مجله فعالیت بدنی و تندرستی
سال دوم / شماره ۲/ تابستان۱۴۰۲

بررسی اثر تعاملی تمرین تناوبی شدید و مکمل آب چغندر (بیتروت) بر مقاومت به انسولین و شاخص گلیسمی موش‌های صحرایی بالغ نژاد ویستار مبتلا به دیابت نوع ۲

آسیه سید
گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد بهبهان، دانشگاه آزاد اسلامی، بهبهان، ایران.

*** مونا عبدالحمید طهرانی**
گروه تربیت بدنی، واحد امیدیه، دانشگاه آزاد اسلامی، امیدیه، ایران.

نازنین قاسم پور
گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد بهبهان، دانشگاه آزاد اسلامی، بهبهان، ایران.

احسان شریفی فرد
گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد بهبهان، دانشگاه آزاد اسلامی، بهبهان، ایران.

چکیده

هدف: مقاومت به انسولین به عنوان مهم‌ترین عامل التهابی جهت پیشرفت دیابت نوع ۲ و گسترش عوارض مرتبط با آن شناخته شده است. در این راستا برنامه‌های ورزشی در کنار تغذیه مناسب اهمیت بسزایی دارد. **روش:** در این مطالعه ٤٠ سر موش صحرایی ماده بعد از یک هفته سازگاری، تحت تزریق صفاقی ۵۵ mg/kg استروپتوزتوسین قرار گرفتند. بعد از ٤ روز موش‌های با قند خون بالای ۳۰۰ mg/dl به گروه‌های (دیابت، تمرین، مکمل آب چغندر(بیتروت)، تمرین و مکمل و کنترل) تقسیم شدند. گروه‌های ۲ و ٤ (٤ هفته) تحت تمرین قرار گرفتند و گروه‌های ۳ و ٤ (٤ هفته) روزانه ۱۰ ml/kg وزن بدن آب چغندر(بیتروت) محلول در آب مصرف کردند. **یافته ها:** تمرین تناوبی شدید به همراه مکمل آب چغندر(بیتروت) بر کاهش گلوکز خون در موش‌های صحرایی دیابتی نسبت به گروه کنترل، دیابت و مکمل تاثیر معنی‌داری داشت (p<۰/۰۰۲)، همچنین تمرین تناوبی به همراه مکمل آب چغندر بر بهبود انسولین (p<۰/۰۳۳) و کاهش مقاومت به انسولین (p<۰/۰۰٦) نسبت به سایر گروه‌ها تاثیر معنی‌دار مشاهده شد. **نتیجه گیری:** استفاده از مکمل آب چغندر(بیتروت) همراه با تمرین تناوبی به عنوان یک راهکار درمانی موثر در بیماران دیابتی مطرح شود.

واژه‌های‌کلیدی: موشهای صحرایی، دیابت نوع ۲، تمرین تناوبی، آب چغندر (بیتروت)، مقاومت به انسولین، شاخص‌های گلیسمیک.

Quarterly Journal of Physical Activity and Health
Vol.2,No.2,Summer 2023

Study of the interactive effect of High-intensity interval training (HIIT) and beetroot juice supplementation on insulin resistance and glycemic index in Adult female Wistar Rat with type 2 diabetes

Asieh Sayyed
Department of Sport Physiology, Behbahan Branch, Islamic Azad University, Behbahan, Iran.

***Mona Abdolhamid Tehrani**
Department of Physical Education, Omidiyeh Branch, Islamic Azad University, Omidiyeh, Iran.

Nazanin Ghasempoor
Department Of Sport Physiology, Behbahan Branch, Islamic Azad University, Behbahan, Iran.

Ehsan Sharifi Fard
Department Of Sport Physiology, Behbahan Branch, Islamic Azad University, Behbahan, Iran.

