

Systematic Review

The effect of different types of exercise on indicators related to type 2 diabetes: A systematic review

Ramezani S^{1*}, Pourrahim A¹, Yaghoubi M², Rasoli M³

1- Department of Sports Physiology, Faculty of Educational Sciences and Psychology, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, I.R. Iran.

2- Department of Sport Sciences, Faculty of Literature and Human Sciences, Lorestan University, Khorramabad, I.R. Iran.

3- Department of Physical Education and Sports Sciences, Islamic Azad University, Hamedan Branch, Hamedan, I.R. Iran.

Received: 2023/04/19 | Accepted: 2023/05/31

Abstract:

Background: Different sport exercises may have different effects on the control and treatment of diabetes. The aim of this review was to analyze the recent studies related to the effect of different sports activities on the indicators related to type 2 diabetes.

Materials and Methods: Persian and Latin databases of PubMed, ScienceDirect, Google Scholar, Magiran and SID were searched using the keywords, including exercise training, resistance training, high-intensity interval training, diabetes, insulin sensitivity, HbA1c, aerobic training and combined training to retrieve published papers during 2010-2022.

Results: In total, out of 140 papers in the initial screening, 35 papers were finally reviewed. Aerobic exercises and especially high-intensity interval training (HIIT) may have faster effects in the process of controlling and reducing blood sugar in patients, however, the positive effects of resistance exercises remain for a longer period.

Conclusion: The beneficial effects of various types of sport exercises in controlling the glycemic indices of patients with type 2 diabetes have been proven. However, the present study showed that the beneficial effects of resistance exercises compared to endurance exercises can last for a longer period. Thus, it is suggested that sport medicine experts should pay attention to the importance of the type and form of sport exercises when presenting exercise programs to patients.

Keywords: Exercise Trainings, Type 2 Diabetes, Insulin Resistance, HbA1c

*Corresponding Author

Email: sajjad_ramezani@yahoo.com

Tel: 0098 918 483 2884

Fax: 0098 863 278 6299

Conflict of Interests: *No*

Feyz, Journal of Kashan University of Medical Sciences, August, 2023; Vol. 27, No 3, Pages 340-354

Please cite this article as: Ramezani S, Pourrahim A, Yaghoubi M, Rasoli M. The effect of different types of exercise on indicators related to type 2 diabetes: A systematic review. *Feyz* 2023; 27(3): 340-54.

اثر انواع مختلف تمرینات ورزشی بر شاخص‌های مرتبط با دیابت نوع ۲: یک مطالعه مروری نظامند

سجاد رمضانی^{۱*}، آمنه پوررحیم^۲، محسن یعقوبی^۳، مینا رسولی^۴

خلاصه:

سابقه و هدف: تمرینات ورزشی مختلف می‌تواند اثرات متفاوتی در کنترل و درمان بیماری دیابت داشته باشد، بر این اساس هدف از مطالعه مروری حاضر تحلیل مطالعات اخیر در ارتباط با اثر فعالیت‌های ورزشی مختلف بر شاخص‌های مرتبط با دیابت نوع ۲ است. **مواد و روش‌ها:** جستجو در بانک‌های اطلاعاتی فارسی و لاتین PubMed، Google scholar، ScienceDirect، Magiran و SID با کلیدواژه‌های exercise training، resistance training، high-intensity interval training، insulin sensitivity، diabetes، HbA1c، تمرین مقاومتی، تمرین تناوبی شدید، تمرین هوازی، تمرین ترکیبی، دیابت نوع ۲ و حساسیت به انسولین برای بازیابی مقالات منتشر شده در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ انجام شد.

نتایج: در مجموع از ۱۴۰ مقاله در غربال اولیه، ۳۵ مقاله مورد بررسی نهایی قرار گرفتند. تمرینات هوازی و به خصوص تمرینات با شدت بالا (HIIT) می‌تواند اثرات سریع‌تری در روند کنترل و کاهش قند خون بیماران داشته باشند، با این حال اثرات مثبت تمرینات مقاومتی برای بازده زمانی طولانی‌تری باقی می‌ماند.

نتیجه‌گیری: اثرات سودمند انواع تمرینات ورزشی در کنترل شاخص‌های گلیسمیک بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ به اثبات رسیده است با این حال مطالعه حاضر نشان داد اثرات مفید تمرینات مقاومتی در مقایسه با تمرینات استقامتی می‌تواند برای زمان طولانی‌تری ماندگار باشد، لذا پیشنهاد می‌گردد متخصصین حوزه پزشکی و ورزشی در هنگام ارائه برنامه‌های تمرینی به بیماران دیابتی به اهمیت نوع و شکل تمرینات ورزشی اهتمام لازم را داشته باشند.

واژگان کلیدی: تمرینات ورزشی، دیابت نوع ۲، مقاومت به انسولین، HbA1c

دوماه‌نامه علمی - پژوهشی فیض، دوره بیست و هفتم، شماره ۳، مرداد-شهریور ۱۴۰۲، صفحات ۳۴۰-۳۵۴

مقدمه

بیماری دیابت از جمله بیماری‌های متابولیک است که مشخصه اصلی آن افزایش مزمن قندخون و اختلال در متابولیسم کربوهیدرات، چربی و پروتئین است. این بیماری در نتیجه وجود نقایص در ترشح انسولین، کارکرد انسولین یا هر دو ایجاد می‌شود [۴]. به طور کلی، دیابت نوع ۲، ۹۵-۹۰ درصد از موارد شیوع این بیماری را تشکیل می‌دهد و از ناتوانی سلول‌های عضلانی در پاسخ به انسولین (مقاومت به انسولینی) و ترشح نشدن جبرانی انسولین به حد کافی، ایجاد می‌شود [۸]. این در حالی است که، در دهه‌های اخیر، فعالیت بدنی همراه با رژیم غذایی و دارو جزء درمان‌های اساسی دیابت در نظر گرفته شده است [۵]، و بر اساس اعلام انجمن دیابت آمریکا American Diabetes Association (ADA)، American College of Sports Medicine (ACSM) و طب ورزش (American College of Sports Medicine) و طبق مطالعات کارآزمایی انجام شده، انجام فعالیت بدنی و ورزش برای پیشگیری و درمان دیابت توصیه شده است [۶، ۷، ۸]. با این حال، اصطلاحات فعالیت بدنی و ورزش دو مفهوم متفاوت را نشان می‌دهند. فعالیت بدنی به هر حرکتی اطلاق می‌شود که توسط ماهیچه‌های اسکلتی ایجاد می‌شود که منجر به صرف انرژی (به صورت کیلوکالری) می‌شود و شامل طیف وسیعی از فعالیت‌های شغلی، اوقات فراغت و کارهای روزانه است. در

دیابت یک بیماری متابولیک است که میزان شیوع آن روز به روز در حال افزایش است. مطالعات نشان داده‌اند که در سال ۲۰۱۳ تعداد ۳۲۸ میلیون نفر دیابتی در جهان وجود داشته‌اند که انتظار می‌رود این میزان تا سال ۲۰۳۵ به ۵۹۲ میلیون نفر برسد. برآورد شده که میزان شیوع دیابت در جهان تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۲۱ درصد خواهد رسید [۱]. در ایران نیز میزان شیوع دیابت در مطالعات مختلف متفاوت است؛ و در مجموع حدود ۱۴ درصد تخمین زده می‌شود [۲، ۳].

۱. دانشجوی دکتری، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲. دانشیار، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۳. دانشجوی دکتری، گروه آموزشی علوم ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۴. کارشناس ارشد، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

* نشانی نویسنده مسئول:

اردبیل، خیابان دانشگاه، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی، گروه فیزیولوژی ورزشی

دوره نویسی: ۰۸۶۳۲۷۸۶۲۹۹

تلفن: ۰۹۱۸۴۸۳۲۸۸۴

پست الکترونیکی: sajjad_ramezani@yahoo.com

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۳/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۳۰

اثرات انواع فعالیت‌های ورزشی بر شاخص‌های مرتبط با دیابت نوع ۲ بررسی شده است.

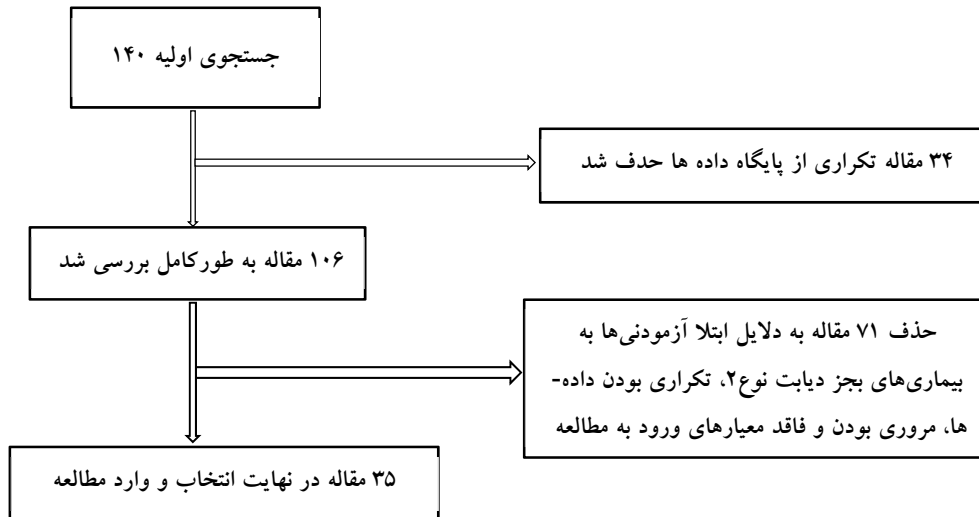
مواد و روش‌ها

در مطالعه مروری حاضر، تحقیقات منتشر شده از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ که در ارتباط با فعالیت ورزشی و دیابت نوع ۲ بودند مورد بررسی قرار گرفتند. جستجوی مطالعات لاتین با استفاده از پایگاه داده‌های در PubMed، ScienceDirect و Google scholar با کلیدواژه‌های exercise training، resistance، High-intensity interval training، HbA1c و Insulin sensitivity، diabetes، training در مطالعات فارسی مرتبط در پایگاه‌های تخصصی فارسی مگیران، SID و گوگل اسکولار فارسی، با کلیدواژه‌های فعالیت ورزشی، تمرین مقاومتی، تمرین تناوبی، تمرین هوازی و تمرین ترکیبی، دیابت نوع ۲، مقاومت به انسولین و حساسیت به انسولین انجام شد. معیارهای ورود مقالات: ۱- مقالات، اصیل علمی- پژوهشی باشند، ۲- مقالات دارای گروه‌های کنترل و تمرین باشند، ۳- نمونه آنها افراد ۱۸ سال به بالا باشد، ۳- مقالاتی که نمونه‌های آنها صرفاً از نمونه‌های انسانی گرفته شده باشد، ۴- نمونه‌های مورد مطالعه به غیر از بیماری دیابت نوع ۲، مبتلا به هیچ گونه بیماری دیگر نبوده باشند، مقالاتی که داده‌های مرتبط با حساسیت انسولینی، گلوکز ناشتا، انسولین و HbA1c را در زمان پیش و پس از دوره تمرینی بررسی کرده باشد.

