



A Systematic Review of the Effects of Different Types of Exercise on Metabolic Markers in Patients with Type 2 Diabetes

Sajjad Ramezani¹ 

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

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 20 April 2024

Received in revised form

12 Jun 2024

Accepted 08 July 2024

Available online 23

Sep 2024

Keywords:

Exercise Trainings, Type 2 Diabetes, Insulin Resistance, HbA1c

ABSTRACT

Objective: Different sports exercises can have other effects on the control and treatment of diabetes. Accordingly, this review aims to analyze the recent studies on the effects of various sports activities on the indicators related to type 2 diabetes.

Methods: To conduct this study, search in Persian and Latin databases PubMed, ScienceDirect, Google Scholar, Magiran, and SID with keywords exercise training, resistance training, high-intensity interval training, diabetes, insulin sensitivity and HbA1c, resistance training, exercise Interval intensity, aerobic exercise, combined exercise, type 2 diabetes, and insulin sensitivity were performed in the period from 2010 to 2022.

Results: A total of 140 articles were initially reviewed and finally, 35 articles with the necessary conditions were selected and reviewed. Aerobic exercises and especially high-intensity exercises (HIIT) can 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 sports training 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 training compared to endurance training can last for a longer period, so it is suggested Medical and sports experts should pay attention to the importance of the type and form of sports exercises when presenting exercise programs to patients.

Cite this article: Ramezani, S. A Systematic Review of the Effects of Different Types of Exercise on Metabolic Markers in Patients with Type 2 Diabetes. *Applied Research in Sports Nutrition and Exercise Science*, 2024;1(3):41-59. 10.22091/arsnes.2025.12937.1028



© The Author(s).

Publisher: University of Qom.

DOI: 10.22091/arsnes.2025.12937.1028



Extended Abstract

Introduction

Type 2 diabetes mellitus (T2DM) is a prevalent metabolic disorder characterized by chronic hyperglycemia and insulin resistance, posing a significant global health burden. With projections indicating that the number of affected individuals will rise to 592 million by 2035, effective management strategies are imperative. Physical activity, alongside dietary and pharmacological interventions, is a cornerstone of T2DM treatment. The American Diabetes Association (ADA) and the American College of Sports Medicine (ACSM) emphasize the role of structured exercise in improving glycemic control and insulin sensitivity. However, the comparative efficacy of different exercise modalities— aerobic, resistance, high-intensity interval training (HIIT), and combined training— remains a subject of debate. This systematic review aims to synthesize recent evidence on the effects of various exercise regimens on metabolic markers in T2DM patients, including HbA1c, fasting glucose, insulin sensitivity, and HOMA-IR, to guide clinical recommendations.

Methods

A systematic search was conducted across PubMed, ScienceDirect, Google Scholar, Magiran, and SID databases for studies published between 2010 and 2022. Keywords included *exercise training, resistance training, HIIT, diabetes, insulin sensitivity, HbA1c*, and their Persian equivalents. Inclusion criteria comprised original human studies with control and exercise groups, participants aged ≥ 18 years with T2DM, and outcomes measuring glycemic control. Exclusion criteria removed

duplicate studies, animal research, and non-peer-reviewed articles. Initial screening identified 140 articles, with 35 meeting eligibility criteria after rigorous evaluation. Data extraction focused on exercise type, duration, intensity, and metabolic outcomes.

Results

High-Intensity Interval Training (HIIT):

HIIT demonstrated rapid improvements in glycemic control, with studies reporting significant reductions in fasting glucose, HbA1c, and HOMA-IR after 8–12 weeks. Mechanisms include AMPK activation, enhanced GLUT4 translocation, and upregulated PGC-1 α expression, which collectively enhance insulin sensitivity. For instance, Madsen et al. (2016) noted a 12% reduction in HbA1c post-HIIT, while AliZadeh et al. (2019) observed improved insulin sensitivity in diabetic women.

Aerobic Training:

Moderate-intensity aerobic exercise consistently improved VO₂max, HbA1c, and insulin sensitivity. Jorge et al. (2011) reported a 0.8% decrease in HbA1c after 12 weeks of aerobic training, attributed to increased mitochondrial density and fatty acid oxidation. However, long-term adherence was critical, as benefits plateaued without sustained activity.

Resistance Training:

Resistance training induced durable metabolic benefits, particularly in muscle mass preservation and insulin sensitivity. Bacchi et al. (2012) highlighted a 1.2% HbA1c reduction and enhanced PI3K/Akt signaling, which promotes glucose uptake. The hypertrophic response in skeletal muscle was identified as a key factor in sustaining glycemic control.



Combined Training:

Integrating aerobic and resistance exercise yielded superior outcomes, with greater reductions in HbA1c (-1.5%) and HOMA-IR compared to single-modality interventions (Spark et al., 2012). Synergistic effects included improved IRS1 expression and adipokine profiles, underscoring the value of multimodal approaches.

Discussion

The reviewed studies underscore exercise as a potent modulator of metabolic health in T2DM, with distinct pathways activated by different modalities. HIIT's efficiency in improving insulin sensitivity aligns with its role in AMPK activation and oxidative capacity enhancement. Aerobic training's cardiovascular benefits are well-established, though its effects on muscle hypertrophy are limited. Resistance training's unique capacity to increase lean mass addresses the root of insulin resistance—skeletal muscle glucose disposal—while combined training offers comprehensive benefits by merging these mechanisms.

Notably, HIIT and resistance training elicited longer-lasting effects compared to aerobic exercise, suggesting their prioritization in clinical settings. However, individualization is crucial; HIIT may be unsuitable for elderly or sedentary patients, whereas resistance training is universally applicable. Limitations include variability in exercise protocols and participant heterogeneity, necessitating standardized future research.

Conclusion

This review confirms the efficacy of exercise

in managing T2DM, with HIIT and resistance training offering pronounced and sustained metabolic improvements. Combined training emerges as the optimal strategy for glycemic control, though exercise prescription should be tailored to patient capabilities. Clinicians should emphasize the importance of exercise type, intensity, and consistency to maximize outcomes. Future studies should explore long-term adherence and the interplay between exercise and pharmacotherapy.

Keywords: Exercise training, Type 2 diabetes, Insulin resistance, HbA1c, HIIT, Combined training

Ethical Considerations

This article is a review that did not include any experiments on humans or animals. None of the data has been manipulated to support the final result of the research, and all available studies related to the research topic have been cited.

Funding/Financial Support

This article did not receive financial support from any organization or institution.

Authors' Contributions

Author contributed equally to the preparation of this article.

Conflict of Interest

The authors declare no competing interests regarding the publication of this article.

Acknowledgments

We express our deepest gratitude to all those who assisted us during the research process.