Abstract

Aim: Insulin Resistance is known as the most important inflammatory factor for the development of type 2 diabetes and the spread of complications related to it. In this regard, sports programs are very important along with proper nutrition. **Methods**: In this study, 40 aged healthy female rats were subjected to intraperitoneal injection of 55 mg/kg streptozotocin after one week. After 4 days, rats with blood sugar above 300 mg/dl were divided into groups (diabetes, exercise, beet juice supplement, exercise and supplement and control) based on fasting blood sugar. Groups 2 and 4 (4 weeks) practiced; and groups 3 and 4 (4 weeks) consumed 10 kg/ml body weight of beetroot as soluble in water. **Results**: The results of two-way analysis of variance showed that intense intermittent exercise with beetroot water supplementation has a significant effect on reducing blood glucose in adult diabetic rats compared to the control group, diabetes, and supplement ($p<0.002$). Additionally, the four weeks of intense interval training with beetroot water supplement had a significant effect on improving insulin ($p<0.033$) and reducing insulin resistance ($p<0.006$) in diabetic Wistar rats compared to other groups**.** **Conclusion:** The use of beetroot juice supplement along with intermittent exercise should be proposed as an effective therapeutic strategy in diabetic patients.

Keywords: interval training, beetroot, Rats, insulin resistance, Type 2 diabetes, Glycemic index.

* نویسنده مسئول: **E mail:Mona.tehrani2010@gmail.com**

دریافت : ۱۴۰۲/۰٤/۰۹ **پذیرش:۱۴۰۲/۰۵/۲۲**

مقاله پژوهشی

مقدمه

ناتوانی سلول در پاسخ مناسب به انسولین باعث بروز مقاومت به انسولین می‌شود. عدم جذب مناسب گلوکز، لوزلمعده را وادار به ترشح بیشتر انسولین می‌کند(داسیلوا رز[1]،۲۰۲۰)، تا زمانی که پانکراس انسولین مورد نیاز برای غلبه بر پاسخ ضعیف سلول را تولید کند، سطح گلوکز خون در محدوده نرمال باقی می‌ماند. با ادامه این رویه، توان پانکراس در تنظیم قند خون پاسخگو نخواهد بود و قند خون به تدریج بالا می‌رود. مقاومت به انسولین آغاز کننده سیر بسیاری از بیماری‌ها از جمله دیابت نوع ۲ می‌باشد (هالویت[2]،۲۰۰٦). چاقی، بالا بودن درصد چربی به خصوص در ناحیه احشایی و افزایش اکسیداسیون اسید چرب نقش موثری در بروز مقاومت به انسولین دارند(کرشاو و فیلر[3]،۲۰۰٤) . تجمع اسید چرب ناشی از عدم واکنش سلول چربی به انسولین، باعث ناکارآمدی سلول‌های بتا پانکراس می‌شود. از سوی دیگر پیام‌رسان‌های مترشحه از بافت چربی، نقش مهمی در عملکرد بیولوژیکی بدن دارند. رتینول متصل به پروتئین چهار یک هورمون مترشحه از بافت چربی است که با سرکوب محیطی GLUT4 (انتقال دهنده گلوکز)، باعث افزایش مقاومت به انسولین می‌شود(کرشاو و فیلر،۲۰۰٤). همچنین چاقی با افزایش کموکاین‌ها، نفوذ ماکروفاژها و ترشح سایتوکاین‌ها در بافت، تاثیر منفی بر روند حساسیت به انسولین دارد. از آنجاییکه عضلات اسکلتی یکی از بافت‌های موثر در هموستاز گلوکز می‌باشد، با در نظر گرفتن کیفیت زندگی سالمندی و شیوع اختلالات متابولیکی در این افراد فعالیت بدنی به عنوان یک هدف درمانی در کنار دارو مورد توجه قرار می‌گیرد. مطالعات بسیاری اثر موثر انواع تمرینات را بر افزایش حساسیت به انسولین تایید می‌کنند(مکنزی[4]،۲۰۱۱). تمرینات اینتروال یا تناوبی با تناوب‌های زمانی۱۰ ثانیه تا ٤ دقیقه با شدت متوسط تا بالا اجرا می‌شوند. محققان زیادی به بررسی تاثیر تمرینات تناوبی بر بیماری دیابت پرداخته‌اند. در همین راستا پرستش و همکاران ۱٤۰۱، اثر۱۰ هفته تمرین تناوبی را بر شاخص انسولینی بررسی کردند. نتایج نشان داد، تمرین تناوبی باعث کاهش مقاومت به انسولین می‌شود(پرستش،۲۰۲۲). همچنین مرادی و همکاران(۲۰۲۲) ، اثر ٦ هفته تمرین تناوبی شدید۹۰-۱۰۰٪ را بر مقاومت به انسولین مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نیزکاهش مقاومت به انسولین را نشان داد(مرادی و همکاران،۲۰۲۲). یکی از ویژگی‌های تمرینات تناوبی افزایش متابولیسم پایه افراد تا مدتی پس از اجرای تمرین است(ریاحی ملایری و ساعی[5]،۲۰۱۹) . همچنین تمرینات تناوبی با تغییرات مختلفی در سطح سلولی باعث افزایش جذب گلوکز توسط عضلات می‌شوند. این تغییرات شامل افزایش جریان خون، افزایش فعالیت هگزوکیناز (فسفریله کننده گلوکز)، افزایش انتقال گیرنده‌های در دسترس به سمت غشای سارکولما،

