوبی شدید HIIT شامل ۵ دقیقه گرم و سرد کردن با شدت ۳۰ درصد سرعت بیشینه (۵ متر بر دقیقه) و تناوب تمرین با شدت ۸۰ درصد سرعت بیشینه (۱۲ متر بر دقیقه) در هفته اول ۹۰ درصد سرعت بیشینه (۱۶ متر بر دقیقه) از هفته دوم تا پایان هفته دوازدهم اجرا شد. لازم به ذکر است، با توجه به سازگاری ایجاد شده حداکثر سرعت بیشینه به حداکثر ۲۸ متر بر دقیقه رسید. تعداد تناوب با شدت بالا در هفته اول با ۲ تکرار و در هفته‌های دو و سوم با ۳ تکرار و از هفته چهارم تا هفته دوازدهم ۴ تکرار بود. زمان تناوب ۲ دقیقه بود (۱۴).

پروتکل تمرین مقاومتی متوسط و شدید

یک هفته پس از دیابتی شدن موش‌ها تمرین گروه تجربی سوم (تمرین مقاومتی متوسط) شامل بالا رفتن از یک نردبان تمرینی مخصوص (طول ۱۱۰ سانتیمتر، شیب ۸۰ درجه، ۲۶ پله و ۲ سانتی متر فضای بین هر پله)، شامل دو نوع تمرین مقاومتی با شدت زیاد و تمرین مقاومتی با شدت متوسط بود.

در تمرین مقاومتی با شدت زیاد، گروه‌های تمرینی، دوازده هفته تمرین مقاومتی نردبان را در ۸۰ درصد حداکثر بار (MVCC) از، ۱۰-۹ بار بالا رفتن در هر جلسه و ۵ روز در هفته انجام خواهند داد.

در تمرین مقاومتی با شدت متوسط، پروتکل اصلی تمرین با ۶۰ درصد حداکثر بار و ۵ روز در هفته انجام شده و رت ها ۲۰-۱۴ بار از نردبان صعود کرده و بین هر صعود، یک دقیقه استراحت خواهند داشت(۱۵).

لازم به ذکر می باشد، که جهت مشخص کردن بار حمل شده، در هر صعود از روش آزمون تعیین حداکثر ظرفیت حمل ارادی قبل از شروع دوره تمرین استفاده شد.

آزمون تعیین حداکثر ظرفیت حمل ارادی (MVCC)

جهت تعیین حداکثر ظرفیت حمل ارادی، وزنه ۷۵ درصد وزن بدن حیوان به دم آنها متصل و حیوان شروع به بالا رفتن از نردبان با حمل این بار می‌کند. سپس به ازای هر تکرار موفق ۳۰ گرم به بار تمرینی تکرار شده قبلی اضافه خواهد شد. در بالای نردبان، دو دقیقه استراحت بین هر صعود وجود خواهد داشت. این روش تا زمانی که موش موفق به صعود کل طول نردبان در ۳ تلاش متوالی شود، تکرار خواهد شد. اندازه‌گیری حداکثر ظرفیت حمل ارادی در شروع هفته اول و چهارم و در پایان هفته هشتم انجام می‌شود (۱۶).

زمان و نحوه نمونه‌گیری

۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین، ابتدا حیوانات در فضای ویژه نمونه برداری (محیط استریل) با ترکیبی از کتامین (۳۰ تا ۵۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن) و زایلازین (۵-۳ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن) بیهوش شدند. پس از تأیید بیهوشی از طریق عدم عقب کشیدن پا توسط لمس، مقدار ۵ میلی‌لیتر خون از بطن راست هر موش توسط سرنگ گرفته شد و بلافاصله درون لوله‌های آزمایش ریخته شد. بعد از اتمام کار خون‌گیری، دستگاه سانتریفیوژ را روشن کرده و نمونه‌ها در آن با ۳۰۰۰ دور در مدت ۱۵-۱۲ دقیقه قرار داده شد (Hoshmand F FM, 2011). سرم خون جدا شده در اپندروف‌های دیگری قرار داده شدند و بعد از آن با استفاده از کیت‌های آزمایش، انسولین اندازه‌گیری شدند. انسولین سرم به روش الیزا و مطابق با استانداردهای کیت تجاری ELIZA (Demeditec Diagnostic insulin) ساخت کشور آلمان اندازه‌گیری شد. ضریب تغییرات درون آزمون و برون آزمون انسولین به ترتیب ۲/۶ و ۲/۸۸ درصد حساسیت اندازه‌گیری ۱/۷۶ بود.