مروری نظام‌مند بر تأثیر انواع تمرینات ورزشی بر شاخص‌های متابولیک در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲

سجاد رمضان^۱  

۱. گروه گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	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.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۳۱	روش پژوهش: جهت انجام این مطالعه، جستجو در بانک‌های اطلاعاتی فارسی و لاتین PubMed، Google scholar، ScienceDirect، Magiran و SID با کلید واژه‌های exercise training، resistance training، High-intensity interval training، diabetes، Insulin sensitivity و HbA1c، تمرین مقاومتی، تمرین تناوبی شدید، تمرین هوازی، تمرین ترکیبی، دیابت نوع ۲ و حساسیت به انسولین در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ انجام شد.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۲۲	نتایج: در مجموع ۱۴۰ مقاله مورد بررسی اولیه قرار گرفت و نهایتاً ۳۵ مقاله حائز شرایط لازم انتخاب شده و مورد بررسی قرار گرفتند. تمرینات هوازی و بخصوص 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.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۷	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 به اهمیت نوع و شکل تمرینات ورزشی اهتمام لازم را داشته باشند.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱	

کلیدواژه‌ها:

پروفاایل لیپیدی، توان بی‌هوازی، قند خون، محرومیت از خواب، مردان تمرین‌کرده

استناد: رمضان، سجاد. مروری نظام‌مند بر تأثیر انواع تمرینات ورزشی بر شاخص‌های متابولیک در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲. پژوهش‌های کاربردی در تغذیه ورزشی و علم تمرین، ۱۴۰۴: ۲ (۱)، ۴۱-۵۹.



DOI: 10.22091/arsnes.2025.12937.1028

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه قم.



مقدمه

دیابت یک بیماری متابولیک است که میزان شیوع آن روز به روز در حال افزایش است. مطالعات نشان داده اند که در سال ۲۰۱۳ تعداد ۳۲۸ میلیون نفر دیابتی در جهان وجود داشته اند که انتظار می رود این میزان تا سال ۲۰۳۵ به ۵۹۲ میلیون نفر برسد. پیش بینی می شود که میزان شیوع دیابت در جهان تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۲۱ درصد برسد [۱]. در ایران نیز میزان شیوع دیابت در مطالعات مختلف متفاوت است؛ اما در مجموع حدود ۱۴ درصد تخمین زده می شود [۲، ۳]. بیماری دیابت از جمله بیماری های 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 می شود [۴]. به طور کلی، دیابت نوع ۲، ۹۵-۹۰ درصد از موارد شیوع این بیماری را تشکیل می دهد و از ناتوانی سلول های عضلانی در پاسخ به انسولین (مقاومت به انسولینی) و ترشح نشدن جبرانی انسولین به حد کافی، ایجاد می شود [۱].

این در حالی است که، در دهه های اخیر، فعالیت بدنی همراه با رژیم غذایی و دارو جزء درمان های اساسی دیابت در نظر گرفته شده است [۵]، و بر اساس اعلام انجمن دیابت آمریکا (ADA) American Diabetes Association، دانشکده آمریکایی طب ورزش (ACSM) American College of Sports Medicine و طبق مطالعات کارآزمایی انجام شده، انجام فعالیت بدنی و ورزش برای پیشگیری و درمان دیابت توصیه شده است [۶-۸]. با این حال، اصطلاحات فعالیت بدنی و ورزش دومفهوم متفاوت را نشان می دهند. فعالیت بدنی به هر حرکتی اطلاق می شود که توسط ماهیچه های اسکلتی ایجاد می شود که منجر به صرف انرژی (به صورت کیلوکالری) می شود و شامل طیف وسیعی از فعالیت های شغلی، اوقات فراغت و کارهای روزانه است. در حالی که ورزش به فعالیت بدنی برنامه ریزی شده یا ساختار یافته اشاره دارد که شامل حرکات بدنی تکراری است که باعث بهبود یا حفظ یک یا چند مولفه آمادگی جسمانی مانند ظرفیت هوازی، قدرت عضلانی، استقامت عضلانی، انعطاف پذیری، ترکیب بدنی و ... می شود. این در حالی است که دانشکده آمریکایی طب ورزش توصیه کرده است بیمارانی که دیابت نوع ۲ دارند، باید حداقل ۱۰۰۰ کیلو کالری در هفته از طریق فعالیت جسمانی مصرف کنند [۹]. به طور کلی، نتایج مطالعات فراتحلیل انجام شده نشان داده است که فعالیت بدنی می تواند موجب بهبود معنادار کنترل شاخص های گلیسمیک در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ شود [۱، ۱۰، ۱۱]. برای مثال در مطالعه Pan و همکاران ۳۷ مقاله به صورت نظام مند مرور و فراتحلیل شدند که برگرفته از تمرینات هوازی و مقاومتی در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ بود. به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد فعالیت ورزشی می تواند موجب کنترل قند خون و کاهش هموگلوبین A1c در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ شود [۱۲]. از طرفی مطالعات بسیاری نشان داده اند که فعالیت ورزشی باعث افزایش انتقال گلوکز عضلانی می شود و به واسطه همین عمل، حامل GLUT4 افزایش می یابد که موجب افزایش حساسیت انسولینی در افراد دیابتی می شود [۱۳].

با این حال نوع فعالیت، شدت، مدت و تواتر انجام آن یکی از مولفه های مهم اثر گذار در بیماران دیابتی است. به طوری که Zanuso و همکاران در مطالعه ای مروری خود بر روی تاثیر انواع مختلف تمرینات هوازی، مقاومتی و ترکیبی نشان دادند تمرینات هوازی باعث کاهش بیشتر HbA1c، افزایش VO2max و افزایش بیشتر حساسیت به انسولین می شود، در حالی که تمرینات مقاومتی می تواند به کنترل قند خون کمک کند. 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 داده اند 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 فعالیت های ورزشی بر شاخص های مرتبط با بیماری دیابت نوع ۲، هنوز جای سوال است که کدام نوع از تمرینات هوازی، مقاومتی، ترکیبی یا تناوبی مفید تر است، بنابراین، در این مطالعه، اثرات انواع فعالیت های ورزشی بر شاخص های مرتبط با دیابت نوع ۲ بررسی شده است تا بتوان بهترین نوع تمرین را به بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ و متخصصان این حوزه معرفی کرد.

