The effect of a period of resistance, endurance and HIIT training on serum glucose index 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 Science, Borujard Branch, Islamic Azad University, Borujard, 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 Science, Faculty of Humanities, Ayatollah Ozma Borujerdi University, Borujerd, Iran.

Received: 01 May 2023; Accepted: 09 September 2023

Abstract

Background and Purpose: The aim of the present study was the effect of a high-intensity, endurance and intermittent HIIT resistance training course on serum glucose index in obese diabetic Wistar rats.

Materials and methods: In this experimental study, 50 diabetic obese rats (230 ± 16 grams) were randomly divided into 5 groups of 10: 1- control (no exercise) 2- intense HIIT interval training 3- aerobic training (traditional endurance)) were divided by moderate intensity, 4- moderate resistance training, 5- intense resistance training. The training groups participated in a 12 weeks resistance and aerobic training program with 5 sessions per week, and the control group did not participate in any training program. Glucose concentration was measured by glucose oxidase colorimetric method. 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 subjects of different training groups (endurance running, moderate and high intensity resistance, intense interval) had significantly lower serum glucose than the control group (P=0.001).

Conclusion: Sports training (endurance, resistance and intense interval running) reduces serum glucose in type 2 diabetic obese male rats, there was a slight difference in the reduction of serum glucose between different training groups, but this difference was not significant.

Keywords: Aerobic Training, Resistance Training, High Intensity Interval Training, Serum Glucose, Diabetes.

[*] **Corresponding author**: Professor, Department of Basic Sciences, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: hmorovvati@ut.ac.ir

تاثیر یک دوره تمرین مقاومتی، دویدن استقامتی و تناوبی HIIT بر شاخص گلوکز سرم در رت های چاق دیابتی ویستار

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

[۱] دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه تربیت بدنی وعلوم 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: ۱۴۰۲/۰۲/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸

چکیده

هدف: هدف از پژوهش حاضر تاثیر یک دوره تمرین مقاومتی با شدت بالا، دویدن استقامتی و تناوبی HIIT بر شاخص گلوکز سرم در رت‌های چاق دیابتی ویستار بود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه تجربی ۵۰ سر موش صحرایی چاق دیابتی (۱۶±۲۳۰ گرم) به شیوه تصادفی به ۵ گروه ۱۰تایی: ۱- کنترل بدون تمرین ۲- تمرین تناوبی شدید HIIT -۳ - تمرین دویدن استقامتی با شدت متوسط ۴- تمرین مقاومتی متوسط ۵- تمرین مقاومتی شدید تقسیم شدند. گروه‌های تمرینی در برنامه تمرینات مقاومتی و دویدن استقامتی ۱۲ هفته‌ای به تعداد ۵ جلسه در هفته شرکت نموده، و گروه کنترل در هیچ برنامه تمرینی شرکت نداشتند. غلظت گلوکز به روش رنگ سنجی گلوکز اکسیداز اندازه‌گیری شدند. 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 آزمودنی گروه‌های مختلف تمرینی (دویدن استقامتی ، مقاومتی با شدت متوسط و بالا ، اینتروال شدید) میزان گلوکز سرم به طور معنی‌داری از گروه کنترل کمتر (P=۰/۰۰۱) بود.

نتیجه گیری: تمرینات ورزشی (دویدن استقامتی ، مقاومتی و اینتروال شدید) باعث کاهش گلوکز سرم در موش‌های صحرایی نر چاق دیابتی نوع ۲ می‌شود، بین گروه های مختلف تمرینی درکاهش گلوکز سرم تفاوت اندکی وجود داشت اما این تفاوت معنی دار نبود.

واژه‌های کلیدی: دویدن استقامتی، تمرین مقاومتی، تمرینات اینتروال شدید، گلوکز سرم، دیابت.

* نویسنده مسئول: استاد، گروه علوم پایه، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه تهران، ایران. ایمیل:hmorovvati@ut.ac.ir