روش آماری

از آزمون کولموگروف-اسمیرنف برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها استفاده شد. با توجه به نرمال بودن داده‌ها جهت مقایسه اختلاف میانگین متغیرهای مورد اندازه‌گیری گروه‌های مختلف از تحلیل واریانس یک‌طرفه و برای مقایسه درون گروهی آزمون تعقیبی توکی استفاده‌شد. در تمام آزمون‌ها، سطح معنی‌داری برابر با $P<۰/۰۵$ در نظر گرفته شد. از نرم افزارSPSS نسخه ۲۲ جهت انجام عملیات آماری استفاده شد.

یافته ها

جدول (۱) تغییرات وزن بدن موش های صحرایی در گروه های مورد بررسی، پس از دو بار توزیع (ابتدا و انتهای تحقیق) را نشان می دهد. بر اساس نتایج موجود در این جدول، بین وزن گروه های مختلف، در ابتدا و انتهای تحقیق تفاوت معنی داری وجود دارد (**p**=۰/۰۰۱). جهت بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف استفاده شد. بر اساس این آزمون، توزیع وقتی طبیعی است که مقدار معنی‌داری بیشتر از ۰/۰۵ باشد. نتایج این آزمون در جدول (۲) ارائه شده است. طبق اطلاعات جدول-های ۲ و ۳ مقدار P برابر با ۰۰۵ /۰ شده‌است، به عبارت دیگر در سطح معنی‌داری P<۰/۰۵ فرضیه صفر رد می‌شود. این امر بیانگر آن است که نوع مداخله استفاده شده، بر روی میزان انسولین سرم پس از اجرای فعالیت‌های ورزشی مؤثر می‌باشد. لذا جهت مقایسه‌ی تمام تفاوت زوجی گروه‌ها یا بررسی تفاوت میانگین‌های هر دو گروه تحقیقی از آزمون تعقیبی توکی استفاده شده‌است، که نشان می‌دهد ۱۲ هفته تمرین استقامتی، مقاومتی (متوسط و شدید) و تناوبی شدید موجب افزایش معنی‌دار انسولین سرم آزمودنی‌ها نسبت به گروه کنترل دیابتی شد. گرچه بین گروه‌های مختلف تمرینی در افزایش انسولین تفاوت اندکی وجود داشت، اما این تفاوت معنی‌دار نبود. تحلیل داده‌های این تحقیق نشان داد، متعاقب ۱۲ هفته تمرین میزان انسولین سرم آزمودنی گروه‌های مختلف تمرینی (استقامت، مقاومتی با شدت متوسط و بالا ، اینتروال شدید) به طور معنی‌داری از گروه سالم کمتر (**P**=۰/۰۰۱) و از گروه دیابتی بیشتر (**P**=۰/۰۰۱) بود.

جدول ۱ میانگین و انحراف استاندارد وزن گروه های مختلف

شاخص	زمان اندازه‌گیری	گروه HE سالم)	گروه DI (کنترل دیابتی)	DI+AT (استقامتی دیابتی)	DI- HIIT (اینتروال دیابتی)	DI- MRT (مقاومتی دیابتی)	DI- IRT (دیابتی)
وزن(بر حسب گرم)	پیش آزمون	۲۲۴/۱±۸/۳	۱۸۶/۱ ± ۱۰/۱ ¥	۱۹۳/۹ ± ۹/۵ ¥	۱۸۶/۱ ± ۸/۳ ¥	۲۰۰/۱ ± ۱۱/۳ ¥	۱۹۰/۳ ± ۷/۸ ¥
	پس آزمون	۲۵۶/۱ ± ۱۱/۹ *	۱۵۲/۹ ±۱۵/۴ ¥*	۱۷۰/۳±۱۱/۴ * ¥ #	۱۶۷/۳±۱۰/۱ * ¥ #	۱۸۴/۳±۱۲/۴ * ¥ #	۱۷۲/۵±۸/۵ * ¥ #
انسولین سرم mU/1	پس آزمون	۱۴/۳ ± ۷/۲	۳/۷۳ ±۰/۹¥	۵/۷۳ ± ۲/۱ ¥ #	۵/۶۹ ± ۲/۴ ¥ #	۵/۵ ± ۱/۹ ¥ #	۵/۴۱ ± ۲/۳ ¥ #