روش ها

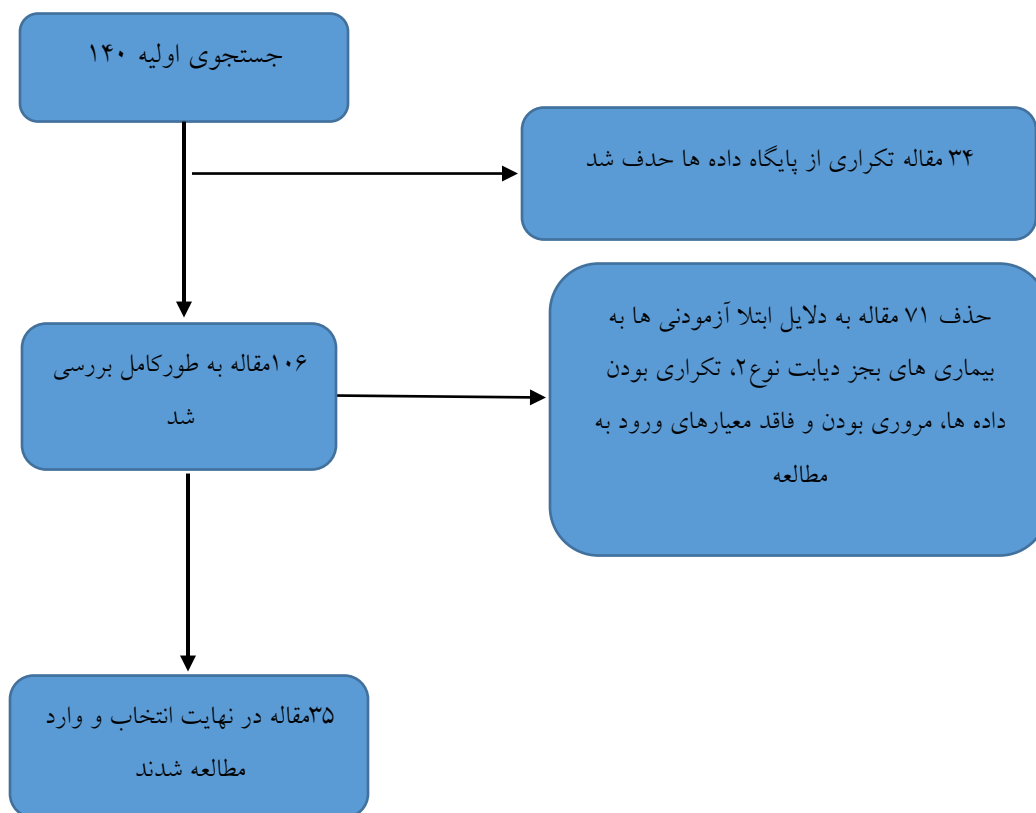
مطالعه فوق از نوع مروری است. در مطالعه حاضر، تحقیقات منتشر شده از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ که در ارتباط با فعالیت ورزشی و دیابت نوع ۲ بودند مورد بررسی قرار گرفتند. جهت جستجوی مطالعات لاتین با استفاده از پایگاه داده های PubMed، ScienceDirect و Google scholar با کلیدواژه های exercise training، resistance training، high-intensity interval training، diabetes، insulin sensitivity و HbA1c و جهت جستجو در مطالعات فارسی مرتبط در پایگاه های تخصصی فارسی مگیران، SID و گوگل اسکولار فارسی، با کلید واژه های فعالیت

¹ Glucose transporter-4



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 به این مطالعات موارد زیر بودند: 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. همچنین، مقالاتی که از ویژگی‌های زیر برخوردار بودند، از ورود به مطالعه حاضر حذف شدند: مطالعاتی که به صورت مروری انجام شده بودند یا اینکه مطالعه بر روی حیوانات بررسی شده بود. تمامی مطالعات بدست آمده توسط متخصصان فیزیولوژی ورزشی مطالعه و بررسی شد. 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 غیر مرتبط با موضوع مورد نظر نیز از محدوده بررسی خارج شد و در نهایت براساس اصول استاندارد، تعداد و نوع نمونه‌ها، روش کار و عنوان مقالات مد نظر براساس عنوان پژوهش حاضر کار با ۳۵ مقاله انجام گردید (شکل ۱).

شکل ۱. نمودار چگونگی انتخاب مقالات در پژوهش حاضر



یافته‌ها

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 تمرینات تناوبی خیلی شدید در بین افراد 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 باز توانی برخی از بیماری ها برخوردار باشد [۱۶]. HIIT شامل فعالیت های انفجاری، پرشدت، کوتاه و متناوب با دوره های ریکاوری کم شدت (حفظ پروسه تمرین اما با شدت کم) است. در سال های اخیر استفاده از برنامه HIIT رواج یافته است و شاید کارآمدترین روش برای ورزش به نسبت زمانی که صرف می کنید باشد. در همین راستا علی زاده و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند تمرین HIIT باعث کاهش سطوح انسولین، گلوکز، HbA1c و HOMA index در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ شد [۱۷]. عابدی و همکاران (۲۰۱۶) نیز در مطالعه ای 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 مطالعه ای دیگر Medsen و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند ۸ هفته تمرین HIIT باعث بهبود شاخص های قند خون ناشتا، HOMA IR و حساسیت به انسولین در بیماران سالمند مبتلا به دیابت نوع ۲ می شود [۱۸]. FEX و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه خود نشان دادند ۱۲ هفته تمرین تناوبی شدید باعث قند خون ناشتا، HbA1c و ترکیب بدنی بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ می شود [۱۹]. در مطالعه ای دیگر نجفی و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند ۱۲ هفته تمرین HIIT باعث کاهش معنادار مقاومت به انسولین، مقادیر انسولین و گلوکز در بیماران میانسال مبتلا به دیابت نوع ۲ شد [۲۰]. سازوکاری که تمرینات شدید به واسطه آن حساسیت به انسولین را بهبود می بخشد، مشخص نیست. با این حال احتمالاً بیشتر سازگاری های محیطی به دنبال برنامه تمرینات شدید به تغییرات آنزیمی در سلول های عضلانی مرتبط هستند که بر همین اساس سازوکار مولکولی و سازگاری های آنزیمی به فعال کردن پروتئینی به نام پروتئین کیناز فعال کننده آدنوزین مونوفسفات (AMPK) نسبت داده می شوند [۲۱]. این پروتئین از جمله سازوکارهای احتمالی برای افزایش ورود گلوکز به داخل سلول به خصوص سلول های عضلانی در حین برنامه تمرینی شدید است که باعث افزایش حساسیت به انسولین می شود [۲۲]. براساس نتایج مطالعات انجام شده در این زمینه به خوبی نشان داده شده است که انجام هر جلسه فعالیت های تناوبی شدید به افزایش قابل ملاحظه فعالیت این پروتئین سیگنالی منجر می شود که مشابه با دیگر فعالیت های تداومی طولانی مدت است و محققان مهم ترین عامل فعال شدن این پروتئین را تغییرات در نسبت بین غلظت آدنین نوکلئوتیدهای داخل سلول نسبت داده اند [۲۳]. در همین راستا گزارش شده است تمرینات شدید تغییرات سریع و ناگهانی را در این نسبت ایجاد می کند و عامل مهمی در فعال سازی پروتئین AMPK است [۲۱]. همچنین بهبود حساسیت به انسولین در تمرینات شدید ممکن است مربوط به فراخوانی تارهای عضلانی و یا کاهش گلیکوژن در عضله باشد که باعث جذب گلوکز توسط عضله اسکلتی در ساعت های بعد از ورزش می شود [۲۴]. تمرینات با شدت بالا در القای سازگاری میکروسکوپی می تواند با تمرینات استقامتی قابل مقایسه باشد که میتواند انسولین و تحویل قند را به عضله اسکلتی بهبود بخشد و منجر به افزایش حساسیت به انسولین شود [۲۴]. همچنین مطالعات گزارش کرده اند افزایش حساسیت به انسولین پس از تمرینات شدید می تواند به دلیل بیان PGC-1 α و سطح بیان ژن AdipoR1 (Adiponectin receptor 1) باشد [۲۵]. بر این اساس به نظر می رسد تمرینات تناوبی با شدت بالا ضمن افزایش فعال سازی AMPK باعث افزایش ورود گلوکز به داخل سلول های عضلانی فعال شده و همچنین این نوع تمرین ضمن افزایش بیان PGC-1 α باعث افزایش حساسیت به انسولین شده که این عامل می تواند منجر به افزایش جذب گلوکز در ساعت های بعد از ورزش توسط عضلات اسکلتی شود.