مطالعاتی که به صورت مروری بودند یا اینکه مطالعه بر روی حیوانات انجام شده بود، از فرایند بررسی خارج شدند. تمامی مطالعات توسط متخصصان فیزیولوژی ورزشی مطالعه و بررسی شدند. در جستجوی اولیه تعداد ۱۴۰ مقاله (۹۰ مقاله فارسی و ۵۰ مقاله انگلیسی) یافت شد، که ۳۴ مقاله تکراری پس از بررسی اولیه با توجه به عنوان و چکیده آنها توسط ۲ نفر از نویسندگان حذف گردید. در غربالگری مرحله دوم که توسط تمامی نویسندگان انجام شد بر اساس معیارهای ورود ۷۱ مقاله غیرمرتبط با موضوع مورد نظر نیز از بررسی خارج شدند و در نهایت بر اساس اصول استاندارد، تعداد و نوع نمونه‌ها، روش کار ۳۵ مقاله بررسی نهایی گردید (شکل ۱).

حالی که ورزش به فعالیت بدنی برنامه‌ریزی شده یا ساختاریافته اشاره دارد که شامل حرکات بدنی تکراری است و باعث بهبود یا حفظ یک یا چند مولفه آمادگی جسمانی مانند (ظرفیت هوازی، قدرت عضلانی، استقامت عضلانی، انعطاف پذیری، ترکیب بدنی و ...) می‌شود. این در حالی است که دانشکده آمریکایی طب ورزش توصیه کرده بیمارانی که دیابت نوع ۲ دارند، باید حداقل ۱۰۰۰ کیلوکالری در هفته از طریق فعالیت جسمانی مصرف کنند [۹]. به طور کلی، نتایج مطالعات فراتحلیل انجام شده نشان داده است که فعالیت بدنی می‌تواند موجب بهبود معنادار کنترل شاخص‌های گلیسمیک در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ شود [۱، ۱۰، ۱۱]. برای مثال در مطالعه Pan و همکاران ۳۷ مقاله به صورت نظام‌مند مرور و فراتحلیل شدند که برگرفته از تمرینات هوازی و مقاومتی در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ بود. نتایج نشان داد فعالیت ورزشی می‌تواند موجب کنترل قند خون و کاهش هموگلوبین A1c در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ شود [۱۲]. از طرفی مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که فعالیت ورزشی باعث افزایش انتقال گلوکز عضلانی می‌شود و به واسطه همین عمل، حامل Glucose transporter-4 (GLUT4) افزایش می‌یابد که موجب افزایش حساسیت انسولینی در افراد دیابتی می‌گردد [۱۳]. با این حال نوع فعالیت، شدت، مدت و تواتر انجام آن یکی از مولفه‌های مهم اثرگذار در بیماران دیابتی است. به طوری که Zanuso و همکاران در مطالعه‌ای مروری نشان دادند که تمرینات هوازی باعث کاهش بیشتر HbA1c، افزایش VO₂max و افزایش بیشتر حساسیت به انسولین می‌شود، در حالی که تمرینات مقاومتی می‌تواند به کنترل قند خون کمک نماید. این در حالی است که تمرینات ترکیبی تغییرات بیشتری در HbA1c در مقایسه با تمرینات هوازی و مقاومتی به تنهایی داشته است [۱۴]. از طرفی مطالعات دیگر نشان داده‌اند تمرینات ورزشی با شدت بالا تاثیر بیشتری بر حساسیت به انسولین و بهبود دیابت نوع ۲ دارند [۱۳، ۱۵].

با توجه به مطالب ارائه شده و با وجود اثرات مثبت انواع مختلف فعالیت‌های ورزشی بر شاخص‌های مرتبط با بیماری دیابت نوع ۲، هنوز جای سوال است که کدام نوع از تمرینات هوازی، مقاومتی، ترکیبی یا تناوبی مفیدتر است، بنابراین، در این مطالعه مروری،



شکل ۱- نمودار چگونگی انتخاب مقالات در پژوهش حاضر

به دیابت نوع ۲ می‌شود [۱۸]. FEX و همکاران در مطالعه خود نشان دادند ۱۲ هفته تمرین تناوبی شدید باعث کاهش قند خون ناشتا، HbA1c و ترکیب بدنی بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود [۱۹]. در مطالعه‌ای دیگر نجفی و همکاران نشان دادند ۱۲ هفته تمرین HIIT باعث کاهش معنادار مقاومت به انسولین، مقادیر انسولین و گلوکز در بیماران میانسال مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌گردد [۲۰]. سازوکاری که تمرینات شدید به واسطه آن حساسیت به انسولین را بهبود می‌بخشد، مشخص نیست. با این حال احتمالاً بیشتر سازگاری‌های محیطی به دنبال برنامه تمرینات شدید به تغییرات آنزیمی در سلول‌های عضلانی مرتبط هستند که بر همین اساس سازوکار مولکولی و سازگاری‌های آنزیمی به فعال کردن پروتئینی به نام پروتئین کیناز فعال‌کننده آدنوزین مونوفسفات (AMPK) نسبت داده می‌شوند [۲۱]. این پروتئین از جمله سازوکارهای احتمالی برای افزایش ورود گلوکز به داخل سلول به خصوص سلول‌های عضلانی در حین برنامه تمرینی شدید است که باعث افزایش حساسیت به انسولین می‌شود [۲۲]. بر اساس نتایج مطالعات انجام شده در این زمینه به خوبی نشان داده شده است که انجام هر جلسه فعالیت‌های تناوبی شدید به افزایش قابل ملاحظه فعالیت این پروتئین سیگنالی منجر می‌شود که مشابه با دیگر فعالیت‌های تداومی طولانی مدت است و محققان مهم‌ترین عامل فعال شدن این پروتئین را به تغییرات در نسبت بین غلظت آنتین نوکلئوتیدهای داخل سلول نسبت داده‌اند [۲۳]. در همین راستا گزارش شده تمرینات شدید تغییرات سریع و ناگهانی را در این نسبت ایجاد می‌کند و عامل مهمی در فعالسازی پروتئین AMPK است [۲۱]. همچنین بهبود حساسیت به انسولین در تمرینات شدید ممکن است مربوط به فراخوانی

نتایج

روش‌های تمرین

تمرینات با شدت بالا

واژه تمرینات تناوبی خیلی شدید (High intensity interval training; HIIT) و تمرینات سرعتی تناوبی (Sprint interval training; SIT) به عنوان یک نوع فعالیت ورزشی عمومی در بین افراد جامعه از عمومیت برخوردار نیست، اما متخصصین علوم ورزشی و همچنین متخصصین علوم بالینی به این نکته توجه دارند که استفاده از تمرینات سرعتی تناوبی (انفجاری) در مقایسه با تمرینات طولانی مدت با شدت متوسط می‌تواند از اثرات مفیدتری برای بهبود عملکرد ورزشکاران، بالا بردن آمادگی جسمانی افراد سالم، زمان اجرای فعالیت و همچنین درمان و بازتوانی برخی از بیماری‌ها برخوردار باشد [۱۶]. HIIT شامل فعالیت‌های انفجاری، شدید، کوتاه و متناوب با دوره‌های ریکاوری کم شدت (حفظ پروسه تمرین اما با شدت کم) است. در سال‌های اخیر استفاده از برنامه HIIT رواج یافته است و شاید کارآمدترین روش ورزش به نسبت زمانی که صرف می‌شود، باشد. در همین راستا علیزاده و همکاران نشان دادند تمرین HIIT باعث کاهش سطوح انسولین، گلوکز، HbA1c و HOMA index در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود [۱۷]. عابدی و همکاران نیز در مطالعه‌ای نشان دادند تمرینات سرعتی تناوبی (SIT) تاثیر معناداری بر کاهش گلوکز ناشتا، مقاومت به انسولین و انسولین ناشتا در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ دارد [۱۶]. در مطالعه‌ای دیگر Medsen و همکاران نشان دادند ۸ هفته تمرین HIIT باعث بهبود شاخص‌های قند خون ناشتا، HOMA IR و حساسیت به انسولین در بیماران سالمند مبتلا

تارهای عضلانی یا کاهش گلیکوژن در عضله باشد که باعث جذب گلوکز توسط عضله اسکلتی در ساعت‌های بعد از ورزش می‌شود [۲۴]. تمرینات با شدت بالا در القای سازگاری میکروسکوپی می‌تواند با تمرینات استقامتی قابل مقایسه باشد که می‌تواند سطح انسولین و تحویل قند را به عضله اسکلتی بهبود بخشد و منجر به افزایش حساسیت به انسولین گردد [۲۴]. همچنین مطالعات گزارش کرده‌اند افزایش حساسیت به انسولین پس از تمرینات شدید می‌تواند به دلیل بیان PGC-1 α و سطح بیان AdipoR1

Adiponectin receptor 1) باشد [۲۵]. بر این اساس به نظر می‌رسد تمرینات تناوبی با شدت بالا ضمن افزایش فعال‌سازی AMPk باعث افزایش ورود گلوکز به داخل سلول‌های عضلانی فعال می‌شود و همچنین این نوع تمرین ضمن افزایش بیان PGC-1 α باعث افزایش حساسیت به انسولین شده که این عامل می‌تواند منجر به افزایش جذب گلوکز در ساعت‌های بعد از ورزش توسط عضلات اسکلتی گردد (جدول ۱).