مقدمه

چاقی و بیماری‌های مرتبط با آن یک مشکل سلامت عمومی رو به افزایش است، در حال حاضر در کشور ایران ۷۰ درصد جمعیت مبتلا به چاقی و اضافه وزن (۴۷ درصد اضافه وزن و ۲۳درصد چاقی) هستند، و ۵/۴ درصد جمعیت ایران دچار چاقی مفرط (مرضی) هستند. شمار افراد چاق در ایران از سال ۱۳۵۹ تا ۱۴۰۰ حدود ۵/۵ برابرشده و تعداد افراد دارای اضافه وزن ۵/۳ برابر گردیده است(۱). شیوع اختلال تحمل گلوکز در گروه سنی ۳۵ تا ۶۵ سال حدود ۱۷ درصد تخمین زده شده است. اختلال تحمل گلوکز به مواردی اطلاق می‌شود، که سطح گلوکز پلاسما دو ساعت بعد از مصرف ۷۵ گرم گلوکز خوراکی بین ۱۴۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر باشد. افراد دارای اختلال تحمل گلوکز بدون تغییر در شیوه زندگی خود طی ده سال به سمت دیابت نوع ۲ پیشرفت می‌کنند، که این اختلال به عنوان ریسک فاکتور دیابت در آینده مطرح شده‌است (۲)، دیابت نوع ۲ تقریبا ۹۵ -۹۰ درصد جامعه دیابتی را شامل می‌گردد، که قبلاً معروف به دیابت غیروابسته به انسولین، دیابت نوع ۲ یا دیابت شروع بزرگسالان بود .عوامل ژنتیک و محیط هر دو در ایجاد بیماری سهیم هستند. افراد مبتلا به مقاومت به انسولین غالباً ویژگی‌های مشابهی با یکدیگر دارند، مانند: چاقی احشایی، اختلال در سوخت و ساز چربی، پرفشاری خون ،افزایش انسولین ،اختلال در فیبرینولیز ،اشکال در کارکرد سلولهای اندوتلیال عروق، افزایش اوره پلاسما ،التهاب عروق و تصلب شرایین زودرس-عروقی به شمار میایند (۲). نتایج بزرگترین مطالعه ملی بررسی شیوع دیابت و پیش دیابت و عوامل خطر آن در جمعیت بزرگسال ایرانی در سال (۲۰۲۱) نشان می دهد ۱۵ درصد افراد، مبتلا به دیابت و ۲۵ درصد در مرحله پیش دیابت هستند و استان یزد در راس شیوع دیابت در مناطق مختلف کشور است (۳). از سال ۱۹۷۵ تا کنون میزان چاقی در جهان سه برابر شده و حدود ۲ میلیارد بزرگسال ۱۸ سال و بالاتر به اضافه وزن مبتلا بوده و ۶۵۰ میلیون نفر از این مجموع را افراد چاق تشکیل می دهند. همچنین ۸ درصد از مرگهای جهانی ، ناشی از بیماری های مرتبط با چاقی است که این سهم به طور قابل توجهی در جهان متفاوت است و در برخی کشورها که عمدتا کم درآمد یا دارای درآمد متوسط هستند، به ۱۵ درصد هم می رسد (۴). دیابت شایعترین بیماری غددی در جهان و مسئول حدود ۵ میلیون مرگ در سال است (۵). 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. بر اساس آخرین داده های انجمن بین المللی دیابت در سال (۲۰۲۰) (IDF) ۴۶۵ میلیون بزرگسال (۹/۳ جمعیت جهان) را مبتلا کرده است و بر اساس این پیش بینی ها، شیوع دیابت تا سال ۲۰۴۵ به ۷۰۰ میلیون نفر (۱۰/۹درصد جمعیت جهان) افزایش خواهد یافت (۵). در سال ۲۰۰۹ یک گروه متخصص بین المللی شامل، فدراسیون بین المللی دیابت و انجمن اروپایی مطالعه دیابت، پیشنهاد کردند که استفاده از تست هموگلوبین گلیکوزیله C۱A برای تشخیص دیابت مناسب است، که انجمن دیابت آمریکا در سال ۲۱۰ این معیار را قبول نمود. در دهه‌های اخیر، گلوکز پلاسما، یا در حالت ناشتا و یا تست تحمل دهانی گلوکز، معیار تشخیص دیابت است. خطر دیابت با اضافه وزن، درجه زمان، چاقی و با توزیع زیاد چربی مرکزی یا چربی احشایی افزایش پیدا می‌کند. افزایش چربی احشایی، مقاومت انسولینی وابسته به چاقی را بالا می‌برد. در همین راستا، مقاومت انسولینی و چربی احشایی از نشانه‌های سندرم متابولیکی می‌باشند، که روی هم رفته جزء فاکتورهای خطرزا برای دیابت و بیماری قلبی هایپرگلیسمیا یا بالا رفتن قند خون، اثر معمول عدم مهار دیابت‌اند، که غالباً منجر به آسیب جدی بسیاری از سیستم‌های بدنی خصوصاً سیستم عصبی و رگهای خونی می‌گردد. همچنین دیابت خطر بیماری‌های قلبی و سکته را افزایش میدهد، ٪۵۰ مرگ افراد دیابتی به خاطر بیماری قلبی عروقی می‌باشد. اگر بیماری دیابت با کاهش جریان خون همراه باشد، بیماری عصبی حاصل از دیابت در پاها احتمال زخم در پا و حتی موجب قطع