داده ها به صورت میانگین ± انحراف معیار می باشند؛ * اختلاف معنی دار بین دو مرحله اندازه گیری (درون گروهی). ¥ اختلاف معنی‌دار با گروه های سالم HE (سطح معنی‌داری p<۰,۰۵). #

جدول۲ نتایج آزمون کولموگروف- اسمیرنوف برای متغیرمورد مطالعه

شاخص و واحد اندازه‌گیری	مرحله اندازه گیری	میانگین	انحراف‌استاندارد	سطح معنی‌داری
انسولین سرم /mU/1	**پس آزمون**	۳/۶۴	۰/۳۱۹	۰/۳۷۵

براساس نتایج بدست آمده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف، توزیع داده‌های مربوط به همه متغیرهای مورد مطالعه وضعیت طبیعی داشت. لذا، از آزمون‌های آماری پارامتریک برای تجزیه و تحلیل داده‌ی پژوهش استفاده شد.

تفاوت معنی‌داری بین انسولین سرم پس از دوازده هفته تمرین استقامتی، مقاومتی و تناوبی شدید وجود ندارد.

جدول۳ نتایج آزمون آنوای یک‌طرفه در مورد میزان انسولین سرم

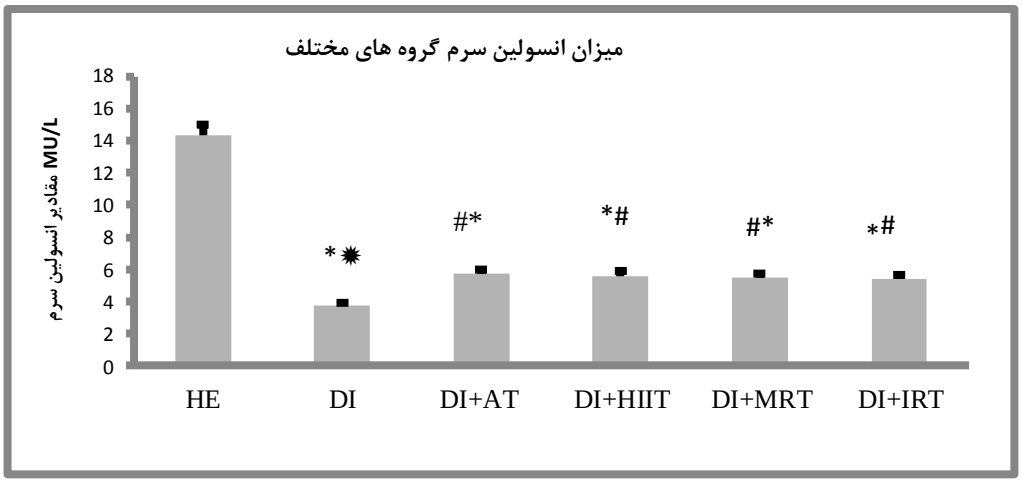
آماره‌های استنباط منبع واریانس	درجه‌ی آزادی	میانگین مربعات	مقدارF	مقدارP
بین تکرارها	۵	۳۵/۱	۵۶/۸۸۳	*۰/۰۰۵

* مقدار اعلام شده مربوط به تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها در سطح P<۰/۰۵.