جدول ۱- خلاصه‌ای از مطالعات درباره تاثیر تمرینات تناوبی با شدت بالا بر شاخص‌های مرتبط با دیابت نوع ۲

محققین (سال)	عنوان مقاله	آزمودنی‌ها	نوع و مدت فعالیت ورزشی	نتایج
نجفی و همکاران [۲۰] (۲۰۲۰)	مقایسه اثر ۱۲ هفته تمرین تناوبی و تمرین تداومی بر برخی عوامل گشادکننده عروق و انقباض عروق در بیماران مبتلا به دیابتی نوع ۲	۴۸ بیمار مبتلا به دیابت نوع ۲، ۳ گروه HIIT (۱۶)، MICT (۱۶) و کنترل (۱۶)	تمرینات HIIT با شدت ۸۰-۹۰ درصد ضربان قلب بیشینه به مدت ۱۲ هفته	تمرینات HIIT باعث کاهش مقاومت به انسولین، مقادیر انسولین و گلوکز ناشتا شد
علی زاده و همکاران (۲۰۱۹) [۱۷]	تأثیر ۸ هفته تمرین تناوبی با شدت بالا (HIIT) بر مقادیر سرمی آیریزین، FGF21 و شاخص‌های گلیسمی در زنان دیابتی نوع ۲	۲۰ زن مبتلا به دیابت نوع ۲، ۲ گروه تمرین و کنترل	HIIT با شدت ۸۰-۸۵ درصد ضربان قلب بیشینه به مدت ۸ هفته	تمرینات HIIT باعث کاهش HbA1c، گلوکز، انسولین و مقاومت به انسولین شد
عبادی و همکاران [۱۶] (۲۰۱۶)	مقایسه تاثیر تمرینات سرعتی شدید و هوازی - قدرتی بر سطح آدیپونکتین سرمی و مقاومت به انسولین در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲	۵۲ زن مبتلا به دیابت نوع ۲، ۳ گروه تمرین ترکیبی، SIT و کنترل	SIT با شدت ۸۰ درصد ضربان قلب بیشینه، ترکیبی با شدت ۶۰-۴۵ درصد ضربان قلب بیشینه به مدت ۸ هفته	تمرینات SIT باعث کاهش مقاومت به انسولین و گلوکز ناشتا شد
Medsen و همکاران (۲۰۱۶) [۱۸]	اثر تمرین تناوبی با شدت بالا بر کنترل قند خون و عملکرد سلول‌ها بتا در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲	۲۳ نفر، در ۲ گروه بیماران (۱۰ نفر) و سالم (۱۳ نفر)	HIIT با شدت ۸۰-۸۵ درصد ضربان قلب بیشینه به مدت ۸ هفته	تمرینات HIIT باعث کاهش قند خون، گلوکز ناشتا و HBAC1 شد
FEX و همکاران [۱۹] (۲۰۱۵)	بررسی تأثیر ۱۲ هفته تمرین تناوبی با شدت بالا (HIIT) بر عوامل خطر متابولیک و ترکیب بدن در بیماران پیش و دیابت نوع ۲ بود	۱۶ نفر، گروه پیش دیابت (۸) و گروه مبتلا به دیابت نوع ۲ (۸)	HIIT با شدت ۸۰ درصد ضربان قلب بیشینه به مدت ۱۲ هفته	تمرین تناوبی شدید باعث کاهش قند خون ناشتا، HbA1c شد

نتیجه رسیدند که این نوع تمرینات باعث کاهش انسولین سرم و مقاومت به انسولین در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود [۲۸]. Aly و همکاران نیز در مطالعه‌ای بر روی ۳۵ مرد مبتلا به دیابت نوع ۲ که بیش از ۵ سال به این بیماری مبتلا بودند نشان دادند انجام ۱۲ هفته تمرین هوازی باعث کاهش قابل توجه در قند خون ناشتا، HbA1c و مقاومت به انسولین می‌گردد [۲۹]. در مطالعه‌ای دیگر مردانی و همکاران نشان دادند انجام تمرینات هوازی با شدت متوسط به مدت ۸ هفته باعث کاهش سطوح HOMA-IR، گلوکز ناشتا و انسولین زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود [۳۰]. Shakil و همکاران نیز در پژوهشی بر روی ۱۰۲ نفر از مردان و زنان دیابتی دریافتند که ۲۵ هفته تمرین هوازی باعث بهبود در شاخص‌های مقاومت به انسولین، گلوکز خون ناشتا، قند خون و انسولین پلاسما در این بیماران می‌گردد [۳۱]. در مطالعه‌ای دیگر امید و همکاران،

تمرین هوازی نتایج پژوهش‌های متعدد در مورد اثرات ورزش هوازی بر بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ نشان داده‌اند که تغییر سبک زندگی و افزایش فعالیت ورزشی به خصوص تمرینات هوازی می‌تواند در بهبود شاخص‌های مرتبط با دیابت و افزایش حساسیت انسولین در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ و پیشگیری از ابتلا به دیابت نوع ۲ در افراد سالم مفید باشد. بر همین اساس، مومنی و همکاران در مطالعه‌ای به این نتیجه رسیدند که تمرین هوازی، تاثیر بسزایی در کاهش گلوکز، انسولین ناشتای خون و مقاومت به انسولین در مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ دارد [۲۶]. Kadoglou و همکاران نیز در مطالعه خود نشان دادند ۱۲ هفته تمرین هوازی تاثیر معناداری بر بهبود شاخص‌های انسولین، HOMA-IR و HbA1c در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ دارد [۲۷]. شاکریان و همکاران در مطالعه‌ای به این

نشان دادند ۸ هفته تمرین هوازی به مدت ۳۰-۴۰ دقیقه با شدت متوسط باعث کاهش سطح گلوکز ناشتا، انسولین ناشتا و شاخص مقاومت به انسولین در زنان میانسال مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود [۳۲]. دریاوش و همکاران نیز طی مطالعه‌ای به این نتیجه رسیدند که تمرینات هوازی موجب کاهش مقاومت به انسولین، انسولین سرم و گلوکز در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود [۳۳]. افشون‌پور و همکاران بیان داشتند که تمرین هوازی تداومی با شدت های کم و متوسط موجب کنترل قند خون و بهبود مقاومت به انسولین در مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود [۳۴]. Jorge و همکاران نیز در مطالعه خود بر روی ۴۸ بیمار مبتلا به دیابت نوع ۲ دریافتند که ۱۲ هفته تمرین هوازی باعث کاهش گلوکز ناشتا پلاسما، گلوکز پلاسما پس از غذا، مقاومت به انسولین و HbA1c می‌شود [۳۵]. با توجه به نتایج مطالعات مختلف به نظر می‌رسد تمرینات هوازی از طریق سازوکارهای مختلفی باعث بهبود شاخص‌های مرتبط با دیابت نوع ۲ می‌شود. مطالعات متعدد نشان داده‌اند تمرینات هوازی می‌تواند با کاهش درصد چربی مقادیر HbA1c را تا ۶۶ درصد کاهش دهد و باعث بهبود گلوکز خون در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ شود [۲۸]. همچنین نشان داده است که تمرینات هوازی باعث بهبود مصرف اکسیژن می‌شود و می‌تواند در کاهش گلوکز خون و HbA1c موثر

باشد [۲۹، ۳۶]. تمرینات هوازی می‌تواند با افزایش پیام رسانی پس‌گیرنده‌ای انسولین [۳۲]. افزایش بیان ژن GLUT-4 [۳۷]. افزایش فعالیت گلیکوژن سنتتاز و هگزوکیناز [۳۸]. کاهش رهایی و افزایش پاکسازی اسیدهای چرب آزاد، افزایش رهایی گلوکز از خون به عضله به علت افزایش مویرگ‌های عضلانی و تغییر در ترکیب عضله به منظور برداشت گلوکز [۳۹] باعث بهبود شاخص‌های حساسیت به انسولین، مقاومت به انسولین و گلوکز ناشتا در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ شود. همچنین به نظر می‌رسد تمرینات هوازی با ایجاد تغییرات بیوشیمیایی ویژه خود در عضلات، افزایش تراکم مویرگی و افزایش آنزیم های اکسیداتیو می‌تواند فرآیند حمل و متابولیسم گلوکز را بهبود بخشد و ظرفیت اتصال انسولین به گیرنده‌های سلول عضلانی را افزایش دهد که در نتیجه نیاز به انسولین کاهش می‌یابد [۲۷]. بر این اساس تمرینات هوازی با افزایش ظرفیت میتوکندریایی و بهبود مصرف اکسیژن ضمن افزایش سوخت‌وساز چربی منجر به کاهش HbA1c و گلوکز خون شده و از طرفی این نوع تمرینات با افزایش انتقال GLUT-4 به سطح غشاء و افزایش فعالیت گلیکوژن سنتتاز و هگزوکیناز باعث کاهش مقاومت به انسولین و کاهش گلوکز ناشتا در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود (جدول ۲).

جدول ۲- خلاصه ای از مطالعات درباره تاثیر تمرینات هوازی بر شاخص های مرتبط با دیابت نوع ۲

محققین (سال)	عنوان مقاله	آزمودنی ها	نوع و مدت فعالیت ورزشی	نتایج
مومنی و همکاران [۲۰۱۹] (۲۰۱۹)	تأثیر تمرین هوازی بر گلوکز، انسولین ناشتای خون و مقاومت به انسولین مردان دیابتی نوع ۲	۲۸ مرد مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۲ گروه تمرین هوازی (۱۴) و کنترل (۱۴)	تمرین هوازی با شدت ۶۰-۷۰ درصد ضربان قلب بیشینه به مدت ۸ هفته	انجام تمرین هوازی باعث کاهش گلوکز، انسولین ناشتا و مقاومت به انسولین در گروه تمرین شد
Kadoglou و همکاران [۲۰۱۲] (۲۰۱۲)	تاثیر تمرینات هوازی بر آدیپوکلین‌های جدید، آپلین و گرلین در بیماران دیابتی نوع ۲	۵۴ بیمار (زن و مرد) مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۲ گروه تمرین (۲۷) و کنترل (۲۷)	تمرین هوازی با شدت ۶۰-۷۵ درصد حداکثر ضربان قلب به مدت ۱۲ هفته	انجام تمرین هوازی باعث کاهش آدیپوکلین ها و مقاومت به انسولین، انسولین و HbA1c شد
شاکریان و همکاران [۲۰۱۶] (۲۰۱۶)	تاثیر هشت هفته تمرین متناوب هوازی بر هموگلوبین گلیکوزیله و شاخص مقاومت به انسولین در زنان مبتلا به دیابت قندی نوع ۲	۳۰ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۲ گروه تمرین (۱۵) و کنترل (۱۵)	تمرین هوازی با شدت ۶۵-۸۰ درصد حداکثر توان به مدت ۸ هفته	تمرین هوازی باعث کاهش انسولین سرم و مقاومت به انسولین شد اما بر روی HbA1c و گلوکز ناشتا تاثیری نداشت
Aly و همکاران [۲۰۱۵] (۲۰۱۵)	پاسخ آدیپونکتین به تمرین هوازی تحت نظارت در بیماران دیابتی نوع II	۳۵ مرد مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۲ گروه تمرین (۱۷) و کنترل (۱۸)	تمرین هوازی با شدت ۶۵-۷۵ درصد حداکثر ضربان قلب به مدت ۱۲ هفته	تمرین هوازی باعث کاهش گلوکز ناشتا، HbA1c، انسولین ناشتا، و مقاومت به انسولین شد
مردانی و همکاران [۲۰۲۲] (۲۰۲۲)	تاثیر تمرین هوازی با شدت متوسط بر آیریزین و شاخص مقاومت به انسولین زنان مبتلا به دیابت نوع ۲	۲۴ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در دو گروه تمرین (۱۲) و کنترل (۱۲)	تمرین هوازی با شدت ۴۵-۸۵ درصد ضربان قلب بیشینه به مدت ۸ هفته	انجام تمرین هوازی باعث کاهش مقاومت به انسولین، گلوکز ناشتا، انسولین ناشتا شد