عضو می‌شود. این بیماری همچنین باعث اختلالات شبکیه چشم می‌شود، که به دلیل آسیب به رگ‌های خونی کوچک شبکیه چشم دلیل اصلی کوری نیز است، به طوری که بعد از ۱۵ سال سابقه دیابت حدود ۲ درصد افراد کور می‌گردند. و حدود ۱۰ درصد دچار اختلالات بینایی می‌شوند. از دیگر بیماری‌های همراه با دیابت نوع ۲ اختلالات کلیه است، که در حدود ۱۰ الی ۲۰ درصد سهم مرگ و میر افراد دیابتی را به خود اختصاص می‌دهد. اگر چه مشکلات متعددی در نتیجه نفروپاتی (بیماری عصبی) دیابت می‌تواند به وجود بیاید، که آثار معمول نفروپاتی شامل: درد، سوزش، ضعف پاها، صدا، بی حسی و ضعف دستها است. با توجه به اختلالات و بیماری‌های همراه با دیابت، خطر مرگ و میر افراد دیابتی حداقل ۲ برابر افراد سالم گزارش گردیده است (۴). پژوهش‌ها نشان داده‌اند، که سبک زندگی در پیشگیری یا تأخیر در شروع دیابت نوع ۲ تاثیرگذار است. همچنین برای جلوگیری از دیابت نوع ۲ و عوارض آن افراد باید نکاتی مانند تداوم فعالیت بدنی (حداقل ۱۵۰ دقیقه در هفته)، داشتن رژیم غذایی سالم، حفظ وزن نرمال همراه با مصرف ۳ تا ۵ وعده میوه و سبزیجات در روز، کاهش مصرف شکر و چربی اشباع شده و عدم مصرف دخانیات را رعایت نمایند. آزمایش‌های کنترل شده تصادفی نشان داده‌اند، که افراد با خطر بالای ابتلا به دیابت میتوانند، از مداخله‌های مشخصی که شروع دیابت را به تأخیر می‌اندازد، استفاده نمایند (۶). این مداخله شامل تعدیل در سبک زندگی، که نشان داده شده است، باعث کاهش ۵۸ درصدی در شروع دیابت بعد از ۳ سال می‌گردد، و عوامل دارویی متفورمین، بازدارنده‌های گلوکوسیداز آلفا، اورلیستات و تیوزینامین هستند. داگینگ نشان داد، که تغییر سبک زندگی به مدت ۲۰ سال باعث کاهش ۴۳ درصدی دیابت نوع ۲ می‌شود. داروی متفورمین فقط برای افرادی که در خطر بالای دیابت می‌باشند، تجویز مگردد. دیگر داروها برای جلوگیری از دیابت توصیه نمی‌گردد (۵). در واقع، اضافه وزن و چاقی عامل مهم سندروم متابولیک هستند (۷). بر اساس مطالعات انجام‌شده، پیاده‌روی با شدت کم یا متوسط باعث کاهش غلظت گلوکز بعد از وعده غذایی به واسطه فعال‌سازی مسیر سیگنالینگ برداشت گلوکز و همچنین تعدیل مسیر سیگنالینگ انسولین در ارتباط با افزایش ظرفیت انتقال گلوکز می‌گردد (۷). انجام تمرینات سبک و متوسط بلافاصله پس از صبحانه می‌تواند، در کنترل گلوکز خون مؤثر بوده، و نوع تمرین در این امر، از اهمیت کمتری برخوردار است (۹). HIIT بعد از ظهر در بهبود قند خون در مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ مؤثرتر از HIIT صبحگاهی بود. به طور قابل توجهی، HIIT صبحگاهی اثر حاد و مضری داشت و گلوکز خون را افزایش داد. با این حال، مطالعات رژیم‌های تمرینی طولانی تر برای اثبات تداوم این اثر نامطلوب ضروری است. داده‌های ما اهمیت بهینه سازی زمان ورزش را هنگام تجویز آن به عنوان درمان دیابت نوع ۲ نشان می‌دهد (۱۰). چاقی منجر به افزایش بافت چربی بدن می‌شود، از مهمترین عوامل خطرزای چاقی فشارخون، هایپرلیپیدمی، دیابت نوع ۲ و بیماریهای آترواسکلروزیس ازجمله بیماری شریان کرونری می‌شود (۱۱). انجام فعالیت‌های ورزشی باعث افزایش تعداد پروتئین های GLUT-۴ می‌شود، که باعث کاهش گلوکز خون ناشتا و در نهایت کاهش مقاومت به انسولین می‌گردد (۱۲). در همین رابطه، نشان داده شده است که متابولیسم گلوکز با پایش مدام قندخون تا بیش از ۲۴ ساعت پس از فعالیت ورزشی حاد مقاومتی و فعالیت‌های تداومی با شدت متوسط در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ بهبود می‌یابد (۱۵). با توجه به شیوع بیماری دیابت نوع ۲ و عوارض آن، پژوهش حاضر درصدد پاسخگویی به این پرسش است که آیا استفاده از پروتکل‌های تمرین مقاومتی، استقامتی و تناوبی HIIT بر شاخص گلوکز سرم در رت های چاق دیابتی ویستار تاثیر دارد یا نه؟ بنابراین، در این تحقیق تاثیر یک دوره تمرین مقاومتی، دویدن استقامتی و تناوبی HIIT بر شاخص گلوکز سرم در رت های چاق دیابتی ویستار بررسی شد.