جدول۴ مقایسه زوجی گروه‌ها در مورد میانگین‌های انسولین سرم

آماره استنباطی مقایسه بین گروهی		تفاوت میانگین ها	**Pمقدار**
HE	**DI**	۱۰/۵۷	۰/۰۰۱*
	DI-AT	۸/۶	۰/۰۰۱*
	DI- HIIT	۷/۹	۰/۰۰۱*
	DI- MRT	۸/۸	۰/۰۰۱*
	DI- IRT	۸/۳	۰/۰۰۱*
DI	**DI-AT**	-۲	۰/۰۲۳*
	DI- HIIT	-۱/۹۶	۰/۰۱۸*
	DI- MRT	-۲/۰۲	۰/۰۲۴*
	DI- IRT	-۱/۹۸	۰/۰۱۹*
DI-AT	**DI- HIIT**	۰/۷	۰/۸۲۳
	DI- MRT	-۰/۲	۰/۹۲۱
	DI- IRT	۰/۳	۰/۹
DI-HIIT	**DI- MRT**	-۰/۹	۰/۷۲۰
	DI- IRT	-۰/۴	۰/۸۹۴
DI-MRT	**DI- IRT**	۰/۵	۰/۸۶۴

جهت مقایسه‌ی تمام تفاوت زوجی گروه‌ها یا بررسی تفاوت میانگین‌های گروه‌های تحقیقی از آزمون تعقیبی توکی استفاده شده‌است که نشان می‌دهد،گروه های ورزش نسبت به گروه کنترل دیابتی، افزایش معنی‌داری داشته‌است.



نمودار (۱). تغییرات میزان انسولین سرم گروه های مختلف ؛ HE: گروه سالم ،DI: گروه دیابتی، DI+AT: گروه دیابتی همراه با تمرین هوازی.DI+HIIT: دیابتی همراه با تمرین اینتروال با شدت بالا DI+MRT: دیابتی همراه با تمرین مقاومتی متوسط DI+IRT: دیابتی همراه تمرین مقاومتی با شدت بالا. * نشانه تفاوت معنی‌دار نسبت به گروه سالم P<۰/۰۵ . # نشانه تفاوت معنی دار نسبت به گروه‌های سالم و دیابتی P<۰/۰۵ .* نشانه تفاوت معنی‌دار نسبت به گروه دیابتی P<۰/۰۵.

بحث و نتیجه گیری

فعالیت ورزشی به عنوان یکی از روش‌های مؤثر شناخته شده در کنترل سطح گلوکز خون در افراد دیابتی است که این تأثیر در هوموستاز گلوکز، از طریق عوامل و مکانیسم‌های مختلفی از جمله افزایش رهایش انسولین پانکراس و افزایش حساسیت انسولینی محیطی صورت می‌پذیرد. شناخت این مکانیسم ها حائز اهمیت است. در این مطالعه متعاقب ۱۲ هفته تمرین، انسولین سرم آزمودنی گروه‌های مختلف تمرینی (استقامت، مقاومتی با شدت متوسط و بالا، اینتروال شدید) به طور معنی‌داری از گروه سالم کمتر (**P=**۰/۰۰۱) و از گروه دیابتی بیشتر (**P=**۰/۰۰۱) بود. نتایج این بخش از تحقیق همسو با نتایج سایر محققین از جمله کادوگلو و همکـاران (۲۰۰۷) بـای و همکاران (۲۰۱۳)، دیویس و همکاران (۲۰۲۲) می باشد که نشان دادند، در نتیجه روش‌های مختلف تمرین میزان انسـولین ترشح شده افزایش و گلـوکز سرم کاهش نشان داد (۱۷, ۱۸ ,۲۴). کادوگلو و همکـاران (۲۰۰۷) نشان دادند، که شش ماه تمرین هوازی در غیاب کاهش وزن بدن به کاهش معنی‌دار گلوکز ناشتا همراه بهبود مقاومـت انسـولین در بیماران دیابتی نوع ۲ منجر شد (۱۷). در مطالعه بـای و همکاران (۲۰۱۳) نیز ۸ هفته تمرین هوازی بـه کـاهش معنی‌دار گلوکز خون در