جدول ۱. خلاصه ای از مطالعات درباره تاثیر تمرینات تناوبی با شدت بالا بر شاخص های مرتبط با دیابت نوع ۲

محققان	عنوان مورد بررسی	آزمودنی ها	نوع و مدت فعالیت ورزشی	نتایج
نجفی و همکاران (۲۰۲۰) [۲۰]	مقایسه اثر ۱۲ هفته تمرین تناوبی و تمرین تداومی بر برخی رگ گشا و رگ تنگی بیماران 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]	تاثیر هشت هفته تمرین تناوبی با شدت بالا (HIIT) بر مقادیر سرمی آیریزین، FGF21 و شاخص های گلاسمی 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



عابدی و همکاران (۲۰۱۶) [۱۶]	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 ، در ۳ گروه تمرین ترکیبی، SIT و کنترل	SIT با شدت ۸۰ درصد ، ضربان قلب بیشینه ، ترکیبی با شدت ۴۵- ۶۰ 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 سلول ها بتا در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲	۳۳ 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 (۲۰۱۵) [۱۹]	بررسی تاثیر 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

تمرین هوازی

در گذشته، مطالعات جزئی متعددی در مورد اثرات ورزش هوازی بر بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ انجام شده و یافته‌های متمایز ارائه شده است. از طرفی نتایج پژوهش های متعدد نشان داده اند؛ تغییر سبک زندگی و افزایش فعالیت ورزشی به خصوص تمرینات هوازی میتواند در بهبود شاخص های 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 (۲۰۱۹) در مطالعه ای بر روی اثر تمرین هوازی بر گلوکز، انسولین ناشتای خون و مقاومت به انسولین در مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ به این نتیجه رسیدند که این نوع تمرین تاثیر بسزایی در کاهش گلوکز، انسولین ناشتای خون و مقاومت به انسولین دارد [۲۶]. Kadoglou و همکاران (۲۰۱۲) نیز در مطالعه خود نشان دادند ۱۲ هفته تمرین هوازی تاثیر معناداری بر بهبود شاخص های انسولین، HOMA-IR و Hba1c در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ دارد [۲۷]. شاکریان و همکاران (۲۰۱۶) نیز در مطالعه ای که بر روی زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که این نوع تمرینات باعث کاهش انسولین سرم و مقاومت به انسولین در زنان بیمار شد [۲۸]. Aly و همکاران (۲۰۱۵) نیز در مطالعه ای بر روی ۳۵ بیمار 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 می شود [۲۹]. در مطالعه ای دیگر مردانی و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی اثر ۸ هفته تمرین هوازی بر شاخص های مرتبط با دیابت نوع در زنان میانسال بیمار پرداختند و نشان داند 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 شد [۳۰]. Shakil و همکاران (۲۰۱۷) نیز در پژوهشی بر روی ۱۰۲ نفر از مردان و زنان دیابتی دریافتند که ۲۵ هفته تمرین هوازی باعث بهبود در شاخص های مقاومت به انسولین، گلوکز خون ناشتا، قند خون و انسولین پلازما در این بیماران شد [۳۱]. در مطالعه ای دیگر امید و همکاران (۲۰۱۸)، 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 شد [۳۲]. دریانوش و همکاران (۲۰۱۵) نیز در مطالعه ای که بر روی زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ انجام دادند به این نتیجه رسیدند که تمرینات هوازی موجب کاهش مقاومت به انسولین، انسولین سرم و گلوکز شد [۳۳]. افشون پور و همکاران (۲۰۱۶) نیز در مطالعه ای به بررسی اثر تمرین هوازی تدامی بر شاخص های مرتبط با دیابت نوع پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد 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 می شود [۳۴]. Jorge و همکاران (۲۰۱۱) نیز در مطالعه خود بر روی ۴۸ بیمار مبتلا به دیابت نوع ۲ دریافتند که ۱۲ هفته تمرین هوازی باعث کاهش گلوکز ناشتا پلازما، گلوکز پلازما پس از غذا ، مقاومت به انسولین و Hba1c می شود [۳۵]. با توجه به نتایج مطالعات مختلف به نظر می رسد تمرینات هوازی از طریق سازوکارهای مختلفی باعث بهبود شاخص های مرتبط با دیابت نوع ۲ می شود. مطالعات متعدد نشان داده اند تمرینات هوازی می تواند 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 تمرینات هوازی باعث بهبود مصرف اکسیژن می شود که می تواند در کاهش گلوکز خون و Hba1c موثر باشد [۲۹، ۳۶]. همچنین



تمرینات هوازی می تواند با افزایش پیام رسانی پس گیرنده ای 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 مویرگ های عضلانی و تغییر در ترکیب عضله به منظور برداشت گلوکز [۳۹] باعث بهبود شاخص های حساسیت به انسولین، مقاومت به انسولین و گلوکز ناشتا در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ شود. همچنین به نظر می رسد تمرینات هوازی با ایجاد تغییرات بیوشیمیایی ویژه خود در عضلات، افزایش تراکم مویرگی و افزایش آنزیم های اکسیداتو می تواند فرآیند حمل و متابولیسم گلوکز را بهبود بخشید و ظرفیت اتصال انسولین به گیرنده های سلول عضلانی را افزایش دهد که در نتیجه نیاز به انسولین را کاهش می دهد [۲۷]. بر این اساس به نظر می رسد تمرینات هوازی با افزایش ظرفیت میتوکندریایی و بهبود مصرف اکسیژن ضمن افزایش سوخت و ساز 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 می شود.

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

محققان	عنوان مورد بررسی	آزمودنی ها	نوع و مدت فعالیت ورزشی	نتایج
مومنی و همکاران (۲۰۱۹) [۲۶]	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) [۲۷]	تأثیر تمرینات هوازی بر آدیپو کین های جدید، آلبین و گرلین در بیماران دیابتی نوع ۲	۴۵ بیمار (زن و مرد) مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۲ گروه تمرین (۲۷) و کنترل (۱۸)	تمرین هوازی با شدت ۶۰-۷۵ درصد حداکثر ضربان قلب به مدت ۱۲ هفته	انجام تمرین هوازی باعث کاهش آدیپو کین ها و مقاومت به انسولین، انسولین و HbA1c شد
شاکریان و همکاران (۲۰۱۶) [۲۸]	تأثیر 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 ۸۰-۸۵ 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) [۲۹]	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) [۳۰]	تأثیر تمرین هوازی با شدت متوسط بر آیریزین و شاخص مقاومت به انسولین زنان مبتلا به دیابت نوع ۲	۴۴ 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
Shakil و همکاران (۲۰۱۷) [۳۱]	تأثیر برنامه تمرینی هوازی ساختاریافته نظارت شده بر سطح گلوکز خون ناشتا، سطح انسولین پلازما، کنترل قند خون و مقاومت به انسولین در دیابت نوع ۲	۱۰۲ بیمار (مرد و زن) مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۲ گروه تمرین (۵۱) و کنترل (۵۱)	تمرین هوازی با شدت متوسط افزایشی به مدت ۲۵ هفته	تمرین هوازی باعث بهبود در شاخص های مقاومت به انسولین، گلوکز خون ناشتا، قند خون و انسولین پلازما شد
امیدی و همکاران (۲۰۱۸) [۳۲]	اثر ۸ هفته تمرین هوازی بر شاخص عملکرد سلول های بتای پانکراس و مقاومت به اوسولین زنان میانسال مبتلا به دیابت نوع ۲	۲۰ زن میانسال در دو گروه تمرین (۱۰) و کنترل (۱۰)	تمرین هوازی با شدت ۶۰-۷۵ درصد ضربان قلب بیشینه به مدت ۸ هفته	تمرین هوازی باعث کاهش گلوکز ناشتا، انسولین ناشتا و شاخص مقاومت به انسولین شد