تمرین هوازی باعث بهبود در شاخص های مقاومت به انسولین، گلوکز خون ناشتا، قند خون و انسولین پلاسما شد	تمرین هوازی با شدت متوسط افزایشی به مدت ۲۵ هفته	۱۰۲ بیمار (مرد و زن) مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۲ گروه تمرین (۵۱) و کنترل (۵۱)	تأثیر برنامه تمرینی هوازی ساختاریافته نظارت شده بر سطح گلوکز خون ناشتا، سطح انسولین پلاسما، کنترل قند خون و مقاومت به انسولین در دیابت نوع ۲	Shakil و همکاران [۳۱] (۲۰۱۷)
تمرین هوازی باعث کاهش گلوکز ناشتا، انسولین ناشتا و شاخص مقاومت به انسولین شد	تمرین هوازی با شدت ۶۰-۷۵ درصد ضربان قلب بیشینه به مدت ۸ هفته	۲۰ زن میانسال در دو گروه تمرین (۱۰) و کنترل (۱۰)	اثر ۸ هفته تمرین هوازی بر شاخص عملکرد سلول‌های بنای پانکراس و مقاومت به انسولین زنان میانسال مبتلا به دیابت نوع ۲	امیدی و همکاران [۳۲] (۲۰۱۸)
تمرین هوازی باعث کاهش مقاومت به انسولین شد اما تاثیری بر گلوکز سرم و انسولین سرم نداشت	تمرین هوازی با شدت ۴۰-۵۰ درصد حداکثر ضربان قلب به مدت ۸ هفته	۴۴ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۴ گروه	اثر تمرینات ورزشی هوازی و مکمل آلفالیپوئیک اسید بر میزان مقاومت به انسولین در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲	دریانوش و همکاران [۳۳] (۲۰۱۵)
تمرین هوازی باعث کاهش گلوکز خون، انسولین خون و شاخص مقاومت به انسولین شد	تمرین هوازی با شدت ۴۰-۷۰ درصد حداکثر ضربان قلب به مدت ۸ هفته	۲۴ مرد مبتلا به دیابت نوع ۲ در دو گروه ۱۲ نفری	تأثیر تمرین هوازی بر غلظت آلبین و مقاومت به انسولین در مردان مبتلا به دیابت نوع ۲	افشون پور و همکاران (۲۰۱۶) [۳۴]
تمرین هوازی باعث کاهش انسولین گلوکز، مقاومت به انسولین و Hba1c شد	تمرین هوازی با شدت متوسط به مدت ۱۲ هفته	۴۸ بیمار مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۴ گروه ۱۲ نفری	تأثیر ورزش‌های هوازی بر کنترل متابولیک، نشانگرهای التهابی، آدیپوسیتوگین ها و سیگنال‌دهی انسولین عضلانی در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲	Jorge و همکاران [۳۵] (۲۰۱۱)

تمرینات مقاومتی

از آنجا که عضه اسکلتی، محل اصلی برداشت گلوکز در حالت طبیعی است، تمرینات مقاومتی با انقباض‌های عضلانی، تأثیرات شبه انسولینی بر برداشت گلوکز در عضله اسکلتی دارند، بنابراین می‌توان فرض کرد که افزایش توده عضلانی، روش موثری در بهبود شاخص‌های مرتبط با بیماری دیابت نوع ۲ است. در همین راستا Jorge و همکاران در مطالعه خود بر روی ۴۸ بیمار مبتلا به دیابت نوع ۲ دریافتند که ۱۲ هفته تمرین مقاومتی تأثیر معناداری بر کاهش گلوکز ناشتا پلاسما، گلوکز پلاسما پس از غذا، مقاومت به انسولین و Hba1c دارد [۳۵]. Egger و همکاران نیز در مطالعه‌ای نشان دادند ۸ هفته تمرین مقاومتی با شدت ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه باعث بهبود سطوح گلوکز و Hba1c در ۳۲ مرد و زن مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود [۴۰]. نظری و همکاران طی مطالعه‌ای بیان داشتند که تمرینات مقاومتی با شدت ۴۰ تا ۶۵ درصد یک تکرار بیشینه سبب کاهش Hba1c در ۲۰ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌گردد اما تأثیر معناداری بر قند خون ناشتا ندارد [۴۱]. افشون پور و همکاران در مطالعه‌ای این نتیجه رسیدند که انجام تمرینات مقاومتی به مدت ۸ هفته و با شدت ۳۰ تا ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه باعث کاهش انسولین، گلوکز خون، هموگلوبین گلیکوزیله و شاخص مقاومت به انسولین در مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود [۴۲]. Church و همکاران نیز در مطالعه‌ای نشان دادند انجام تمرینات مقاومتی باعث بهبود Hba1c، قند خون ناشتا و انسولین ناشتا در

زنان و مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ شده است [۴۳]. Bacchi و همکاران طی مطالعه‌ای اظهار داشتند که تمرینات مقاومتی باعث بهبود Hba1c، گلوکز ناشتا و حساسیت به انسولین می‌شود [۴۴]. تاجی طبس و همکاران نیز در مطالعه‌ای نشان دادند تمرینات مقاومتی باعث کاهش معنادار گلوکز و مقاومت به انسولین در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود اما در مقادیر انسولین تأثیر معناداری ندارد [۴۵]. میری و همکاران در مطالعه‌ای به این نتیجه رسیدند که تمرینات مقاومتی تأثیر معناداری بر بهبود Hba1c مردان به دیابت نوع ۲ دارد [۴۶]. رضانی و همکاران نیز در مطالعه‌ای نشان دادند این نوع تمرینات باعث بهبود HOMA-IR، گلوکز ناشتا و انسولین در مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود [۴۷]. در مطالعه‌ای دیگر صمد پور و همکاران بیان داشتند تمرینات مقاومتی تأثیر معناداری بر بهبود هموگلوبین گلیکوزیله و قندخون ناشتا در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ دارد [۴۸]. حدود ۴۰ درصد از وزن بدن را عضلات اسکلتی دربرمی‌گیرد و به عنوان اولین محل برداشت گلوکز توسط تحریک انسولین به شمار می‌رود. از طرفی به نظر می‌رسد تمرینات مقاومتی موجب افزایش تحویل گلوکز به عضلات در حال انقباض افراد مبتلا به دیابت شده که این تغییرات وابسته به تغییرات سیگنال‌های انسولینی و مرتبط با افزایش محتویات پروتئین انتقال دهنده‌های گلوکز نوع ۴ (GLUT4) می‌باشند [۴۹]. همچنین تمرینات مقاومتی از گلیکوژن به عنوان منبع انرژی استفاده کرده و لاکتات تولید می‌کنند. این نوع تمرینات با افزایش توده و قدرت عضلانی باعث

افزایش حساسیت انسولینی و کنترل بهتر گلاسیمیک می‌شوند [۵۰]. از طرفی، کاهش مقادیر انسولین در افرادی که تمرینات مقاومتی انجام می‌دهند، بیان‌گر کاهش انسولین جبرانی می‌باشد و نشان می‌دهد تمرین ممکن است با ساز و کارهای ویژه‌ای سبب کاهش انسولین شود. به‌نظر می‌رسد تمرین ورزشی با افزایش بیان سوپسترای گیرنده انسولینی و افزایش مسیر PI3K و MAPK باعث کاهش انسولین گردد [۵۱]. از سوی دیگر به نظر می‌رسد ظرفیت عملکردی عضلات با افزایش حجم عضلانی پس از تمرینات مقاومتی افزایش پیدا می‌کند و همین عامل سبب افزایش حساسیت

به انسولین در عضله اسکلتی می‌گردد. همچنین تمرینات مقاومتی، AMPK را به طور قابل توجهی فعال کرده و Intramyocellular triacylglycerol (IMTG) را نیز افزایش می‌دهد [۵۲]. در همین راستا، بر اساس نتایج مطالعات هایپر تروفی، فیبرهای عضلانی هم از اهمیت بالایی برخوردارند؛ زیرا تارهای عضلانی حساس به انسولین، حاوی ظرفیت اکسیداتیو و میتوکندری بیشتر و تراکم مویرگی بالاتری هستند و در نتیجه هایپر تروفی عضله در اثر تمرینات مقاومتی باعث افزایش حساسیت به انسولین در کل بدن می‌شود [۵۳] (جدول ۳).