افراد چـاق و دارای اضـافه وزن منجر شد، محققان بهبود گلوکز را به کاهش وزن نسبت داده اند (۱۸). همچنین مکادو و همکاران (۲۰۱۰) در یـک مطالعـه، بهبـود در ظرفیـت ترشـح انسولین از جزایر لانگرهانس پانکراس ایزوله شده، متعاقب ۸ هفتـه تمرین شنا گزارش شد (۱۹) که با کاهش سطوح گلوکز خون در رت‌هـای دیـابتی نـوع یـک همـراه بـود (۲۰). پیری و همکاران (۲۰۲۳) مرور حاضر مشخص می‌کند که تمرینات هوازی، مقاومتی، HIIT و ترکیبی (با هرگونه شدت، مدت و نوع تمرین) باعث افزایش حساسیت به انسولین در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود (۲۱). پیرانی و همکاران (۲۰۲۱) با توجه به یافته‌های این تحقیق احتمال دارد از دلایل افزایش سطح گلوکز خون و متعاقب آن افزایش ترشح انسولین در افراد دیابتی، ترشح بیشتر از حد طبیعی هورمون آسپروزین باشد. به عبارت دیگر سنتز و ترشح بالای هورمون آسپروزین در افراد دیابتی، کبد را وادار می‌کند، گلوکز بیشتری را به داخل گردش خون رها کند. در نتیجه میزان گلوکز خون و در پاسخ به آن هورمون انسولین افزایش پیدا می کند(۲۲) ریاحی و همکاران (۲۰۲۳) تمرینات هوازی باعث بهبودی نیمرخ گلیسیمی و سطح انسولین در موش‌های صحرایی دیابتی نوع ۲ منجر می‌شود، احتمالا بخشی از این بهبود می‌تواند مربوط به تغییر در بیان نسبی ژن UCP2 در بافت پانکراس موش‌های دیابتی باشد (۲۳)، نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که تمرینات هوازی به افزایش سطوح انسولین سرم همراه با کاهش گلوکز در رت های دیابتی نوع ۲ چاق منجر می‌شود (۲۳). فلوکی و همکاران (۱۹۹۵) نیـز گـزارش نموده‌انـد کـه ۴ جلسـه تمرین مقاومتی بـه افـزایش ترشـح انسـولین از جزایـر پانکراس منجر می‌شود (۲۴). از جمله سازگاری هایی که می‌توانند باعث افزایش عمل انسولین بعد از تمرینات ورزشی شود: افزایش پیام رسانی پس گیرنده‌های انسولین، افزایش بیان ژن GLUT-4، افزایش فعالیت گلیکوژن سنتتاز و هگزوکیناز، کاهش رهایی و افزایش پاکسازی اسیدهای چرب آزاد، افزایش رهایی گلوکز از خون به عضله به علت افزایش مویرگ عضلانی و تغییر در ترکیب عضله به منظور افزایش برداشت گلوکز عنوان شده‌است. تمرینات ورزشی با افزایش توده‌ی عضلانی و بهبود پیام رسانی انسولین به بهبود حساسیت انسولینی کمک می‌کند. از طرف دیگر می توان اظهار داشت، تغییر در شاخص‌های آنتروپومتریک و ترکیب بدن نیز می تواند بیان کننده‌ی اثر پذیری عملکرد انسولین باشد. از دیگر سازگارهای احتمالی اثر تمرین ورزشی بر بهبود مقاومت به انسولین می توان به فعال سازی AMPK و افزایش فعالیت فسفو اینیوزیتید-۳ کیناز (PI3-Kinase) و Akt/PKB اشاره کرد. همچنین تنظیم افزایش AMPK سازوکار دیگری است که فعالیت ورزشی به واسطه آن در بهبود حساسیت به انسولین و کاهش مقاومت به انسولین در ارتباط است. فعالیت ورزشی از طریق AMPK بیان ژن GLUT-4 و انتقال آن از سیتوپلاسم به سطح غشا سلول را افزایش داده و با این فرآیند ورود گلوکز به داخل سلول عضلانی بهبود پیدا می‌کند. در نهایت تمرینات و فعالیت‌های استقامتی و هوازی با ایجاد تغییرات بیوشیمیایی ویژه خود در عضلات افزایش تراکم مویرگی و افزایش آنزیم های اکسیداتیو می‌توانند فرآیند حمل و متابولیسم گلوکز را بهبود بخشیده، و ظرفیت اتصال انسولین به گیرنده‌های

سلول عضلانی را افزایش داده و در نتیجه نیاز به انسولین را کاهش دهد(۲۵). نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد، که تمرینات هوازی به افزایش سطوح انسولین سرم همراه بـا کـاهش گلوکز در رت‌های چاق دیابتی نوع ۲ منجر می‌شود.