[1] . da Silva Rosa
[2] . Holvoet
[3] . Kershaw & Flier
[4] . Mackenzie
[5] . Riyahi Malayeri & Saei

افزایش بیان ژن حامل گلوکز در کنار کاهش اسید چرب آزاد می‌باشند(اینو و همکاران[1]،۲۰۱۵)). اما تا کنون بیش از ۱۲۰۰ گونه گیاهی دارای فعالیت ضد دیابتی شناخته شده است. چغندرگیاهی از خانواده Chenopodiaceous است که، به صورت خام، پخته شده یا به صورت نوشیدنی مصرف می‌شود. چغندر قرمز منبع غنی از (سدیم، پتاسیم، منیزیم، آهن، نیترات، فولات، بتالین، ویتامین A ، B و C) است(تان و همکاران[2]،۲۰۱۵). این گیاه دارای رنگدانه بتاسیانین می‌باشد، که آن را به رنگ قرمز متمایل به بنفش نمایان می‌کند. مطالعات علاوه بر اثرات ضد سرطانی، ضد التهابی، کنترل کننده فشار خون، اثرات مثبت چغندر در کنترل دیابت را تایید می‌کنند(کومار و همکاران[3]،۲۰۲۰) . یکی از ویژگی‌های شاخص چغندر وجود فیبر فراوان است (مایکتیناز و همکاران[4]،۲۰۱۹)، بطوریکه یک فنجان آن حاوی ۳/٤ gr فیبر می‌باشد. تحقیقات نشان می‌دهند، میزان مصرف روزانه فیبر ارتباط معنی‌داری با کاهش بیماری قلبی و دیابت نوع ۲ دارد(پاوا و همکاران[5]،۲۰۲۱). ضمن اینکه فیبر باعث القای حس سیری و کمک به کنترل وزن می‌کند. چغندر علاوه بر چربی و کالری کم، دارای آب فراوان است، که یک عامل موثر در حفظ وزن می‌باشد(مایکتیناز و همکاران،۲۰۱۹) . یکی دیگر از مزایای چغندر محتوای بالای نیترات معدنی(NO3) است، که باعث افزایش سطح NO و تحریک مسیرهای سیگنالینگ GLUT4 و افزایش پاسخ مولکولی به انسولین می‌شود(جیانگ و همکاران[6]،۲۰۱٤). بطورکلی NO یکی از عوامل اثرگذار در انتقال گلوکز به درون سلول است. از آنجاییکه نقص در عملکرد انسولین علاوه بر اختلال در متابولیسم مواد می‌تواند باعث کاهش دفاع آنتی اکسیدانی، افزایش تولید رادیکال آزاد و متعاقب آن افزایش التهاب شود، یکی از نقش‌های محافظتی چغندر، کنترل آسیب اکسیداتیو است. بتالین نقش حفاظتی در برابر آسیب اکسیداتیو را فراهم می‌کند. در همین راستا سیار و همکاران ۲۰۲۲، مطالعه‌ای با عنوان تاثیر مصرف آب چغندر بر وضعیت اکسیداتیو و ترشح انسولین انجام دادند. در مطالعه آن‌ها مصرف ٦۰ ml آب چغندر باعث بهبود وضعیت حساسیت به انسولین شد(سیار و همکاران[7]،۲۰۲۲). مکانیزم‌های دیگری نیز برای تایید اثر مصرف چغندر در کنترل دیابت مطرح شده است مانند نقش برخی مواد از جمله اسید اسکوربیک و اسید دهیدرواسکوربیک (DHAA) که جذب گلوکز را تنظیم می-کنند(ایوای و همکاران[8]،۲۰۰٦) . در مطالعه‌ای دیگری چانگ و همکاران(۲۰۱۸) ، اثر مصرف ۲۷۰ ml آب چغندر را مورد مطالعه قرار دادند. در نتایج آن‌ها تاخیر در پاسخ‌های گلیسمی و کاهش قند خون مشاهده شد(چانگ و همکاران[9]،۲۰۱۸) . با توجه به پیشینه تحقیقات مطرح شده تمرینات تناوبی و بیتروت بر کنترل دیابت، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات تعاملی تمرین تناوبی و مصرف چغندر بر کنترل دیابت نوع ۲ انجام شده است.