جدول ۳- خلاصه‌ای از مطالعات درباره تاثیر تمرینات مقاومتی بر شاخص‌های مرتبط با دیابت نوع ۲

محققین (سال)	عنوان مقاله	آزمودنی‌ها	نوع و مدت فعالیت ورزشی	نتایج
Jorge و همکاران (۲۰۱۱) [۳۵]	تاثیر انواع فعالیت ورزشی بر کنترل متابولیک، نشانگرهای التهابی، آدیپوسیتوکین‌ها و سیگنال دهی انسولین عضلانی در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲	۴۸ بیمار مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۴ گروه ۱۲ نفری	تمرین مقاومتی با شدت متوسط به مدت ۱۲ هفته	تمرین مقاومتی باعث کاهش انسولین گلوکز، مقاومت به انسولین و HbA1c شد
Egger و همکاران (۲۰۱۲) [۴۰]	انواع مختلف تمرین مقاومتی در دیابت نوع ۲: تأثیر بر کنترل قند خون، توده عضلانی و قدرت	۳۲ نفر (۱۳ مرد و ۱۹ زن) مبتلا به دیابت نوع ۲ در دو گروه تمرین	تمرین مقاومتی با شدت های ۴۰ درصد و ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه به مدت ۸ هفته	هر دوشدت تمرین مقاومتی باعث کاهش گلوکز شدند اما بر HbA1c اثری نداشتند
نظری و همکاران (۲۰۱۵) [۴۱]	اثر یک دوره تمرینات مقاومتی دایره ای بر اجزای سندرم متابولیک در بیماران زن مبتلا به دیابت نوع ۲	۲۰ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۲ گروه تمرین و کنترل	تمرین مقاومتی با شدت ۴۰-۶۵ درصد یک تکرار بیشینه به مدت ۸ هفته	تمرین مقاومتی باعث کاهش HbA1c شد اما تاثیری بر قند خون ناشنا نداشت
افشون پور و همکاران (۲۰۱۵) [۴۲]	تأثیر ۸ هفته تمرین مقاومتی دایره ای بر غلظت رزیستین پلاسما و مقاومت به اوسولیه در مردان مبتلا به دیابت نوع ۲	۲۴ مرد مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۲ گروه تمرین (۱۵) و کنترل (۱۲)	تمرین مقاومتی به روش دایره‌ای با شدت ۳۰-۷۰ درصد یک تکرار بیشینه به مدت ۸ هفته	تمرین مقاومتی باعث کاهش معنادار انسولین گلوکز خون، HbA1c و شاخص مقاومت به انسولین شد
Church و همکاران (۲۰۱۰) [۴۳]	تأثیر تمرینات هوازی و مقاومتی بر سطح هموگلوبین A1c در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲	۲۶۲ نفر مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۴ گروه	تمرین مقاومتی با شدت ۵۰-۸۰ درصد یک تکرار بیشینه به مدت ۹ ماه	تمرینات مقاومتی باعث بهبود HbA1c، قند خون ناشنا و انسولین ناشنا شد
Bacchi و همکاران (۲۰۱۲) [۴۴]	اثرات متابولیک تمرین هوازی و تمرین مقاومتی در افراد دیابتی نوع ۲	۴۰ نفر مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۲ گروه تمرین هوازی و مقاومتی	تمرین مقاومتی با شدت ۶۰-۶۵ درصد یک تکرار بیشینه به مدت ۴ ماه	تمرینات مقاومتی همانند تمرینات هوازی باعث بهبود HbA1c، گلوکز ناشنا و حساسیت به انسولین می‌شود
تاجی طبس و همکاران (۲۰۱۵) [۴۵]	تأثیر ۱۰ هفته تمرین مقاومتی بر سطوح سرمی نفستاتین و اخص مقاومت به انسولین در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲	۱۸ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۲ گروه تمرین (۱۰) و کنترل (۸)	تمرین مقاومتی با شدت ۳۰-۸۰ درصد تکرار بیشینه به مدت ۱۰ هفته	کاهش سطوح گلوکز و مقاومت به انسولین شد اما در مقادیر انسولین تغییری نداشت
میری و همکاران (۲۰۲۱) [۴۶]	تأثیر تمرین مقاومتی بر سلامت عمومی، شادکامی و رابطه آن با کنترل گالیسمیک در مردان دیابتی مبتلا به نوروپاتی محیطی	۳۰ مرد مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۲ گروه تمرین و کنترل	تمرین مقاومتی با شدت ۵۰-۶۰ درصد یک تکرار بیشینه به مدت ۱۲ هفته	تمرینات مقاومتی تاثیر معناداری بر بهبود HbA1c مبتلایان به دیابت نوع ۲

رضانی و همکاران [۲۰۲۱] (۴۷)	تاثیر تمرین مقاومتی بر پرتین و شاخص مقاومت به انسولین مردان مبتلا به دیابت نوع ۲	۲۴ مرد مبتلا به دیابت نوع ۲ در دو گروه تمرین و کنترل	تمرین مقاومتی با شدت ۶۰-۸۰ درصد یک تکرار بیشینه به مدت ۸ هفته	تمرینات مقاومتی باعث بهبود HOMA-IR، گلوکز ناشتا و انسولین شد
صمدپور و همکاران [۲۰۲۲] (۴۸)	تأثیر ۸ هفته تمرین مقاومتی برای کل بدن بر شاخصهای گلیسمیک زنان دیابتی نوع ۲	۴۰ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۴ گروه	تمرین مقاومتی با شدت ۷۰-۸۰ درصد یک تکرار بیشینه به مدت ۸ هفته	تمرین مقاومتی باعث کاهش هموگلوبین گلیکوزیله و قند خون ناشتا شد

تمرینات ترکیبی

تمرینات ترکیبی تمریناتی هستند که از چندین گروه عضلانی استفاده می‌کنند و به حرکت مفاصل متعدد نیاز دارند که امروزه جزء مهمی از برنامه‌های ورزشی شده‌اند و تحقیقاتی نیز اثربخشی تمرینات ترکیبی در بزرگسالان را تایید کرده‌اند. همچنین نشان داده شده این تمرینات می‌تواند باعث بهبود شاخص‌های مرتبط با ابتلا به دیابت نوع ۲ گردد [۴۴]. در همین راستا Jorge و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی و مقایسه تمرینات مختلف ورزشی پرداختند که نشان دادند تمرینات ترکیبی همانند مقاومتی و هوازی به تنهایی تاثیر معناداری بر کاهش قند خون ناشتا، HbA1c و مقاومت به انسولین در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ دارد. این در حالی است که نشان داده شده این نوع تمرینات تاثیر بیشتری بر افزایش IRS1 دارد [۳۵]. Spark و همکاران در مطالعه‌ای به این نتیجه رسیدند که تمرینات ترکیبی (مقاومتی-هوازی) تاثیر بیشتری نسبت به تمرینات مقاومتی و هوازی به تنهایی در کاهش شاخص HbA1c در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ دارد [۵۴]. شریفی و همکاران، در مطالعه‌ای بر روی تاثیر دو نوع تمرین ترکیبی با شدت‌های بالا و متوسط به این نتیجه رسیدند انجام این نوع تمرینات تاثیر معناداری بر بهبود HbA1c و مقاومت به انسولین در هر دو شدت تمرینی دارد [۵۵]. در مطالعه‌ای دیگر زمان پور و همکاران نیز نشان دادند تمرینات ترکیبی (مقاومتی و هوازی) تاثیر معناداری بر بهبود گلوکز ناشتا، انسولین و مقاومت به انسولین در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ دارد [۵۶]. بازیار و همکاران بیان داشتند که تمرینات ترکیبی تاثیر معناداری بر کاهش انسولین ناشتا و مقاومت به انسولین در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ دارد اما اثری بر کاهش قند خون ناشتا ندارد [۵۷]. عابدی و همکاران نیز در مطالعه خود نشان دادند تمرینات ترکیبی تاثیر معناداری بر کاهش مقاومت به انسولین در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ دارد اما بر گلوکز ناشتا اثرگذار نیست [۱۶]. نصیری و همکاران نیز اظهار داشتند که تمرینات ترکیبی باعث بهبود HOMA-IR، انسولین سرم و گلوکز ناشتا در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ و دارای اضافه وزن می‌شود [۵۸]. انتشاری و همکاران در مطالعه‌ای به این نتیجه رسیدند که انجام تمرینات ترکیبی با

شدت‌های شدید و متوسط منجر به کاهش شاخص‌های قند خون خون ناشتا، HbA1c و مقاومت به انسولین در ۲۶ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود اما تفاوت بین شدت‌های مختلف در این شاخص‌ها وجود ندارد [۵۹]. نصیری و همکاران نیز در مطالعه خود نشان دادند تمرینات ترکیبی (هوازی-مقاومتی) به مدت ۸ هفته تاثیر معناداری بر کاهش گلوکز خون، مقاومت به انسولین و هموگلوبین A1c در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ دارد [۶۰]. Koroni و همکاران بیان داشتند که ۸ هفته تمرین ترکیبی باعث بهبود سطوح سرمی گلوکز ناشتا، انسولین و شاخص مقاومت به انسولین در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود [۶۱]. قدرتی و همکاران نیز در مطالعه خود بیان کردند که تمرینات ترکیبی تاثیر معناداری بر بهبود شاخص مقاومت به انسولین، گلوکز و انسولین ناشتا و HbA1c در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ دارد [۶۲]. مکانیسم سلولی اصلی مسئول حساسیت به انسولین در تمرینات ترکیبی مشخص نیست، اما ممکن است بیش از یک عامل در آن دخیل باشد [۶۳]. حتی یک جلسه تمرینات ترکیبی حساسیت انسولینی یا تحمل گلوکز خوراکی را بهبود می‌بخشد [۶۴]. اثر حاد ورزش بر افزایش حساسیت عضله اسکلتی به انسولین مربوط به فعال شدن سیستم ناقل گلوکز عضله اسکلتی، تخلیه گلیکوژن عضله و افزایش جریان خون عضله اسکلتی است [۶۴]. بر اساس نتایج مطالعات، تنظیم گلوکز توسط تجمیع اثرات جلسات متوالی ورزش اعمال می‌شود؛ انجام تمرینات ورزشی ترکیبی در طول زمان با پاسخ سازگاری ساختاری توأم است [۱۳، ۶۴]. بنابراین مکانیسم احتمالی تأثیر تمرینات ترکیبی بر حساسیت به انسولین به این صورت است که از یک سو، انجام تمرینات مقاومتی با افزایش توده عضله اسکلتی همراه است و ذخیره گلوکز کل بدن را افزایش می‌دهد، از سوی دیگر تمرینات هوازی بر کاهش توده چربی و بهبود ترکیب بدن اثرگذار است؛ بنابراین انجام تمرینات ترکیبی به مراتب از انجام هر کدام از تمرینات به صورت جداگانه، تاثیر بیشتری بر شاخص‌های مرتبط با دیابت نوع ۲ و حساسیت به انسولین دارد (شکل ۲) (جدول ۴).