روش پژوهش

این مطالعه از نوع تحقیقات تجربی می‌باشد، که به لحاظ استفاده از نتایج آن دارای جنبه کاربردی است. اصول اخلاقی مراحل اجرایی کار رعایت گردید. 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، به صورت تصادفی در پنج گروه (هر گروه ده سر)، شامل: ۵ گروه ۱۰ تایی ۱- کنترل(بدون تمرین) ۲- تمرین تناوبی شدید HIIT ۳ - تمرین دویدن استقامتی 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.

پروتکل تمرین دویدن استقامتی با شدت متوسط

یک هفته پس از دیابتی شدن موش‌ها برنامه تمرین دویدن استقامتی بر روی نوارگردان مخصوص جوندگان اجرا شد. در تحقیق حاضر پروتکل تمرین دویدن استقامتی 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 پروتکل های تمرینی تناوبی شدید و دویدن استقامتی (شدت متوسط) از لحاظ بار حجمی تمرینی یکسان سازی شده، که برای این همسان سازی به مولفه های زمان تمرین و شدت تمرین در گروهها توجه شد و نهایتا با محاسبات عددی حجم تمرین همسان سازی شد. مرحله تمرین عبارت بود از ۵ دقیقه گرم و سر 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 استقامتی تداومی در هفته آخر ۳۰ دقیقه بود. در روز ششم هر دو هفته یکبار سرعت بیشینه موش ها 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 بی‌حرکت قرار می گرفتند (۱۶).

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) استفاده شد. بعداز یک هفته اشنا سازی تمامی آزمودنی‌های با تردمیل گروهای مختلف به مدت ۱۲ هفته برنامه تمرین خود را اجرا کردند. 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 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(۱۷).

پروتکل تمرین مقاومتی متوسط و شدید

یک هفته پس از دیابتی شدن موش‌ها تمرین گروه 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 دادند. 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 داشتند (۱۸). 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

جهت تعیین حداکثر ظرفیت حمل ارادی در گروه مقاومتی متوسط وزنه ۵۰ درصد و در گروه مقاومتی شدید 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 (۱۹).

زمان و نحوه نمونه‌گیری

۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین، ابتدا حیوانات در فضای ویژه نمونه‌برداری(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 میلی لیتر خون از بطن راست هر موش توسط سرنگ گرفته شد و بلافاصله درون لوله‌های آزمایش ریخته شد(۱۹). غلظت گلوکز به روش آنزیمی رنگ سنجی با روش گلوکز اکسیداز و با استفاده از کیت گلوکز شرکت پارس آزمون- تهران اندازه‌گیری شد. ضریب تغییرات درون آزمون و برون آزمون گلوکز به ترتیب ۷۴/۱ و ۱۹/۱ درصد و حساسیت اندازه‌گیری ۵ میلیگرم بر دسی‌لیتر بود. انسولین سرم به روش الایزا و مطابق با استانداردهای کیت تجاری(insulin ELIZA Diagnostic Demeditec) ساخت کشور آلمان اندازه‌گیری شد. ضریب تغییرات درون آزمون و برون آزمون انسولین به ترتیب ۶/۲ و ۸۸/۲ درصد حساسیت اندازه‌گیری ۷۶/۱ بود .

روش آماری

در این مطالعه داده‌ها با استفاده از روش‌های آماری توصیفی و استنباطی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. قبل از انجام آزمون‌های پارامتریک، از طبیعی بودن توزیع داده‌ها از طریق آزمون شاپیرو - ویلک اطمینان حاصل شد. اطلاعات در قالب جدول و نمودارهای مربوط ارائه شده است. برای تحلیل استنباطی و بررسی نوع و میزان اختلاف متغیرهای مورد مطالعه از آزمون تحلیل واریانس یک راهه آزمون تعقیبی توکی، در صورت وجود اختلاف معنی‌دار بین گروه‌های تحقیق، استفاده شد. در مورد کلیه مقایسه‌های بین‌گروهی، همسانی واریانس گروه‌ها با استفاده از آزمون لون و در مورد مقایسه‌های درون‌گروهی فرضیه تقارن مرکب کروی (همگنی ماتریسی همبستگی‌ها) از طریق آزمون ماخلی بررسی شد.

یافته ها

طبق اطلاعات جدول‌های ۲ و ۳ مقدار P برابر با ۰/۰۰۵ شده است. این امر بیانگر آن است که نوع مداخله استفاده شده بر روی میزان گلوکز سرم پس از اجرای فعالیت های ورزشی مؤثر می‌باشد. لذا جهت مقایسه‌ی تمام تفاوت زوجی گروه‌ها یا بررسی تفاوت میانگین‌های گروههای تحقیقی از آزمون تعقیبی توکی استفاده شده است که نشان میدهد ۱۲ هفته تمرین دویدن استقامتی، مقاومتی(متوسط و شدید) و تناوبی شدید موجب کاهش معنی دار گلوکز سرم آزمودنی‌ها نسبت به گروه کنترل دیابتی شد. گرچه بین گروه های مختلف تمرینی درکاهش گلوکز سرم تفاوت اندکی وجود داشت اما این تفاوت معنی‌دار نبود. جدول ۱ تغییرات وزن بدن موش‌های صحرایی را در گروه‌های مورد بررسی پس از دو بار توزین(ابتدا و انتهای تحقیق) را نشان می‌دهد. 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).