[1] . Inoue et al
[2] . Tan et al
[3] . Kumar et al
[4] . Miketinas et al
[5] . Pahwa et al
[6] . Jiang et al
[7] . Sayyar et al
[8] . Iwai et al
[9]. Chang et al

مواد و روش‌ها

در این مطالعه ٤٠ سر موش ماده بالغ نژاد ویستار از مرکز پرورش و تکثیر حیوانات آزمایشگاهی دانشگاه واحد مرودشت تهیه گردید و جهت سازگاری به مدت یک هفته در آزمایشگاه نگهداری شدند. روز هفتم تعداد ۳۲ سر موش پس از ١٦ ساعت ناشتا تحت تزریق صفاقی ۵۵ mg/kg استروپتوزتوسین حل شده در بافر سیترات (ساخت شرکت سیگما آلدریچ آمریکا) قرار گرفتند و پس از ٤ روز قند خون آنها توسط گلوکومتر و به روش پانچ کردن اندازه‌گیری شد. موش‌های با قند بالای ۳۰۰ mg/dl به صورت تصادفی درگروه‌های تیمار قرار گرفتند. موش‌ها براساس قند خون ناشتا به گروه‌های (۱) دیابت، (۲) تمرین تناوبی شدید، (۳) مصرف مکمل آب چغندر (بیتروت)، (٤) تمرین تناوبی شدید و مکمل آب چغندر (بیتروت) (۵) کنترل گروه‌بندی صورت گرفت، در ادامه گروه‌های ۲ و ٤ (چهار هفته، ٤ جلسه‌ای) تحت تمرین قرار گرفتند و گروه‌های ۳ و ٤ به مدت چهار هفته روزانه ۱۰ kg / mg از وزن بدن آب چغندر قرمز (بیتروت) را به صورت محلول در آب آشامیدنی مصرف کردند. جهت تهیه آب چغندر تازه، ابتدا مقدار کافی چغندر قرمز شسته و قطعه قطعه شد، سپس آب چغندر تازه استخراج شده پس از گذر از صافی کاغذی، به مقدار۱۰ kg / ml از وزن بدن به صورت خوراکی به آنها داده شد(قنبری و همکاران،۲۰۲۲) ، جهت سازگاری به مدت یک هفته، با سرعت ۵ تا ۱۰ m /min به مدت ۱۰ تا ۱۵ min فعالیت را آغاز کردند. سپس گروه‌های تمرینی به مدت چهار هفته به تمرین ادامه دادند. مدت زمان دویدن بر روی نوار گردان ٤٤ دقیقه (شامل ٦ دقیقه گرم کردن (سرعت ۱۰ تا ۱۲m/min)، ۵ دوره تمرین ٤ دقیقه‌ای با تناوب شدید (۷۰ تا ۹۵ %) و ٤ دوره تمرین ۳ min با شدت کم (۵۰ تا ٦۰ ٪) و ٦ دقیقه سرد کردن) بود. لازم به ذکر است شیب نوار گردان صفر درجه در نظر گرفته شد(عبداللهی و همکاران،۲۰۲۳).