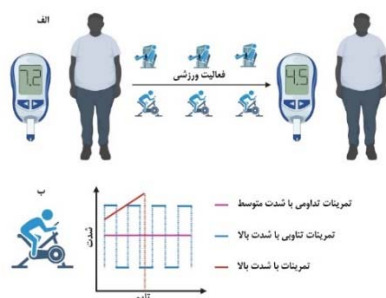
جدول ۴- خلاصه ای از مطالعات درباره تاثیر تمرینات ترکیبی بر شاخص های مرتبط با دیابت نوع ۲

محققین (سال)	عنوان مقاله	آزمودنی ها	نوع و مدت فعالیت ورزشی	نتایج
Jorge و همکاران (۲۰۱۱) [۳۵]	تاثیر انواع فعالیت ورزشی بر کنترل متابولیک، نشانگرهای التهابی، آدیپوسیتوکین ها و سیگنال دهی انسولین عضلانی در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲	۴۸ بیمار مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۴ گروه ۱۲ نفری	تمرین ترکیبی (مقاومتی، هوازی) با شدت متوسط به مدت ۱۲ هفته	تمرینات ترکیبی همانند مقاومتی و هوازی باعث کاهش قند خون ناشتا، HbA1c و مقاومت به انسولین در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ دارد. این در حالی است که این نوع تمرینات تاثیر بیشتری بر افزایش IRS1 دارد
Spark و همکاران (۲۰۱۲) [۵۴]	تاثیر تمرینات ترکیبی بر متابولیسم اسکلتی افراد مبتلا به دیابت نوع ۲	۵۲ بیمار مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۴ گروه تمرین هوازی (۱۲)، مقاومتی (۱۸)، ترکیبی (۱۲) و کنترل (۱۰)	تمرین هوازی با شدت ۵۰ تا ۸۰ درصد حداکثر ضربان قلب و مقاومتی با شدت ۴۵-۵۰ درصد یک تکرار پیشینه به مدت ۹ ماه	تمرینات ترکیبی باعث بهبود بیشتر شاخص‌های متابولیکی می شود و به عنوان روش درمان موثر تر در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ است
شریفی و همکاران (۲۰۱۷) [۵۵]	اثر تمرینات ترکیبی (مقاومتی-تناوبی) بر پروتئین شوک حرارتی ۷۰ و کنترل قند خون در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲	۲۴ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در سه گروه تمرین ترکیبی با شدت بالا، تمرین ترکیبی با شدت متوسط و کنترل	تمرین ترکیبی با شدت بالا ۷۰-۵۰ درصد یک تکرار پیشینه و حداکثر ضربان قلب	انجام تمرینات ترکیبی با شدت های مختلف باعث کاهش مقاومت به انسولین و HbA1c شد
زمان پور و همکاران (۲۰۱۶) [۵۶]	تاثیر تمرین ترکیبی (هوازی-قدرتی) بر شاخص‌های التهابی و مقاومت به انسولین زنان مبتلا به دیابت نوع ۲	۵۲ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۳ گروه ترکیبی (۱۷)، سرعتی (۱۷) و کنترل (۱۷)	تمرین ترکیبی با شدت ۶۰ درصد حداکثر ضربان قلب و ۷۰ درصد یک تکرار پیشینه به مدت ۱۲ هفته	تمرینات ترکیبی باعث کاهش گلوکز ناشتا شد. اما تمرینات سرعتی نسبت به تمرینات ترکیبی باعث کاهش بیشتر انسولین و مقاومت به انسولین شد
بازیار و همکاران (۲۰۱۶) [۵۷]	اثر تمرینات تناوبی شدید و ترکیبی بر شاخص های متابولیکی زنان مبتلا به دیابت نوع ۲	۵۲ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۳ گروه ترکیبی (۱۷) تناوبی شدید (۱۷) و کنترل (۱۸)	تمرینات ترکیبی با شدت ۶۰ درصد حداکثر ضربان قلب و ۷۰ درصد یک تکرار پیشینه به مدت ۸ هفته	تمرینات ترکیبی باعث بهبود بیشتر مقاومت به انسولین و انسولین ناشتا نسبت به تمرینات تناوبی شدید شد
عابدی و همکاران (۲۰۱۶) [۱۶]	مقایسه تمرینات سرعتی شدید و ترکیبی بر (هوازی-قدرتی) آدیپونکتین و مقاومت به انسولین زنان مبتلا به دیابت نوع ۲	۵۲ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۳ گروه تمرین ترکیبی (۱۷)، سرعتی (۱۷) و کنترل (۱۸)	تمرینات ترکیبی به صورت موازی تمرینات هوازی و مقاومتی با شدت متوسط به مدت ۸ هفته	تمرینات ترکیبی باعث کاهش مقاومت به انسولین شد. اما تمرینات سرعتی تاثیر بیشتری بر کاهش گلوکز ناشتا داشت
نصیری و همکاران (۲۰۱۸) [۵۸]	مقایسه دو شیوه تمرین سرعتی و ترکیبی (هوازی-مقاومتی) بر سطوح آپلین و مقاومت به انسولین زنان دیابتی نوع ۲	۵۲ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۳ گروه تمرین سرعتی (۱۷)، ترکیبی (۱۷) و کنترل (۱۸)	تمرینات ترکیبی با شدت ۷۰-۶۰ درصد ضربان قلب و ۱۵-۱۰ درصد یک تکرار پیشینه	تمرینات ترکیبی باعث کاهش انسولین سرم و مقاومت به انسولین شد. اما تاثیری بر گلوکز ناشتا نداشت
انتشاری و همکاران (۲۰۱۸) [۵۹]	اثر تمرین ترکیبی با شدت های مختلف بر سطح ایریزین و شاخص های گلیسمیک زنان دیابتی نوع ۲	۲۶ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در دو گروه تمرین ترکیبی شدید و متوسط	تمرین هوازی شدید با شدت ۷۰-۸۹ درصد و متوسط با ۵۵-۶۹ درصد حداکثر ضربان قلب و تمرین مقاومتی با مقاومت کش تعیین شد	تمرینات ترکیبی با هر دو شدت باعث کاهش قند خون ناشتا HbA1c و مقاومت به انسولین و افزایش ایریزین شد

تمرینات ترکیبی باعث کاهش قند خون ناشتا، Hba1c و مقاومت به انسولین شد	تمرینات ترکیبی با شدت ۷۰-۶۰ درصد ضربان قلب و ۱۵-۱۰ درصد یک تکرار بیشینه	۲۸ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۲ گروه تمرین و کنترل	اثر تمرینات ترکیبی (هوازی-مقاومتی) بر تغییرات قند خون زنان مبتلا به دیابت نوع ۲	نصیری و همکاران [۶۰] (۲۰۱۷)
تمرینات ترکیبی محرک مناسب تری برای کاهش شاخص‌های مرتبط با دیابت نوع ۲ می باشد	تمرینات ترکیبی با شدت ۶۰ درصد حداکثر ضربان قلب و ۶۰ درصد یک تکرار بیشینه	۶۰ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۴ گروه استقامتی، مقاومتی، ترکیبی و کنترل	اثر تمرینات استقامتی، مقاومتی و ترکیبی بر نسفتین ۱ و شاخص مقاومت به انسولین زنان مبتلا به دیابت نوع ۲	کرونی و همکاران [۶۱] (۲۰۲۲)
تمرینات ترکیبی باعث بهبود شاخص مقاومت به انسولین، گلوکز و انسولین ناشتا و Hba1c شد	تمرینات ترکیبی هوازی و مقاومتی با شدت متوسط به مدت ۱۲ هفته	۲۱ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۲ گروه تمرین (۱۲) و کنترل (۹)	اثر تمرینات ترکیبی بر عملکرد جسمی زنان مبتلا به دیابت نوع ۲	قدرتی و همکاران [۶۲] (۲۰۲۲)

بحث

متابولیسم گلوکز و چربی در عضلات اسکلتی می‌گردد [۷۰]. به طور کلی با توجه به اینکه عضلات اسکلتی بیشترین سهم را در ایجاد مقاومت به انسولین کل بدن دارد، تمرینات ورزشی می‌تواند متابولیسم گلوکز، چربی و حساسیت به انسولین را بهبود بخشد. مطالعات نشان می‌دهند پیام‌دهی انسولین و فعالیت PI3K در عضله اسکلتی افراد دارای اضافه وزن و دیابت نوع ۲ کاهش می‌یابد. در واقع سوبسترای گیرنده انسولین و نیز PI3K بعد از تمرینات ورزشی افزایش می‌یابد که باعث بهبود جذب گلوکز القاء شده توسط انسولین می‌شود. همچنین، افزایش AMPK سازوکار دیگری است که تمرینات ورزشی به واسطه آن حساسیت به انسولین را بهبود می‌بخشد. از سویی، افزایش AMPK ناشی از فعالیت ورزشی از طریق اجزای انتهایی آبشار سیگنالی انسولین یعنی مسیر سیگنالی AKT/AS60 و بیان پروتئین GLUT4 و انتقال آن به غشای پلاسمایی در عضله اسکلتی، منجر به ورود گلوکز به داخل سلول و مصرف آن می‌شود [۱۷] (شکل ۳).



شکل ۲- فعالیت ورزشی، حساسیت به انسولین و کنترل قند خون در دیابت نوع ۲ [۷۱]

الف: تمرینات استقامتی منظم حساسیت به انسولین و کنترل قند خون را بهبود می‌بخشد و اغلب منجر به بهبود شاخص‌های دیابت نوع ۲ می‌شود. ب: تمرینات استقامتی یک اصطلاح کلی برای اشکال مختلف فعالیت ورزشی است که منجر به بهبود ظرفیت هوازی می‌شود. به - عنوان مثال تمرینات استقامتی شامل تمرینات تداومی با شدت متوسط است که در آن بار ثابت برای مدت زمان طولانی یعنی (۷۰-)

یکی از محورهای اصلی مدیریت و پیشگیری از بروز بیماری دیابت، فعالیت ورزشی است. مطالعات مختلف نشان داده که تمرینات ورزشی با افزایش مصرف انرژی و بهبود توده عضلانی باعث بهبود شاخص‌های مرتبط با دیابت نوع ۲ می‌شود [۶۵]. از طرفی مشخص شده که فعالیت‌های ورزشی از طریق مسیرهای سیگنالی مختلفی باعث بهبود شاخص‌های مرتبط با دیابت می‌شوند. یکی از این مسیرها بهبود ناقل وابسته به انسولین GLUT4 است که در تمامی مطالعات به آن اشاره شده است که بیان آن بیشتر در بافت چربی و عضلات اسکلتی می‌باشد. افزایش GLUT4، بیشتر از طریق فعالیت‌های بدنی و همچنین IRS (Insulin receptor substrate) که گیرنده انسولین است، منجر به ترشح بیشتر سطح انسولین و افزایش حجم عضلانی در بدن می‌گردد [۶۶]. همچنین افزایش Adenosine Monophosphate- activated Protein Kinase (AMPK) که به دنبال افزایش نسبت AMP/ATP فعال می‌شود در برداشت گلوکز، یک مسیر سیگنالی درون سلولی کلیدی محسوب می‌شود [۶۷]. یکی دیگر از مسیرهای سیگنالی که می‌توان برداشت گلوکز را به آن نسبت داد افزایش کالمودولین کیناز وابسته به کلسیم بر اثر فعالیت ورزشی و انقباضات عضلانی است [۶۸]. نتایج مطالعات نشان داده‌اند ۳ ساعت پس از فعالیت ورزشی، جایجایی GLUT4 افزایش داشته، که محققین مکانیسم موثر در افزایش GLUT4 را ناشی از فعالیت AMPK به عنوان فعال‌کننده ژن TBC1 domain family member 1 (TBC1D1) که در برداشت گلوکز موثر است عنوان کرده‌اند [۶۹]. یکی دیگر از مسیرهای مشخص شده مسیر فسفاتیدیل اینوزیتول کیناز ۳، protein kinase B (AKT)، mammalian target of rapamycin (PI3K) و Phosphoinositide 3-kinases است که منجر به افزایش توده عضلانی و قدرت عضلانی و در نتیجه هاپیروتروفی عضلانی می‌گردد. تغییر در افزایش توده و حجم عضلانی منجر به بهبود عملکرد