جدول۱. میانگین و انحراف استاندارد وزن، سطح گلوکز گروه‌های مختلف

شاخص	زمان اندازه‌گیری	گروه DI (کنترل دیابتی)	AT+DI (دیابتی +استقامتی)	HIIT –DI (دیابتی + اینترول شدید)	MRT –DI (دیابتی +تمرین مقاومتی سبک)	IRT –DI (دیابتی +تمرین مقاومتی سنگین)
وزن(بر حسب گرم)	پیش آزمون	¥ ۱۰/۱ ± ۱۸۶/۱	¥ ۹/۵ ± ۱۹۳/۹	¥ ۸/۳ ± ۱۸۶/۱	¥ ۱۱/۳ ± ۲۰۰/۱	¥ ۷/۸ ± ۱۹۰/۳
	پس آزمون	۱۵/۴¥± ۱۵۲/۹	¥# ۱۱/۴±۱۷۰/۳	¥# ۱۰/۱±۱۶۷/۳	¥# ۱۲/۴±۱۸۴/۳	¥# ۸/۵±۱۷۲/۵
گلوکز سرم dl/mg	پیش آزمون	¥ ۶۰/۹ ± ۳۶۶/۱۹	۵۴/۳ ± ۳۷۱/۱۱ ¥	۴۸/۲ ± ۳۷۹/۱۲ ¥	¥ ۵۰/۱ ± ۳۶۷/۱۶	¥ ۵۸/۳ ± ۳۷۵/۱
	پس آزمون	۱۰۰/۹¥± ۳۹۳/۲۴	± ۲۱۶/۱۹ ¥۴۹/#۹	± ۲۲۱/۱۴ ¥۵۱/#۱	¥۳۸/#۸ ± ۲۲۴/۱	¥۴۱/#۱ ± ۲۳۰/۱۵

داده ها به صورت میانگین ± انحراف معیار می باشند؛ * اختلاف معنی دار بین دو مرحله اندازه گیری (درون گروهی). ¥اختلاف معنی‌دار گروه ها با گروه کنترل DI (سطح معنی‌داری۰/۰۵>P).

جدول۲. نتایج آزمون آنوای یک‌طرفه در مورد میزان گلوکز سرم

آماره های استنباط منبع واریانس	درجه ی آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار P
بین تکرارها	۵	۳۵/۱	۵۶/۸۸۳	٭۰/۰۰۵

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

جدول۳. مقایسه زوجی گروه‌ها در مورد میانگین‌های گلوکز سرم

آماره استنباطی مقایسه بین گروهی		تفاوت میانگین ها	مقدار P
(کنترل)	تمرین استقامتی	۱۷۷	٭۰/۰۰۱
	تمرین تناوبی شدید	۱۷۲	٭۰/۰۰۱
	تمرین مقاومتی با شدت متوسط	۱۶۹	٭۰/۰۰۱
	تمرین مقاومتی با شدت بالا	۱۶۰	٭۰/۰۰۱
تمرین استقامتی	تمرین تناوبی شدید	-۵	۰/۹۴
	تمرین مقاومتی با شدت متوسط	-۸	۰/۹۱
	تمرین مقاومتی با شدت بالا	-۱۴	۰/۸۵
تمرین تناوبی شدید	تمرین مقاومتی با شدت متوسط	-۳	۰/۹۶۰
	دیابتی +تمرین مقاومتی با شدت بالا	-۹	۰/۹۰۴
تمرین مقاومتی با شدت متوسط	تمرین مقاومتی با شدت بالا	-۶	۰/۹۲۴

نمودار ۱. تغییرات میزان گلوکز سرم گروه‌های مختلف: گروه دیابتی کنترل، گروه دیابتی همراه با تمرین هوازی. ،گروه دیابتی همراه با تمرین اینتروال ، گروه دیابتی همراه با تمرین مقاومتی متوسط ، گروه دیابتی همراه تمرین مقاومتی با شدت بالا. * نشانه تفاوت معنی‌دار نسبت به پیش آزمون P <۰/۰۵. # نشانه تفاوت معنی‌دار نسبت به تمامی گروه ها P <۰/۰۵.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر تاثیر یک دوره تمرین مقاومتی با شدت بالا، استقامتی و تناوبی HIIT بر شاخص گلوکز سرم در رت‌های چاق دیابتی ویستار بود، که نشان می‌دهد ۱۲ هفته تمرین دویدن استقامتی، مقاومتی (متوسط و شدید) و تناوبی شدید موجب کاهش معنی‌دار گلوکز سرم آزمودنی‌ها نسبت به گروه کنترل دیابتی شد. گرچه بین گروه‌های مختلف تمرینی درکاهش گلوکز سرم تفاوت اندکی وجود داشت اما این تفاوت معنی‌دار نبود.