٤٨ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین، بعد از ١٦ ساعت ناشتا موش‌ها توسط کتامین و زایلازین به نسبت (۵ به ۳) تحت بیهوشی قرار گرفتند و سپس خونگیری با سرنگ ۵ cc به طور مستقیم از قلب صورت گرفت.

جهت اندازه‌گیری گلوکز خون از دستگاه گلوکومتر و جهت اندازه‌گیری انسولین از کیت الایزای حیوانی شرکت Raybio (Rat Insulin ELISA Kit) استفاده گردید. همچنین شاخص مقاومت به انسولین با استفاده از مقادیر گلوکز خون و انسولین خون طبق فرمول HOMA-IR محاسبه گردید.

HOMA-IR (مدل ارزیابی هموستازیس) = { [انسولین ناشتا (μU/ml)] × [گلوکز ناشتا (mmol/l)]}/22/5

یافته‌ها

با توجه به نتایج، چهار هفته تمرین تناوبی شدید به همراه مکمل آب چغندر(بیتروت)، بر کاهش گلوکز خون موش‌های دیابتی بالغ نژاد ویستار نسبت به گروه کنترل، دیابت و مکمل تاثیر معنی‌داری داشت (p=۰/۰۰۲) (F=٦/٨٥٨)، همچنین چهار هفته تمرین تناوبی شدید به همراه مکمل آب چغندر(بیتروت) بر بهبود مقاومت به انسولین (p=۰/۰۳۳) (F=۳/٤۹۹)، و کاهش مقاومت به انسولین (p=۰/۰۰٦) و (F=٥/٤٨٨) در موش‌های دیابتی بالغ نژاد ویستارنسبت به گروه مکمل، دیابت و کنترل تاثیر معنی‌داری نشان داد. توزیع میانگین و انحراف معیار گلوکز خون، انسولین و مقاومت به انسولین به ترتیب در جدول ۱، جدول ۲ و جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱. توزیع میانگین و انحراف معیار گلوکز خون در گروه‌های تحقیق

	کنترل	دیابت	مکمل	تمرین	تمرین و مکمل
گلوکز خون(mg/dl)	۱۶۵/۷۵±۱٦/۸۲	۲۷۵/۲٥±٤٤/٦٦	۱۸۴/۷٥±۲٦/٦٦	۱۷۱/۰±۳۸/۰٦	۱۹۲/۷٥±٥۳/۷٥

جدول ۲. توزیع میانگین و انحراف معیار انسولین در گروه‌های تحقیق

	کنترل	دیابت	مکمل	ورزش	ورزش و مکمل
انسولین(میکرو واحد بین الملل بر میلی لیتر)	۱۰/٥۲±۱٦/۸۲	۱۹/۲٥±٤/۷۸	۱۶/۷٥±۳/۰۹	۱٤/٥۰±۳/۷۸	۱۴/۷٥±۲/٦۲