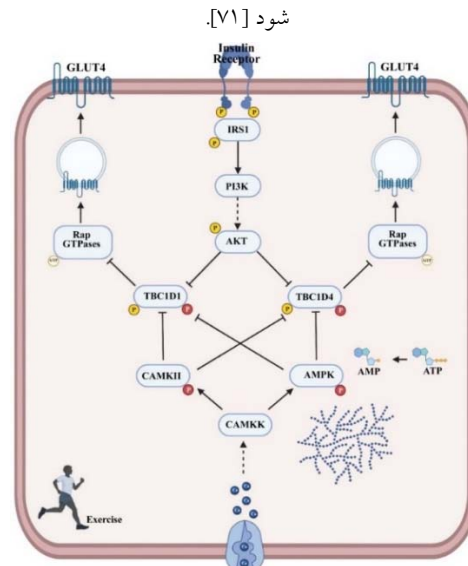
نتیجه گیری

بر اساس نتایج بدست آمده از مطالعات بررسی شده، انواع تمرینات ورزشی در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ به نحوی باعث بهبود شاخص‌های کنترل گلیسمیک از جمله (HbA1c)، (HOMA IR)، گلوکز ناشتا و انسولین سرم به شیوه وابسته به دوز (شدت، مدت و تواتر) می‌شود. همچنین تمرینات نوین همچون تمرینات تناوبی شدید (SIT, HIIT) و ترکیبی می‌تواند در بهبود شاخص‌های مرتبط با دیابت نوع ۲ موثر باشد. با این حال مطالعه حاضر نشان داد اثرات مفید تمرینات مقاومتی در مقایسه با تمرینات استقامتی می‌تواند برای زمان طولانی‌تری ماندگار باشد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از تمامی عزیزانی که در انجام تحقیق حاضر همکاری داشتند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

($Wmax > 50\%$) برای بیش از ۳۰ دقیقه، تمرینات تناوبی با شدت بالا، که در آن تمرینات به صورت شدید (یعنی $Wmax < 90\%$) با دوره‌های استراحت کم شدت (یعنی $Wmax > 50\%$) به صورت متناوب انجام می‌شود و تمرینات خسته‌کننده با شدت بالا، که در آن تمرینات با شدت بالا (یعنی بیش از $Wmax > 80\%$) برای زمان کوتاه انجام می‌شود [۷۱].



شکل ۳- خلاصه مسیر سیگنالینگ برداشت گلوکز از طریق فعالیت ورزشی و انسولین. فسفوزیدهای زرد نشان دهنده فسفوریلاسیون از طریق انسولین و قرمز فسفوریلاسیون از طریق فعالیت ورزشی است [۷۱]

References:

[1] Azari N, Rahmati M, Joneidi MSZ. The effects of endurance exercise on some related variables of type II diabetes: A Systematic Review and Meta-analysis of studies in the Iran. 2019.

[2] Mirzaei M, Lashkardoost H, Hamed A. Diabetes mellitus and quality of life: results of Yazd health study. *J Biostatistics Epidemiol* 2018; 4(4): 196-202.

[3] Perseh L, Peimani M, Ghasemi E, Nasli-Esfahani E, Rezaei N, Farzadfar F, et al. Inequalities in the prevalence, diagnosis awareness, treatment coverage and effective control of diabetes: a small area estimation analysis in Iran. *BMC Endocrine Disord* 2023; 23(1): 1-9.

[4] Dakani M, Fakhri M, Hasanazadeh R. The Effectiveness of Mindfulness-Based Cognitive Therapy on Anxiety Tolerance and Cognitive Flexibility in Patients with Type 2 Diabetes. *Iran J Diabetes Metab* 2021;21(3):186-97.

[5] Kour H, Kothiwale V, Goudar SS. Role of structured exercise therapy on cognitive markers and stress parameters in young patients with Type 2 diabetes mellitus. *Indian J Health Sci Biomedical Res (KLEU)* 2022; 15(1): 70.

[6] Kim KS, Park SW. Exercise and type 2 diabetes: ACSM and ADA joint position statement. *J Korean Diabetes* 2012;13(2):61-8.

[7] Khan MS. Exercise for the management of diabetes mellitus: a review of the evidence. *J Enam Med College* 2013;3(2):99-108.

[8] Knaga J, Buresh R. Personalizing Activity Recommendations for Individuals with Type 2 Diabetes. *ACSM's Health Fitness J* 2022; 26(6): 18-24.

[9] Lee J, Kim D, Kim C. Resistance training for glycemic control, muscular strength, and lean body mass in old type 2 diabetic patients: a meta-analysis. *Diabetes Therapy* 2017; 8(3): 459-73.

[10] Zhao RR, O'Sullivan AJ, Fiararone Singh MA. Exercise or physical activity and cognitive function in adults with type 2 diabetes, insulin resistance or impaired glucose tolerance: a systematic review. *Eur Review Aging Physical Activity* 2018; 15(1): 1-16.

[11] Barbosa A, Whiting S, Ding D, Brito J, Mendes R. Economic evaluation of physical activity interventions for type 2 diabetes management: a systematic review. *Eur J Public Health* 2022; 32(Supplement_1): i56-i66.

[12] Pan B, Ge L, Xun YQ, Chen YJ, Gao CY, Han X, et al. Exercise training modalities in patients with type 2 diabetes mellitus: a systematic review and network meta-analysis. *Int J Behav Nutr Physical Activity* 2018; 15(1): 1-14.

- [13] Hoseini R, Parvizi Mastali V. Effect of different exercise training on insulin sensitivity: A review article. *Feyz* 2021; 25(3): 935-45. [in Persian]
- [14] Zanuso S, Jimenez A, Pugliese G, Corigliano G, Balducci S. Exercise for the management of type 2 diabetes: a review of the evidence. *Acta Diabetologica* 2010; 47(1): 15-22.
- [15] Kleinert M, Parker BL, Jensen TE, Raun SH, Pham P, Han X, et al. Quantitative proteomic characterization of cellular pathways associated with altered insulin sensitivity in skeletal muscle following high-fat diet feeding and exercise training. *Sci Reports* 2018; 8(1): 1-11.
- [16] Abedi B, Okhovat E, Banitalebi E. Comparing the effects of intense sprint and combined aerobic-strength training on serum adiponectin level and insulin resistance among the women with type 2 diabetes. *Feyz* 2016;20(4):352-60. [in Persian]
- [17] Alizadeh L, Tofighi A, Azar JT. The Effect of Eight Weeks of High Intensity Interval Training (HIIT) on Serum Irisin, Fgf21 and Glycemic Indices in Type 2 Diabetic Women. *J Appl Health Studies Sport Physiol* 2019; 6(2): 17-24.
- [18] Madsen SM, Thorup AC, Overgaard K, Jeppesen PB. High intensity interval training improves glycaemic control and pancreatic β cell function of type 2 diabetes patients. *PLoS One* 2015; 10(8): e0133286.
- [19] Fex A, Leduc-Gaudet J-P, Filion M-E, Karelis AD, Aubertin-Leheudre M. Effect of elliptical high intensity interval training on metabolic risk factor in pre-and type 2 diabetes patients: A pilot study. *J Physical Activity Health* 2015; 12(7): 942-6.
- [20] Najafi M, Ghazaliyan F, Gaeini A, Abednatanzi H, Gholami M. Comparative effects of 12-week interval and continuous trainings on some vasodilation and vasoconstriction factors in patients with type 2 diabetes. 2021. 21;9(4):322-32.
- [21] Gibala MJ, Little JP, MacDonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J Physiol* 2012;590(5):1077-84.
- [22] Kazemzadeh Y, Banaeifar A, SHIRVANI H, Gharaat A. The effect of high intensity interval training HIIT on body composition, lipid profile and insulin sensitivity in overweight young men. 2016.
- [23] Whyte LJ, Gill JM, Cathcart AJ. Effect of 2 weeks of sprint interval training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men. *Metabolism* 2010; 59(10): 1421-8.
- [24] Durrer C, Robinson E, Wan Z, Martinez N, Hummel ML, Jenkins NT, et al. Differential impact of acute high-intensity exercise on circulating endothelial microparticles and insulin resistance between overweight/obese males and females. *PLoS One* 2015; 10(2): e0115860.
- [25] Za'don NHA, Kamal A, Ismail F, Othman S, Appukutty M, Salim N, et al. High-intensity interval training induced PGC-1 α and Adipor1 gene expressions and improved insulin sensitivity in obese individuals. *Med J Malaysia* 2019; 74(6): 461-7.
- [26] Arabmomeni A, Haji Hidari M. Comparing the Effects of Three Methods, Cinnamon Supplementation, Aerobic Exercise and Concurrent (Aerobic Exercise-Supplement) on Serum Glucose, Insulin and Insulin Resistance in Type 2 Diabetic Patients. *Med J Mashhad Univ Med Sci* 2019; 62(2): 1430-9.
- [27] Kadoglou NP, Vrabas IS, Kapelouzou A, Lampropoulos S, Sailer N, Kostakis A, et al. The impact of aerobic exercise training on novel adipokines, apelin and ghrelin, in patients with type 2 diabetes. *Medical science monitor: Int Med J Experimental Clin Res* 2012; 18(5): CR290.
- [28] Shakerian S, Ranjbar R. Effect of 8 weeks aerobic interval training on glycosylated hemoglobin and insulin resistance index in diabetic mellitus Type 2 women. *Horizon Med Sci* 2016; 22(2): 137-43.
- [29] Aly FA, Alghadir AH, Gabr SA. Adiponectin response to supervised aerobic training in type II diabetic patients. *Asian Biomedicine* 2014; 8(5): 597-602.
- [30] Mardani S, Binias SA, Ramezani S. The Effect of 8 Weeks of Continuous Aerobic Training on Serum Irisin Level and Insulin Resistance Index of Middle-Aged Women with Type 2 Diabetes. *Iran J Diabetes Metab* 2022; 22(2): 89-98.
- [31] Shakil-ur-Rehman S, Karimi H, Gillani SA. Effects of supervised structured aerobic exercise training program on fasting blood glucose level, plasma insulin level, glycemic control, and insulin resistance in type 2 diabetes mellitus. *Pakistan J Med Sci* 2017; 33(3): 576.
- [32] Omid M, Moghadasi M. Effect of 8 weeks aerobic training on pancreatic β -cells function and insulin resistance of female patients with type 2 diabetes. *Iran J Diabetes Metab* 2018; 17(2): 79-86.
- [33] Daryanoosh F, Shkibaie M, Zamanie A, Mohammadi M. Effect of aerobic exercise and alpha lipoic acid supplement on insulin resistance in females with type 2 diabetes. *J Gorgan Univ Med Sci* 2015; 17(3): 75-80.
- [34] Afshon Pour M, Habibi A, Ranjbar R. Effects of continuous aerobic exercise training on plasma concentration of apelin and insulin resistance in type 2 diabetic men. *Armaghane Danesh* 2016; 21(1): 57-70. [in Persian]
- [35] Jorge MLMP, de Oliveira VN, Resende NM, Paraiso LF, Calixto A, Diniz ALD, et al. The effects of aerobic, resistance, and combined exercise on metabolic control, inflammatory markers, adipocytokines, and muscle insulin signaling in patients with type 2 diabetes mellitus. *Metabolism* 2011; 60(9): 1244-52.
- [36] Ognjanovic S, Jacobs D, Steinberger J, Moran A, Sinaiko AR. Relation of chemokines to BMI and insulin resistance at ages 18–21. *Int J Obesity* 2013; 37(3): 420-3.