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد که تمرینات هوازی منجر به کـاهش گلوکز سرمی در رت‌های دیابتی نوع ۲ چاق می‌گردد (۲۱). نتایج این مطالعه نشان داد که دوازده هفته ورزش مقاومتی به افزایش معنی‌دار انسولین سرم، کاهش معنی‌دار گلوکز خون و

کاهش معنی‌دار بیان ژن B۱MTNR در بافت پانکراس نسبت به گروه کنترل دیابتی منجر می‌شود(۲۳). یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که اجرای فعالیت‌های هوازی شدید تناوبی می‌تواند اثرات چشمگیری بر گلوکز پس از وعده غذایی داشته باشد که میزان آن نسبت به اثرات فعالیت ورزشی قبل وعده غذایی بیشتر است. بنابراین، با توجه به اثربخشی فعالیت ورزشی تناوبی شدید کوتاه‌مدت طی روز بر CGM و PPG، این روش تمرینی نیز می‌تواند به عنوان یک راهکار مناسب برای کنترل و پایش گلوکز خون بعد از وعده‌های غذایی در افراد دارای چاقی و احتمالاً مبتلا به بیماری‌های قلبی عروقی و دیابت نوع ۲ استفاده شود(۲۴). در مطالعه بـای و همکاران (۲۰۱۳) نیز ۸ هفته تمرین هوازی بـه کـاهش معنی دار گلوکز خون در افراد چـاق و دارای اضـافه وزن منجر شد، محققان بهبود گلوکز را به کاهش وزن نسبت داده اند(۲۵). در این مطالعه انجام ۸ تمرینات مقاومتی به بهبود سطوح گلوکز ناشتا در مقایسه با گروه کنترل منجر شد(۲۶). کادوگلو و همکـاران(۲۰۰۷) نشان دادند که شش ماه تمرین هوازی با کاهش معنی دار گلوکز ناشتا همراه بود(۲۷). فعالیت‌های ورزشی مقاومتی نیز می‌توانند در کنترل گلوکز خون بسیار مؤثر باشند(۲۸). این محقق نشان داد ۸ هفته فعالیت هوازی باعث کاهش گلوکز خون ناشتا و بهبود در پروفایل لیپیدی می‌شود(۲۹). شدت فعالیت به واسطه افزایش و فعال‌سازی AMPK نقش مؤثری در کاهش PPG ایفا می‌کند، که در نتیجه افزایش انتقال GLUT4 در عضله اسکلتی را به دنبال دارد(۳۰). اجرای نوبت‌های تمرین ورزشی در طول روز احتمال دارد، منجر به افزایش تعداد انقباضات عضلانی و در نتیجه افزایش جذب گلوکز گردد و این سازوکار مستقل از جذب گلوکز تحریکی به وسیله عمل انسولینی می‌باشد(۳۱). دادبان و همکاران(۱۴۰۰) در نتیجه گیری از تحقیق عنوان کرد که تمرین اینتروال شدید و مکمل ALA باعث افزایش لنف آنژیوژنز و کاهش گلوکز خون و تغییرات مطلوب در رت های دیابتی می شود(۳۲). مطابق با یافته‌های این پژوهش اجرای فعالیت‌های ورزشی تناوبی در طی روز به دلیل اثر فزاینده بر متابولیسم گلوکز عضلانی در نتیجه انقباض‌های متوالی، منجر به بهبود چشمگیر در سطوح PPG و CGM می‌گردد(۳۳). از این رو در مطالعه حاضر طبق نتایج به دست آمده، اندازه گیری گلوکز سرم نشان داد، که ۱۲ هفته تمرین دویدن استقامتی، مقاومتی (متوسط و شدید) و تناوبی شدید موجب کاهش گلوکز سرم در رت‌های چاق دیابتی نژاد ویستار می‌گردد. پیشنهاد می‌شود، مطالعات تکمیلی برای تعیین سازوکار واکنش شاخص بررسی شده ،در این تحقیق با پروتکل‌های تمرینی با دوره‌های زمانی کمتر و یا بیشتر برای بررسی تاثیر طول دوره مورد نیاز برای مشخص شدن کوتاه‌ترین و یا موثرترین دوره زمانی اثر گذاری تمرین بر شاخص‌های مورد بررسی صورت گیرد.

تقدیر و تشکر

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

منابع

1. Yaghoubpour, K., Tasdighi, E., Abdi, H., Barzin, M., Mahdavi, M., Valizadeh, M., ... & Hosseinpanah, F. (2021). Association of obesity phenotypes in adolescents and incidence of early adulthood type 2 diabetes mellitus: Tehran lipid and glucose study. *Pediatric Diabetes*, *22*(7), 937-945. [Doi: 10.1111/pedi.13243] [In Persian]
2. Atlas, D. (2015). International diabetes federation. *IDF Diabetes Atlas, 7th edn. Brussels, Belgium: International Diabetes Federation*, *33*(2).