دریانوش و همکاران (۲۰۱۵) [۳۳]	اثر تمرینات ورزشی هوازی و مکمل آلفالیپوئیک اسید بر میزان مقاومت به انسولین در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲	۴۴ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۴ گروه	تمرین هوازی با شدت ۴۰-۵۰ درصد حداکثر ضربان قلب به مدت ۸ هفته	تمرین هوازی باعث کاهش مقاومت به انسولین شد اما تاثیری بر گلوکز سرم و انسولین سرم نداشت
افشون پور و همکاران (۲۰۱۶) [۳۴]	تاثیر تمرین هوازی بر غلظت آپلین و مقاومت به انسولین در مردان مبتلا به دیابت نوع ۲	۲۴ مرد مبتلا به دیابت نوع ۲ در دو گروه ۱۲ نفری	تمرین هوازی با شدت ۴۰-۷۰ درصد حداکثر ضربان قلب به مدت ۸ هفته	تمرین هوازی باعث کاهش گلوکز خون، انسولین خون و شاخص مقاومت به انسولین شد
Jorge و همکاران (۲۰۱۱) [۲۵]	تاثیر ورزش های هوازی بر کنترل متابولیک، نشانگرهای التهابی، آدیپوسیتوئین 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 هوازی با شدت متوسط به مدت ۱۲ هفته	تمرین هوازی باعث کاهش انسولین گلوکز، مقاومت به انسولین و Hba1c شد

تمرینات مقاومتی

از آن جا که عضه اسکلتی، محل اصلی برداشت گلوکز در حالت طبیعی است، تمرینات مقاومتی با انقباض های عضلانی، تاثیرات شبه انسولینی بر برداشت گلوکز در عضله اسکلتی دارند، بنابراین میتوان فرض کرد که افزایش توده عضلانی، روش موثری در بهبود شاخص های مرتبط با بیماری دیابت نوع ۲ است. در همین راستا Jorge و همکاران (۲۰۱۱) [۲۵] در مطالعه خود بر روی ۴۸ بیمار مبتلا به دیابت نوع ۲ دریافتند که ۱۲ هفته تمرین مقاومتی تاثیر معناداری بر کاهش گلوکز ناشتا پلاسما، گلوکز پلاسما پس از غذا، مقاومت به انسولین و Hba1c دارد [۳۵]. Egger و همکاران (۲۰۱۲) نیز در مطالعه ای 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 شد [۴۰]. نظری و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه ای بر روی ۲۰ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ نشان دادند تمرینات مقاومتی با شدت ۴۰ تا ۶۵ درصد یک تکرار بیشینه سبب کاهش Hba1c شد اما تاثیر معناداری بر قند خون ناشتا نداشت [۴۱]. افشون پور و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه ای که بر روی مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ انجام داده بودند به 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 بیماران شد [۴۲]. Church و همکاران (۲۰۱۰) نیز در مطالعه ای بر روی زنان و مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ نشان دادند انجام تمرینات مقاومتی باعث بهبود Hba1c، قند خون ناشتا و انسولین ناشتا شده است [۴۳]. Bacchi و همکاران نیز در مطالعه ای به بررسی اثر تمرینات مقاومتی بر متابولیک های بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تمرینات مقاومتی باعث بهبود Hba1c، گلوکز ناشتا و حساسیت به انسولین می شود [۴۴]. تاجی طبس و همکاران (۲۰۱۵) نیز در مطالعه ای بر روی زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ نشان دادند تمرینات مقاومتی باعث کاهش معنادار گلوکز و مقاومت به انسولین شد اما در مقادیر انسولین تغییر معناداری نداشت [۴۵]. میری و همکاران (۲۰۲۱) نیز در مطالعه ای که بر روی مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ پرداختند به این نتیجه رسیدند که تمرینات مقاومتی تاثیر معناداری بر بهبود Hba1c میتلایان به دیابت نوع ۲ دارد [۴۶]. رمضانی و همکاران (۲۰۲۱) نیز در مطالعه ای به بررسی تاثیر تمرین مقاومتی بر شاخص های مرتبط با دیابت نوع ۲ در مردان مبتلا پرداختند و نشان دادند این نوع تمرینات باعث بهبود HOMA-IR، گلوکز ناشتا و انسولین می شود [۴۷]. در مطالعه ای دیگر صمد پور و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند تمرینات مقاومتی تاثیر معناداری بر بهبود هموگلوبین گلیکوزیله و قند خون ناشتا زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ دارد [۴۸]. حدود ۴۰ درصد از وزن بدن را عضلات اسکلتی در برمی گیرند و به عنوان اولین محل برداشت گلوکز توسط تحریک انسولین بشمار می روند. از طرفی به نظر می رسد تمرینات مقاومتی موجب افزایش تحویل گلوکز به عضلات در حال انقباض افراد مبتلا به دیابت می شود که این تغییرات وابسته به تغییرات سیگنال های انسولینی و مرتبط با افزایش محتویات پروتئین انتقال دهنده های گلوکز نوع ۴ (GLUT4) می باشند [۴۹]. همچنین تمرینات مقاومتی از گلیکوژن به عنوان منبع انرژی استفاده می کنند و لاکتات تولید می کنند. این نوع تمرینات با افزایش توده و قدرت عضلانی باعث افزایش حساسیت انسولینی و کنترل بهتر گلاسیمیک می شوند [۵۰]. از طرفی، کاهش مقادیر انسولین در افرادی که تمرینات مقاومتی انجام



می دهند، بیان گر کاهش انسولین جبرانی می باشد و نشان می دهد تمرین ممکن است با ساز و کارهای ویژه ای سبب کاهش انسولین شود. به نظر می رسد تمرین ورزشی با افزایش بیان سوبسترای گیرنده انسولینی و افزایش مسیر PI3K و MAPK باعث کاهش انسولین شود [۵۱]. از سوی دیگر به نظر می رسد ظرفیت عملکردی عضلات با افزایش حجم عضلانی پس از تمرینات مقاومتی افزایش پیدا می کند و همین عامل سبب افزایش حساسیت به انسولین در عضله اسکلتی می شود. همچنین تمرینات مقاومتی، AMPK را به طور قابل توجهی فعال خواهد کرد و ¹IMTG را نیز افزایش می دهد [۵۲]. براساس نتایج مطالعات هایپرتروفی، فیبرهای عضلانی هم از اهمیت بالایی برخوردار است؛ زیرا تارهای عضلانی حساس به انسولین، حاوی ظرفیت اکسیداتیو و میتوکندری بیشتر و تراکم مویرگی بالاتری می باشند و در نتیجه هایپرتروفی عضله در اثر تمرینات مقاومتی باعث افزایش حساسیت به انسولین در کل بدن می شود [۵۳].