تقدیر و تشکر

پژوهش حاضر برگرفته از پایان نامه دکتری می‌باشد. از تمامی اساتید و کسانی که ما را در اجرای این رساله یاری رساندند، نهایت تشکر و قدردانی را داریم.

منابع

1. Chan JM, Rimm EB, Colditz GA, Stampfer MJ, Willett WC. Obesity, fat distribution, and weight gain as risk factors for clinical diabetes in men. *Diabetes Care,* 1994;17(9):961-9. [Doi: 10.2337/diacare.17.9.961]
2. Eizadi M, Baghery G, Masroor H, Behboodi L, Dooaly H. The effect of long-term exercise on the secretion of serum Ghrelin in obese men. *Journal of Birjand University of Medical Sciences,* 2012;18(4):285-92. [Available from: http://journal.bums.ac.ir/article-1-853-en.html] [In Persian]
3. Villareal DT, Apovian CM, Kushner RF, Klein S. Obesity in older adults: technical review and position statement of the American Society for Nutrition and NAASO, The Obesity Society. *Obesity Research,* 2005;13(11):1849-63. [Doi: 10.1093/ajcn/82.5.923]
4. Rahimi RM, Attarzadeh Hosseini SR. The effect of aerobic training and diet on lipid profile and liver enzymes in obese women with type II diabetes. *Journal of Shahed University*, 2014;21(108):1-10. [In Persian]
5. Babaei H, Aliasgarzadeh A, Poorabdollahi P. Effect of supplementation with grape seed extract (vitis vinifera) on serum lipid profiles in patient with type 2 diabetes. Iranian *Journal of Endocrinology and Metabolism,* 2013;15(1):59-66. [Available from: http://ijem.sbmu.ac.ir/article-1-1387-en.html] [In Persian]
6. MohammadniaAhmadi M, KhaksariHaddad M, Najafipour H, SaberiKakhaki AR, Nakhaie N, Abbasi R. The Effect of Co-administrition of Aquous Extract of Bunium Persicum and Endurance Training on Plasma Lipids in Hypercholestrolemic Male Mice. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences,* 2008;8(3):160-72. [In Persian]

7.

8. Ghasemi E, Afzalpour ME, Zarban A. Effect of a 10 week high intensity interval training supplemented with green tea on lipid profiles and body composition in overweight women. *Journal of Birjand University of Medical Sciences,* 2016;23(3):198-210. [In Persian]
9. https://www.who.int/ ,WHO 2023
10. Farhadnejad H, Teymoori F, Asghari G, Mokhtari E, Mirmiran P, Azizi F. The higher adherence to a healthy lifestyle score is associated with a decreased risk of type 2 diabetes in Iranian adults. *BMC Endocrine Disorders,* 2022;22(1):1-2. [Doi: 10.1186/s12902-022-00961-4]
11. Zhu C, Idemudia CU, Feng W. Improved logistic regression model for diabetes prediction by integrating PCA and K-means techniques. *Inform Med Unlocked,* 2019;17:10079. [Doi: 10.1016/j.imu.2019.100179]
12. Guzik T, Mangalat D, Korbut R. Adipocytokines novel link between inflammation. *J Physiol Pharmacol,* 2006;4:505-28.
13. Borges-Silva CN, Fonseca-Alaniz MH, Alonso-Vale MI, Takada J, Andreotti S, Peres SB, et al. Reduced lipolysis and increased lipogenesis in adipose tissue from pinealectomized rats adapted to training. *Journal of Pineal Research,* 2005;39(2):178-84. [Doi: 10.1111/j.1600-079X.2005.00241.x]
14. Leandro CG, Levada AC, Hirabara SM, Manhães-de-Castro R. A Program of Moderate Physical Training for Wistar Rats Based on Maximal Oxygen Consumption. *J Strength Conditioning Res,* 2007;21(3):751. [Doi: 10.1111/j.1600-079X.2005.00241.x]
15. Khakdan S, Delfan M, Heydarpour Meymeh M, Kazerouni F, Ghaedi H, Shanaki M, et al. High-Intensity Interval Training (HIIT) Effectively Enhances Heart Function via Mir-195 Dependent Cardiomyopathy Reduction in High-Fat High-Fructose Diet-Induced Diabetic Rats. *Arch Physiol Biochem,* 2020;126(3):250-7. [Doi: 10.1080/13813455.2018.1511599]
16. Macedo AG, AL Krug, NA Herrera, Zago AS, Rush JW, Amaral SL. Low intensity resistance training attenuates dexamethasone-induced atrophy in the flexor hallucis longus muscle. *J Steroid Biochem Mol Biol,* 2014;143:357-64. [Doi: 10.1016/j.jsbmb.2014.05.010]