3. De Franco, E. (2020). From biology to genes and back again: gene discovery for monogenic forms of beta-cell dysfunction in diabetes. *Journal of molecular biology*, *432*(5), 1535-1550. [Doi: 10.1016/j.jmb.2019.08.016]
4. Pollack, C. C., Emond, J. A., O'Malley, A. J., Byrd, A., Green, P., Miller, K. E., ... & Onega, T. (2022). Characterizing the Prevalence of Obesity Misinformation, Factual Content, Stigma, and Positivity on the Social Media Platform Reddit Between 2011 and 2019: Infodemiology Study. *Journal of Medical Internet Research*, *24*(12), e36729. [Doi: 10.2196/36729] [PMID: 36583929] [PMCID: 9840103]
5. Makrilakis, K., Kalpourtzi, N., Ioannidis, I., Iraklianou, S., Raptis, A., Sotiropoulos, A., ... & EMENO Study Group. (2021). Prevalence of diabetes and pre-diabetes in Greece. Results of the First National Survey of Morbidity and Risk Factors (EMENO) study. *Diabetes Research and Clinical Practice*, *172*, 108646. [Doi: 10.1016/j.diabres.2020.108646]
6. Association AD. (2010). Standards of medical care in diabetes. *Diabetes care*, *33*(1): S11. [In Persian]
7. Mohammad Rahimi, G. R. (2014). The effect of aerobic training and diet on lipid profile and liver enzymes in obese women with type II diabetes. *Journal of Shahed University*, *21*(108), 1-10. [In Persian]
8. Bergouignan, A., Latouche, C., Heywood, S., Grace, M. S., Reddy-Luthmoodoo, M., Natoli, A. K., ... & Kingwell, B. A. (2016). Frequent interruptions of sedentary time modulates contraction-and insulin-stimulated glucose uptake pathways in muscle: Ancillary analysis from randomized clinical trials. *Scientific reports*, *6*(1), 32044. [Doi: 10.1038/srep32044]
9. Solomon, T. P., Tarry, E., Hudson, C. O., Fitt, A. I., & Laye, M. J. (2020). Immediate post-breakfast physical activity improves interstitial postprandial glycemia: a comparison of different activity-meal timings. *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*, *472*, 271-280. [Doi: 10.1007/s00424-019-02300-4]
10. Savikj, M., Gabriel, B. M., Alm, P. S., Smith, J., Caidahl, K., Björnholm, M., ... & Wallberg-Henriksson, H. (2019). Afternoon exercise is more efficacious than morning exercise at improving blood glucose levels in individuals with type 2 diabetes: a randomised crossover trial. *Diabetologia*, *62*, 233-237. [Doi: 10.1007/s00125-018-4767-z]
11. Khamseh, M. E., Sepanlou, S. G., Hashemi-Madani, N., Joukar, F., Mehrparvar, A. H., Faramarzi, E., ... & Malekzadeh, R. (2021). Nationwide prevalence of diabetes and prediabetes and associated risk factors among Iranian adults: analysis of data from PERSIAN cohort study. *Diabetes Therapy*, *12*, 2921-2938. [Doi: 10.1007/s13300-021-01152-5]
14. Emami, A., & Qarshi, S. (2022). The effect of a period of intense interval training with flaxseed oil supplementation on LDL and HDL in obese rats. *Researches in Sport Sciences and Medical Plants*, *3*(8). [Doi: 10.30495/varzesh.2023.1968771.1044] [In Persian]
15. Van Dijk, J. W., Manders, R. J., Tummers, K., Bonomi, A. G., Stehouwer, C. D., Hartgens, F., & Van Loon, L. J. C. (2012). Both resistance-and endurance-type exercise reduce the prevalence of hyperglycaemia in individuals with impaired glucose tolerance and in insulin-treated and non-insulin-treated type 2 diabetic patients. *Diabetologia*, *55*, 1273-1282. [Doi: 10.1007/s00125-011-2380-5]
16. Borges-Silva, C. N., Fonseca-Alaniz, M. H., Alonso-Vale, M. I., Takada, J., Andreotti, S., Peres, S. B., ... & Lima, F. B. (2005). Reduced lipolysis and increased lipogenesis in adipose tissue from pinealectomized rats adapted to training. *Journal of pineal research*, *39*(2), 178-184. [Doi: 10.1111/j.1600-079X.2005.00241.x]
17. Khakdan, S., Delfan, M., Heydarpour Meymeh, M., Kazerouni, F., Ghaedi, H., Shanaki, M., ... & Rahimipour, A. (2020). High-intensity interval training (HIIT) effectively enhances heart function via

miR-195 dependent cardiomyopathy reduction in high-fat high-fructose diet-induced diabetic rats. *Archives of physiology and biochemistry*, *126*(3), 250-257. [Doi: 10.1080/13813455.2018.1511599]