جدول ۳. خلاصه ای از مطالعات درباره تاثیر تمرینات مقاومتی بر شاخص های مرتبط با دیابت نوع ۲

محققان	عنوان مورد بررسی	آزمودنی ها	نوع و مدت فعالیت ورزشی	نتایج
Jorge و همکاران (۲۰۱۱) [۲۵]	تاثیر انواع فعالیت ورزشی بر کنترل متابولیک، نشانگرهای التهابی، آدیپوسیتوکین ها و سینگنال 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: تاثیر 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) [۲۱]	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 ناشتا نداشت
افشون پور و همکاران (۲۰۱۵) [۲۲]	تاثیر هشت هفته تمرین مقاومتی دایره ای بر غلظت رزیستیه پلازما 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 دایره ای 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]	تاثیر 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 ناشتا و انسولین ناشتا شد
Bacchi و همکاران (۲۰۱۲) [۴۴]	ثرات 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 ناشتا و حساسیت به انسولین می شود
تاجی طبس و همکاران (۲۰۱۵) [۴۵]	تاثیر 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	تمرینات مقاومتی باعث کاهش سطوح گلوکز و مقاومت به انسولین شد اما در مقادیر انسولین تغییری نداشت

¹ Intramyocellular triacylglycerol



میری و همکاران (۲۰۲۱) [۴۶]	تأثیر تمرین مقاومتی بر سلامت عمومی، شادکامی و رابطه آن با کنترل گلیسمیک 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 تأثیر معناداری بر بهبود HbA1c مبتلایان به دیابت نوع ۲
رمضانی و همکاران (۲۰۲۱) [۴۷]	تأثیر 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 ۸۰-۶۰ درصد یک تکرار بیشینه به مدت ۸ هفته	تمرینات مقاومتی باعث بهبود HOMA-IR، گلوکز ناشتا و انسولین شد
صمد پور 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 ۸۰-۷۰ 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 می کنند و به حرکت مفصل متعدد نیاز دارند که امروزه جزء مهمی از برنامه های ورزشی شده اند و تحقیقاتی نیز بر اثر بخشی تمرینات ترکیبی در بزرگسالان را تایید کرده اند. همچنین نشان داده شده است تمرینات می تواند باعث بهبود شاخص های مرتبط با ابتلا به دیابت نوع ۲ گردد [۴۴]. در همین راستا Jorge و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه ای به بررسی و مقایسه تمرینات مختلف ورزشی پرداختند که نشان دادند تمرینات ترکیبی همانند مقاومتی و هوازی با تنهائی تأثیر 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 شد این نوع تمرینات تأثیر بیشتری بر افزایش IRS1 دارد [۲۵]. Spark و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه ای بر روی اثر تمرینات مختلف بر شاخص های متابولسمی عضلات افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ به این نتیجه رسیدند که تمرینات ترکیبی (مقاومتی- هوازی) تأثیر بیشتری نسبت به تمرینات مقاومتی و هوازی به تنهائی در کاهش شاخص HbA1c در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ دارد [۵۴]. شریفی و همکاران (۲۰۱۷)، در مطالعه ای بر روی تأثیر دونوع تمرین ترکیبی با شدت های بالا و متوسط به این نتیجه رسیدند انجام این نوع تمرینات تأثیر معناداری بر بهبود HbA1c و مقاومت به انسولین در هر دو شدت تمرینی دارد [۵۵]. در مطالعه ای دیگر زمان پور و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان دادند تمرینات ترکیبی (مقاومتی و هوازی) تأثیر معناداری بر بهبود گلوکز ناشتا، انسولین و مقاومت به انسولین زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ دارد [۵۶]. در مطالعه ای دیگر بازپار و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی اثر تمرینات ترکیبی به مدت ۸ هفته بر روی زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تمرینات ترکیبی تأثیر معناداری بر کاهش انسولین ناشتا و مقاومت به انسولین در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ دارد اما اثری بر روی کاهش قند خون ناشتا نداشت [۵۷]. عابدی و همکاران (۲۰۱۶) نیز در مطالعه خود به بررسی تأثیر تمرینات ترکیبی بر روی زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ پرداختند و نشان دادند تمرینات ترکیبی تأثیر معناداری بر کاهش مقاومت به انسولین دارد اما بر روی گلوکز ناشتا اثر گذار نیست [۱۶]. نصیری و همکاران (۲۰۱۸) نیز در مطالعه خود نشان دادند تمرینات ترکیبی باعث بهبود HOMA-IR، انسولین سرم و گلوکز ناشتا زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ و دارای اضافه وزن می شود [۵۸]. انتشاری و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه ای بر روی اثر تمرینات ترکیبی بر ۲۶ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ به این نتیجه رسیدند که انجام تمرینات ترکیبی با شدت های شدید و متوسط منجر به کاهش شاخص های قند خون ناشتا، HbA1c و مقاومت به انسولین شد اما تفاوت بین شدت های مختلف در این شاخص ها وجود نداشت [۵۹]. نصیری و همکاران (۲۰۱۷) نیز در مطالعه خود نشان دادند تمرینات ترکیبی (هوازی- مقاومتی) به مدت ۸ هفته تأثیر معناداری بر کاهش گلوکز خون، مقاومت به انسولین و هموگلوبین A1C در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ دارد [۶۰]. کرونی و همکاران (۲۰۲۲) نیز در مطالعه خود نشان دادند ۸ هفته تمرین ترکیبی باعث بهبود سطوح سرمی گلوکز ناشتا، انسولین و شاخص مقاومت به انسولین در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ شد [۶۱]. قدرتی و همکاران (۲۰۲۲) نیز در مطالعه خون بیان کردند که تمرینات ترکیبی تأثیر معناداری بر بهبود شاخص مقاومت به انسولین، گلوکز و انسولین ناشتا و HbA1c زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ داشت [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 و یا تحمل گلوکز



خوراکی را بهبود می بخشد [۶۴]. اثر حاد ورزش روی 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]. براساس نتایج مطالعات، تنظیم گلوکز توسط تجمع اثرات جلسات متوالی ورزش اعمال می شود؛ انجام تمرینات ورزشی ترکیبی در طول زمان با جواب سازشی ساختاری توأم است [۱۳، ۶۴]. بنابراین مکانسیم احتمالی تأثیر تمرینات ترکیبی بر حساسیت به انسولین به اینصورت است که از یکسو، انجام تمرینات مقاومتی با افزایش توده عضله اسکلتی همراه است و ذخیره گلوکز کل بدن را افزایش می دهد، از سوی دیگر تمرینات هوازی به علت تأثیری که بر روی کاهش توده چربی و بهبود ترکیب بدن دارند؛ بنابراین انجام تمرینات ترکیبی به مراتب از انجام هر کدام از تمرینات به صورت جداگانه، تأثیر بیشتری بر شاخص های مرتبط با دیابت نوع ۲ و حساسیت به انسولین دارند.