17.

18. de Cassia Marqueti R, Almeida JA, Guzzoni V, Boghi F, Renner A, Silva PE, et al. Resistance training minimizes the biomechanical effects of aging in three different rat tendons. *J Biomech,* 2017;53:29-35. [Doi: 10.1016/j.jbiomech.2016.12.029]
19. Kadoglou NP, Iliadis F, Angelopoulou N, Perrea D, Ampatzidis G, Liapis CD, et al. The anti-inflammatory effects of exercise training in patients with type 2 diabetes mellitus. *European Journal of Preventive Cardiology,* 2007;14(6):837-43.
20. Bai Y, Zhang J, Jiang S, Sun J, Zheng C, Wang K, et al. Effects of the body fat mass and blood sugar and plasma resistin to slim exercise prescription for overweight and obesity students. *Journal of Hygiene Research,* 2013;42(4):538-42. [PMID: 24024360]
21. Machado de Oliveira CA, Ferreira Paiva M, Alencar Soares Mota C, Ribeiro C, Curiacos de Almeida Leme JA, Luciano E, et al. Exercise at anaerobic threshold intensity and insulin secretion by isolated pancreatic islets of rats. *Islets,* 2010;2(4):240-6. [Doi: 10.4161/isl.2.4.12266]
22. Huang HH, Farmer K, Windscheffel J, Yost K, Power M, Wright DE, et al. Exercise increases insulin content and basal secretion in pancreatic islets in type 1 diabetic mice. *Experimental Diabetes Research,* 2011 Jan 1; 2011. [doi.org/10.1155/2011/481427]
23. Piri E, Afrondeh R, Ebrahimpour H, Nasri Ali. Comparison of the effect of various types of exercise on insulin sensitivity in patients with type 2 diabetes: a review of 2015-2022 studies. *Research in Sports Physiology*, 1402;1(1). [In Persian]
24. Pirani H, Chubineh S, Rashidlmir A, Raushit M. The effect of eight weeks of intense intermittent training on the serum levels of asprosin, insulin and insulin resistance index in diabetic rats. *Sports Biology (Movement),* 1400;13(2):167-177. [Available from: https://sid.ir/paper/410052/fa.] [In Persian]
25. Riyahi V, Morovvati H, Khosravi Amir. The effect of 12 weeks of aerobic training on the function of beta cells and uncoupled protein 2 pancreas of diabetic obese rats. *Applied Health Studies in Exercise Physiology,* 1402;10(1):141-53. [Doi: 10.22049/jahssp.2023.28008.1499**]** [In Persian]
26. Davies MJ, Aroda VR, Collins BS, Gabbay RA, Green J, Maruthur NM, et al. Management of hyperglycaemia in type 2 diabetes. *Diabetologia,* 2022 Dec;65(12):1925-1966. [Doi: 10.1007/s00125-022-05787-2] [PMID:36151309] [PMCID:9510507]

27. Park S, Hong SM, Sung SR. Exendin-4 and exercise promotes β-cell function and mass through IRS2 induction in islets of diabetic rats. *Life sciences*, 2008;82(9-10):503-11. [Doi: 10.1016/j.lfs.2007.12.018]