18. Macedo, A. G., Krug, A. L., Herrera, N. A., Zago, A. S., Rush, J. W., & Amaral, S. L. (2014). Low-intensity resistance training attenuates dexamethasone-induced atrophy in the flexor hallucis longus muscle. *The Journal of steroid biochemistry and molecular biology*, *143*, 357-364. [Doi: 10.1016/j.jsbmb.2014.05.010]
19. de Cássia Marqueti, R., Almeida, J. A., Nakagaki, W. R., Guzzoni, V., Boghi, F., Renner, A., ... & Selistre-de-Araújo, H. S. (2017). Resistance training minimizes the biomechanical effects of aging in three different rat tendons. *Journal of biomechanics*, *53*, 29-35. [Doi: 10.1016/j.jbiomech.2016.12.029]
20. Hoshmand, F. F. M., & Zahedi, S. (2011). ZS. The effect of oxytocin on oxidative stress induced myocardial ischemia-reperfusion in rats. *Journal of Endocrinology and Metabolism*, *12*(6), 633-40. [In Persian]
21. Riyahi, V., Morovvati, H., & Khosravi, Amir. (2023). 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*, *10*(1): 141-153. [Doi: 10.22049/jahssp.2023.28008.1499] [In Persian]
22. Malayeri, S. R., Maleki, A., & Eghbali, T. (2021). The Effect of Aloe vera Intake and eight-week aerobic training on serum vaspin, Glucose and serum Insulin in diabetic type 2 Women. *Research in sports science and medicinal plants*, *1*(4): 38-30. [Doi: 10.30495/varzesh.2021.1947789.1029] [In Persian]
23. Soori, R., Rashidi, M., Choobineh, S., Ravasi, A. A., Baesi, K., & Rashidy-Pour, A. (2017). Effects of 12 weeks resistant training on MTNR1B gene expression in the pancreas and glucose and insulin levels in type 2 diabetic rats. *Koomesh*, *19*(1), 46-55. [In Persian]
24. Dehghani Yunarti, F., & Minasian, V. (2021). The effect of exercise timing on elevated postprandial glucose in women with obesity. *Journal of Arak University of Medical Sciences*, *24*(3), 334-347. [Doi: 10.32598/jams.24.3.5445.2] [In Persian]
25. Bai, Y., Zhang, J., Jiang, S., Sun, J., Zheng, C., Wang, K., ... & Nie, L. (2013). Effects of the body fat mass and blood sugar and plasma resistin to slim exercise prescription for overweight and obesity students. *Wei sheng yan jiu= Journal of hygiene research*, *42*(4), 538-42. [PMID: 24024360]
26. Askari, B. S. (2022). The effect of 8 weeks of resistance training on the expression of PTP1B in the biceps muscle and fasting insulin and glucose resistance in type 2 diabetic rats. *Two Quarterly Journal of Movement Physiology and Health*, 1-10. [In Persian]
27. Kadoglou, N. P., Iliadis, F., Angelopoulou, N., Perrea, D., Ampatzidis, G., Liapis, C. D., & Alevizos, M. (2007). The anti-inflammatory effects of exercise training in patients with type 2 diabetes mellitus. *European Journal of Preventive Cardiology*, *14*(6), 837-843. [Doi: 10.1097/HJR.0b013e3282efaf50]
28. Heden, T. D., Winn, N. C., Mari, A., Booth, F. W., Rector, R. S., Thyfault, J. P., & Kanaley, J. A. (2015). Postdinner resistance exercise improves postprandial risk factors more effectively than predinner resistance exercise in patients with type 2 diabetes. *Journal of Applied Physiology*, *118*(5), 624-634. [Doi: 10.1152/japplphysiol.00917.2014]
29. Yousefipoor, P., Tadibi, V., Behpoor, N., Parnow, A., Delbari, M., & Rashidi, S. (2015). Effects of aerobic exercise on glucose control and cardiovascular risk factor in type 2 diabetes patients. *medical journal of mashhad university of medical sciences*, *57*(9), 976-984. [Doi: 10.22038/mjms.2015.3882] [In Persian]
30. Chen, Z. P., Stephens, T. J., Murthy, S., Canny, B. J., Hargreaves, M., Witters, L. A., ... & McConell, G. K. (2003). Effect of exercise intensity on skeletal muscle AMPK signaling in humans. *Diabetes*, *52*(9), 2205-2212. [Doi: 10.2337/diabetes.52.9.2205]

31. Sylow, L., Kleinert, M., Richter, E. A., & Jensen, T. E. (2017). Exercise-stimulated glucose uptake-regulation and implications for glycaemic control. *Nature Reviews Endocrinology*, *13*(3), 133-148. [Doi: 10.1038/nrendo.2016.162]
32. Dadban-Shahamat, M., Hashemian-Esfahani, S.-R., & Askari, A. (2021). The Effect of Moderate-Intensity Interval Training (MIIT) and Liposomal Lipoic Acid on Lymphangiogenesis, Glucose, and Serum Insulin in Diabetic Rats. *Journal of Isfahan Medical School*, *39*(630), 456-463. [In Persian]