محققان	عنوان مورد بررسی	آزمودنی ها	نوع و مدت فعالیت ورزشی	نتایج
Jorge و همکاران (۲۰۱۱) [۲۵]	تأثیر انواع فعالیت ورزشی بر کنترل متابولیک، نشانگرهای التهابی، آدیپوسیتوگن 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 تأثیر بیشتری بر افزایش IRS1 دارد
Spark و همکاران (۲۰۱۲) [۵۴]	تأثیر 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 بیشینه به مدت ۹ ماه	تمرینات ترکیبی باعث بهبود بیشتر شاخص های 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 و 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 ۵۰-۷۰ درصد یک تکرار بیشینه و ضربان قلب، تمرین ترکیبی با شدت بالا ۷۰-۸۵ درصد یک تکرار بیشینه و حداکثر ربان قلب	انجام تمرینات ترکیبی با شدت های مختلف باعث کاهش مقاومت به انسولین و HbA1c شد
زمان پور و همکاران (۲۰۱۶) [۵۶]	تأثیر تمرین ترکیبی (هوازی- قدرتی) بر شاخص های 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 بیشینه 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 بیشینه 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 تأثیر بیشتری بر کاهش گلوکز ناشتا داشت



مقایسه دو شیوه تمرین سرعتی و ترکیبی (هوازی- مقاومتی) بر سطوح آپلین و مقاومت به انسولین زنان دیابتی نوع ۲	نصیری و همکاران (۲۰۱۸) [۵۸]	۵۲ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۳ گروه تمرین سرعتی (۱۷) ترکیبی (۱۷) و کنترل (۱۸)	تمرینات ترکیبی با شدت ۶۰- ۷۰ درصد ضربان قل و ۱۵- درصد یک تکرار بیشینه	تمرینات ترکیبی باعث کاهش انسولین سرم و مقاومت به انسولین شد. اما تاثیری بر گلوکز ناشتا نداشت
اثر تمرین ترکیبی با شدت های مختلف بر سطح ایریزین و شاخص های گلیسمیک زنان دیابتی نوع ۲	انتشاری و همکاران (۲۰۱۸) [۵۹]	۲۶ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در دو گروه تمرین ترکیبی شدید و متوسط	تمرین هوازی شدید با شدت ۸۹-۷۰ درصد و متوسط با ۵۵- ۶۹ درصد حداکثر ضربان قلب و تمرین مقاومتی با مقاومت کش تعیین شد	تمرینات ترکیبی با هردو شدت باعث کاهش قند خون ناشتا Hba1c و مقاومت به انسولین و افزایش ایریزین شد
اثر تمرینات ترکیبی (هوازی- مقاومتی) بر تغییرات قند خون زنان مبتلا به دیابت نوع ۲	نصیری و همکاران (۲۰۱۷) [۶۰]	۲۸ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۲ گروه تمرین و کنترل	تمرینات ترکیبی با شدت ۶۰- ۷۰ درصد ضربان قل و ۱۵- درصد یک تکرار بیشینه	تمرینات ترکیبی باعث کاهش قند خون ناشتا، Hba1c و مقاومت به انسولین شد
اثر تمرینات استقامتی، مقاومتی و ترکیبی بر نفساتین و شاخص مقاومت به انسولین زنان مبتلا به دیابت نوع ۲	کرونی و همکاران (۲۰۲۲) [۶۱]	۶۰ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۴ گروه استقامتی، مقاومتی، ترکیبی و کنترل	تمرینات ترکیبی با شدت ۶۰ درصد حداکثر ضربان قلب و ۶۰ درصد یک تکرار بیشینه	تمرینات ترکیبی محرک مناسب تری برای کاهش شاخص های مرتبط با دیابت نوع ۲ می باشد
اثر تمرینات ترکیبی بر عملکرد جسمی زنان مبتلا به دیابت نوع ۲	قدرتی و همکاران (۲۰۲۲) [۶۲]	۲۱ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ در ۲ گروه تمرین (۱۲) و کنترل (۹)	تمرینات ترکیبی هوازی و مقاومتی با شدت متوسط به مدت ۱۲ هفته	تمرینات ترکیبی باعث بهبود شاخص مقاومت به انسولین، گلوکز و انسولین ناشتا و Hba1c شد

بحث

یکی از محورهای اصلی مدیریت و پیشگیری از بروز بیماری دیابت، فعالیت ورزشی است. با توجه به بررسی مطالعات مختلف نشان داده شده است که تمرینات ورزشی با افزایش مصرف انرژی و بهبود توده عضلانی باعث بهبود شاخص های مرتبط با دیابت نوع ۲ می شود [۶۵]. از طرفی مطالعات نشان داده اند فعالیت های ورزشی از طریق مسیر های سیگنالینگ مختلفی باعث بهبود شاخص های مرتبط با دیابت می شوند. 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 می باشد. افزایش GLUT4، بیشتر از طریق فعالیت های بدنی و همچنین IRS^۱ که گیرنده انسولین می باشد، منجر به ترشح بیشتر سطح انسولین و افزایش حجم عضلانی در بدن می گردد [۶۶]. همچنین افزایش AMPK^۲ که به دنبال افزایش نسبت AMP/ATP فعال می شود در برداشت گلوکز یک مسیر سیگنالینگ درون سلولی کلیدی محسوب می شود [۶۷].

یکی دیگر از مسیر های سیگنالینگ که می توان برداشت گلوکز را به آن نسبت داد افزایش کالامودولین کیناز وابسته به کلسیم بر اثر فعالیت ورزشی و انقباضات عضلانی است [۶۸]. نتایج مطالعات نشان داده اند ۳ ساعت پس از فعالیت ورزشی، جابه جایی GLUT4 افزایش داشته، که محققین مکانیسم موثر در افزایش GLUT4 را ناشی از فعالیت AMPK به عنوان فعال کننده ژن TBC1D1^۳ که در برداشت گلوکز موثر است عنوان کرده اند [۶۹]. یکی دیگر از مسیرهای مشخص شده مسیر فسفاتیدیل اینوزیتول کیناز ۳، AKT^۴، mTOR^۵ و PI3K^۶ است که منجر به افزایش توده عضلانی و قدرت عضلانی و در نتیجه هایپرتروفی عضلانی می گردد. تغییر در افزایش توده و حجم عضلانی منجر به بهبود عملکرد متابولیسم

^۱ Insulin receptor substrate

^۲ Adenosine Monophosphate- activated Protein Kinase

^۳ TBC1 domain family member 1

^۴ protein kinase B

^۵ mammalian target of rapamycin

^۶ Phosphoinositide 3-kinases



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 می تواند متابولیسم گلوکز، چربی و حساسیت به انسولین را بهبود بخشد. مطالعات نشان میدهد پیام دهی انسولین و فعالیت PI3K در عضله اسکلتی افراد دارای اضافه وزن و دیابت نوع ۲ کاهش می یابد. در واقع سوپرسترای گیرنده انسولین و نیز PI3K بعد از تمرینات ورزشی افزایش مییابد که باعث بهبود جذب گلوکز القاء شده توسط انسولین میشود. همچنین، افزایش AMPK سازوکاری دیگری است که تمرینات ورزشی به واسطه آن حساسیت به انسولین را بهبود می بخشد. 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 می شود [۷۱].