- [37] Mir MM, Mir R, Alghamdi MAA, Wani JI, Sabah ZU, Jeelani M, et al. Differential Association of Selected Adipocytokines, Adiponectin, Leptin, Resistin, Visfatin and Chemerin, with the Pathogenesis and Progression of Type 2 Diabetes Mellitus (T2DM) in the Asir Region of Saudi Arabia: A Case Control Study. *J Personalized Med* 2022; 12(5): 735.
- [38] Hosseini F, Abdollahpur N, Bahrami Abdehghah E. Effect of eight weeks high intensity aerobic exercise on C-reactive protein levels in obese middle-aged men. *J Physical Activity Hormones* 2019; 2(4): 15-26.
- [39] Franklin BA, Quindry JC. Biochemistry of exercise training and mitigation of cardiovascular disease. The Routledge Handbook on Biochemistry of Exercise: Routledge; 2020. p. 455-78.
- [40] Egger A, Niederseer D, Diem G, Finkenzerler T, Ledl-Kurkowski E, Forstner R, et al. Different types of resistance training in type 2 diabetes mellitus: effects on glycaemic control, muscle mass and strength. *Eur J Preventive Cardiol* 2013; 20(6): 1051-60.
- [41] Nazari M, Gholamrezaei S, Shabani R. Effect of a period circuit resistance training on components of the metabolic syndrome in females with type II diabetes. 2015.
- [42] AfshounPour M, Davoodi Z, Habibi H, Ranjbar R, Shakerian S. The effect of circuit resistance exercise on plasma resistin concentration and insulin resistance in type 2 diabetic men. *SSU_J* 2015; 23(8): 770-81.
- [43] Church TS, Blair SN, Cocreham S, Johannsen N, Johnson W, Kramer K, et al. Effects of aerobic and resistance training on hemoglobin A1c levels in patients with type 2 diabetes: a randomized controlled trial. *Jama* 2010; 304(20): 2253-62.
- [44] Bacchi E, Negri C, Zanolin ME, Milanese C, Faccioli N, Trombetta M, et al. Metabolic effects of aerobic training and resistance training in type 2 diabetic subjects: a randomized controlled trial (the RAED2 study). *Diabetes Care* 2012;35(4):676-82.
- [45] Taji Tabas A, Mogharnasi M. The effect of 10 week resistance exercise training on serum levels of nesfatin-1 and insulin resistance index in woman with type 2 diabetes. *Iran J Diabetes Metab* 2015; 14(3): 179-88.
- [46] Miri F, Gholami F, Mokaberian M. Effect of resistance training on general health, happiness and its correlation with glycemic control in diabetic men with peripheral neuropathy. 2021.
- [47] Miladi Ghomi H, Abedi B, Ramezani S. The effect of a period of circular resistance training on serum perptin levels and insulin resistance in men with type 2 diabetes. *J Sport Biosciences* 2021; 13(3): 383-97.
- [48] Samadpour Masouleh S, Siahkoughian M, Jafarnezhadgero A, Farzizadeh R. The Effect of Eight Weeks of TRX Resistance Training Along With Using Taurine Supplementation on Glycemic Indices of Type 2 Diabetic Females. *Sci J Rehabil Med* 2022; 11(4): 548-59.
- [49] Liu Y, Liu SX, Cai Y, Xie KI, Zhang WI, Zheng F. Effects of combined aerobic and resistance training on the glycolipid metabolism and inflammation levels in type 2 diabetes mellitus. *J Physical Therapy Sci* 2015; 27(7): 2365-71.
- [50] Ansari Z, Nasiruddin M, Khan R, Haque S. Protective Role of Nigella sativa in Diabetic Nephropathy: A Randomized Clinical Trial. *Saudi J Kidney Diseases Transplantation* 2017; 28(1): 9-14.
- [51] Frøsig C, Rose AJ, Trebak JT, Kiens B, Richter EA, Wojtaszewski JF. Effects of endurance exercise training on insulin signaling in human skeletal muscle: interactions at the level of phosphatidylinositol 3-kinase, Akt, and AS160. *Diabetes* 2007; 56(8): 2093-102.
- [52] Koopman R, Manders RJ, Zorenc AH, Hul GB, Kuipers H, Keizer HA, et al. A single session of resistance exercise enhances insulin sensitivity for at least 24 h in healthy men. *Eur J Appl Physiol* 2005; 94: 180-7.
- [53] Brooks N, Layne JE, Gordon PL, Roubenoff R, Nelson ME, Castaneda-Sceppa C. Strength training improves muscle quality and insulin sensitivity in Hispanic older adults with type 2 diabetes. *Int J Med Sci* 2007; 4(1): 19.
- [54] Sparks LM, Johannsen NM, Church TS, Earnest CP, Moonen-Kornips E, Moro C, et al. Nine months of combined training improves ex vivo skeletal muscle metabolism in individuals with type 2 diabetes. *J Clin Endocrinol Metab* 2013; 98(4): 1694-702.
- [55] Sharifi E, Askari R, Haghghi AH. Comparison the effects of high and average intensity combined training on levels of serum heat shock proteins 70 and glycemic control in obese women with type 2 diabetes. *Jundishapur Sci Med J* 2017; 16(2): 255-65.
- [56] Zamanpour L, Banitalebi E, Amirhosseini SE. The effect of sprint training and combined aerobic and strength training on some inflammatory markers and insulin resistance in women with diabetes mellitus (T2dm). *Iran J Diabetes Metab* 2016; 15(5): 300-11.
- [57] Bazyar F, Banitalebi E, Amirhosseini SE. The comparison of two methods of exercise (intense interval training and concurrent resistance-endurance training) on fasting sugar, insulin and insulin resistance in women with mellitus diabetes. *Armaghane Danesh* 2016; 21(2): 123-34.
- [58] 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. *Iran J Nurs Res* 2018; 13(1): 40-6.
- [59] Enteshary M, Esfarjani F, Reisi J. The Comparison of 8 week combined training with two different intensity on level of serum irisin, and

- glycemic indices of type 2 diabetic women. *Med J Mashhad Univ Med Sci* 2018; 61(2): 971-84.
- [60] Nasiri S, Banitalebi E, Rabiei V. Study of blood sugar and lipid profile changes after eight weeks of combined training in women with type 2 diabetes. *J Jiroft Univ Med Sci* 2017; 4(1): 114-24.
- [61] Koroni R, Yonesyan A, Donyaei A, Dianati Nasab M. Comparison of the effect of 8 weeks of different exercises (endurance, resistance and combined) on serum levels of nesfatin-1 and insulin resistance index in women with type 2 diabetes. *J Appl Health Studies Sport Physiol* 2023.
- [62] Ghodrati N, Haghighi AH, Kakhak SAH, Abbasian S, Goldfield GS. Effect of Combined Exercise Training on Physical and Cognitive Function in Women With Type 2 Diabetes. *Canadian J Diabetes* 2022.
- [63] Evans EM, Racette SB, Peterson LR, Villareal DT, Greiwe JS, Holloszy JO. Aerobic power and insulin action improve in response to endurance exercise training in healthy 77–87 yr olds. *J Appl Physiol* 2005; 98(1): 40-5.
- [64] Cauza E, Hanusch-Enserer U, Strasser B, Ludvik B, Metz-Schimmerl S, Pacini G, et al. The relative benefits of endurance and strength training on the metabolic factors and muscle function of people with type 2 diabetes mellitus. *Arch Physical Med Rehabil* 2005; 86(8): 1527-33.
- [65] Tofighi A, Samadian Z, Mahdizadeh A. Blood levels of resistin, glycemic indices and lipid profile in women with type 2 diabetes. *J Diabetes Metab* 2016; 7(702): 2.
- [66] Cunha VN, de Paula Lima M, Motta-Santos D, Pesquero JL, de Andrade RV, de Almeida JA, et al. Role of exercise intensity on GLUT4 content, aerobic fitness and fasting plasma glucose in type 2 diabetic mice. *Cell Biochem Function* 2015; 33(7): 435-42.
- [67] O'Neill HM. AMPK and exercise: glucose uptake and insulin sensitivity. *Diabetes Metab J* 2013; 37(1): 1-21.
- [68] Morales-Alamo D, Ponce-González JG, Guadalupe-Grau A, Rodríguez-García L, Santana A, Cusso R, et al. Critical role for free radicals on sprint exercise-induced CaMKII and AMPK α phosphorylation in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 2013; 114(5): 566-77.
- [69] Kido K, Ato S, Yokokawa T, Makanae Y, Sato K, Fujita S. Acute resistance exercise-induced IGF 1 expression and subsequent GLUT 4 translocation. *Physiological Reports* 2016; 4(16): e12907.
- [70] Khavarian F, Kazemzadeh Y, Hajirasouli M, Mirzayan Shanjani S, Sedaghati S. The Effect of 8 Weeks of Resistance Training with Taurine Supplementation on Fasting Glucose, Insulin Resistance, and GLUT4 in Soleus Muscle Tissue in Male Wistar Rats with Type 2 Diabetes. *Community Health J* 2021; 14(4): 13-23.
- [71] Stocks B, Zierath JR. Post-translational Modifications: The Signals at the Intersection of Exercise, Glucose Uptake, and Insulin Sensitivity. *Endocrine Rev* 2022; 43(4): 654-77.