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 شاخص های کنترل گلیسمیک از جمله هموگلوبین گلیکوزیله (HbA1c)، مقاومت به انسولین (HOMA IR)، گلوکز ناشتا و انسولین سرم به شیوه وابسته به دوز (شدت، مدت و تواتر) می شود؛ به طور کلی پذیرفته شده است که پیشرفت های ناشی از فعالیت ورزشی در کنترل قند خون منجر به بهبود عملکرد انسولین از طریق تنظیم افزایشی پروتئین های تنظیم کننده هموستاز اصلی گلوکز عضله اسکلتی، مانند Akt1/2، AS160، AMPK، هگزوکیناز ۲ و مهم تر از همه GLUT4 می شود. همچنین عملکرد بهبود انسولین ممکن است از طریق بیوژنز میتوکندری ناشی از ورزش و عملکرد بهبود یافته میتوکندری و به علاوه تنظیم افزایشی دفاع آنتی اکسیدانی که منجر به بهبود هموستاز رودکس می شود رخ دهد. همچنین مطالعه حاضر نشان داد تمرینات نوین همچون تمرینات تناوبی شدید (SIT, HIIT) و ترکیبی همچون تمرینات سنتی استقامتی و مقاومتی می تواند در بهبود شاخص های مرتبط با دیابت نوع ۲ موثر باشد.

ملاحظات اخلاقی

این مقاله از نوع مروری است که هیچ گونه آزمایشی بر روی انسان و حیوان نداشته است. هیچ کدام از داده ها در حمایت از نتیجه نهایی پژوهش دست کاری نشده اند و به تمامی مطالعات در دسترس در راستای موضوع پژوهش اشاره شده است.

حامی/حامیان مالی

این مقاله تحت حمایت مالی هیچ ارگان و یا نهادی قرار نگرفته است

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده سازی مقاله مشارکت یکسان داشته اند.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه نفع متقابلی از انتشار مقاله ندارند.

تشکر و قدردانی

از تمام افرادی که ما را در فرایند این مطالعه یاری رساندند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

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(41):81-104
2. Mirzaei M, Lashkardoost H, Hamed A. Diabetes mellitus and quality of life: results of Yazd health study. Journal of Biostatistics and Epidemiology. 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 Disorders. 2023;23(1):1-9.



4. Dakani M, Fakhri M, Hasanzadeh R. The Effectiveness of Mindfulness-Based Cognitive Therapy on Anxiety Tolerance and Cognitive Flexibility in Patients with Type 2 Diabetes. *Iranian Journal of Diabetes and Metabolism*. 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 Journal of Health Sciences and Biomedical Research (KLEU)*. 2022;15(1):70.
6. Kim KS, Park SW. Exercise and type 2 diabetes: ACSM and ADA joint position statement. *The Journal of Korean Diabetes*. 2012;13(2):61-8.
7. Khan MS. Exercise for the management of diabetes mellitus: a review of the evidence. *Journal of Enam Medical College*. 2013;3(2):99-108.
8. Knaga J, Buresh R. Personalizing Activity Recommendations for Individuals with Type 2 Diabetes. *ACSM's Health & Fitness Journal*. 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, Fiatarone Singh MA. Exercise or physical activity and cognitive function in adults with type 2 diabetes, insulin resistance or impaired glucose tolerance: a systematic review. *European Review of Aging and 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. *European journal of public health*. 2022;32(Supplement_1):i56-i66.
12. Pan B, Ge L, Xun Y-q, Chen Y-j, Gao C-y, Han X, et al. Exercise training modalities in patients with type 2 diabetes mellitus: a systematic review and network meta-analysis. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. 2018;15(1):1-14.
13. Hoseini R, Parvizi Mastali V. Effect of different exercise training on insulin sensitivity: A review article. *KAUMS Journal (FEYZ)*. 2021;25(3):935-45.
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. *Scientific 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. *KAUMS Journal (FEYZ)*. 2016;20(4):352-60.
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. *Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology*. 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. *Journal of Physical Activity and 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 : 322-332.
21. Gibala MJ, Little JP, MacDonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *The Journal of physiology*. 2012;590(5):1077-84.
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;1385-1394

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. *medical journal of mashhad university of medical sciences*. 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: international medical journal of experimental and clinical research*. 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. *The Horizon of Medical Sciences*. 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 Irizin Level and Insulin Resistance Index of Middle-Aged Women with Type 2 Diabetes. *Iranian Journal of Diabetes and Metabolism*. 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 journal of medical sciences*. 2017;33(3):576.
32. Omidi M, Moghadasi M. Effect of 8 weeks aerobic training on pancreatic β -cells function and insulin resistance of female patients with type 2 diabetes. *Iranian Journal of Diabetes and Metabolism*. 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. *Journal of Gorgan University of Medical Sciences*. 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.
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. *International journal of 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. *Journal of Personalized Medicine*. 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. *Journal of Physical Activity and*



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, Finkenzeller 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. European journal of preventive cardiology. 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_Journals. 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. Iranian journal of Diabetes and Metabolism. 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. Journal of 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. The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2022;11(4):548-59.

49. Liu Y, Liu S-x, Cai Y, Xie K-l, Zhang W-l, Zheng F. Effects of combined aerobic and resistance training on the glycolipid metabolism and inflammation levels in type 2 diabetes mellitus. Journal of physical therapy science. 2015;27(7):2365-71.

50. N R, A G, S C, M K, K B. The Effect of resistance training on serum levels of RBP-4 and insulin resistance index in type 2 diabetic male rats. Journal of North Khorasan University of Medical sciences. 2017;9(2):157-47.

51. Frøsig C, Rose AJ, Treebak 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. European journal of applied physiology. 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. International journal of medical sciences. 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. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 2013;98(4):1694-702.

55. Sharifi E, Askari R, Haghighi AH. Comparision 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 Scientific Medical Journal. 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). *Iranian journal of Diabetes and Metabolism*. 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. *Iranian Journal of Nursing Research*. 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. *medical journal of mashhad university of medical sciences*. 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. *Journal of Jiroft University of Medical Sciences*. 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. *Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology*. 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 Journal of Diabetes*. 2023 Mar 1;47(2):162-70..
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. *Journal of Applied Physiology*. 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. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 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 biochemistry and function*. 2015;33(7):435-42.
67. O'Neill HM. AMPK and exercise: glucose uptake and insulin sensitivity. *Diabetes & metabolism journal*. 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. *Journal of Applied Physiology*. 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 Journal*. 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 Reviews*. 2022;43(4):654-77.