جدول ۳. توزیع میانگین و انحراف معیار مقاومت به انسولین در گروه‌های تحقیق

	کنترل	دیابت	مکمل	ورزش	ورزش و مکمل
مقاومت انسولین	۴/۳٦±۱/۳۸	۱۳/۳۷±٥/۲۱	۷/۷٥±۲/٥٦	٦/۳٤±۲/۷۱	٥/۹۰±۰/۹۰

بحث و نتیجه گیری

همانطور که در بخش یافته‌ها بیان شد، چهار هفته تمرین تناوبی شدید به همراه مکمل آب چغندر(بیتروت) بر گلوکز خون (p<۰/۰۰۲)، انسولین (p<۰/۰۳۳) و بر مقاومت به انسولین (p<۰/۰۰۶) موش‌های دیابتی گروه تمرین و مکمل نسبت به گروه کنترل، دیابت و مکمل تاثیر معنی‌داری نشان داد. همسو با این کار تحقیقاتی، مطالعات

بسیاری نقش تمرینات تناوبی را بر کنترل دیابت و بهبود حساسیت به انسولین تایید می‌کنند. در همین راستا کاظم زاده و همکاران[1](۲۰۱٦)، تاثیر تمرین تناوبی بر حساسیت به انسولین را موثر بیان کردند .از دیگر مطالعات، مطالعه مارکینگو و همکاران[2](۲۰۱۵) است که اثر ٦ هفته تمرین تناوبی را با پروتکل تمرینی ۳ روز در هفته دویدن (۲ دقیقه با سرعت ۱۵ m/min با ۲ دقیقه استراحت) مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد، تمرین تناوبی باعث افزایش حساسیت به انسولین می‌شود. در یک کار تحقیقاتی دیگر نجف‌آبادی و همکاران،۲۰۲۰ اثر ۸ هفته تمرین تناوبی را بر شاخص مقاومت به انسولین در زنان دیابتی مورد مطالعه قرار دادند. پروتکل تمرین تناوبی ٤ دوره ۳۰ ثانیه‌ای رکاب زدن تا سر حد واماندگی با ۲ دقیقه زمان برای بازیافت بود. نتایج آن‌ها نیزکاهش در مقاومت به انسولین را نشان داد(نجف آبادی و همکاران[3]،۲۰۲۰) . مطالعات مکانیزم‌های مختلفی را در راستای اثربخشی تمرین بر کنترل دیابت و حساسیت به انسولین مطرح می‌کنند. هنگام فعالیت بدنی، میزان مصرف گلوکز ٤۰– ۵۰ برابر می‌شود، درنتیجه انتقال گلوکز به وسیله سیگنال‌های مربوط با توالی‌های تحریک و انقباض با افزایش جریان خون مویرگی عضلات تنظیم می‌گردد. بطور برجسته افزایش کلسیم درون سلولی و عوامل سیگنالینگ متابولیک مربوط به سلول عضلانی شامل AMPK و گلیکوژن سلول عضلانی در این راستا نقش دارند. در همین زمینه تحقیقات نشان می‌دهند، تمرین تناوبی با فعالسازی پروتئین‌کیناز فعال کننده آدنوزین منوفسفات (AMPK)، باعث افزایش انتقال گلوکز به داخل سلول می‌شود(رودریگز و همکاران[4]،۲۰۱٤) . کلسیم یکی از شناخته شده‌ترین محرک‌های انتقال گلوکز از طریق انتقال GLUT4 (انتقال دهنده گلوکز) به سمت سارکولما سلول عضلانی است. تحقیقات بیان می‌کنند، تمرین تناوبی با فراخوانی سلول‌های عضلانی بیشتر و درگیری ارگان‌های متابولیکی در سطح مولکولی، باعث افزایش متابولیسم کل بدن می‌شوند(رودریگز و همکاران،۲۰۱٤). این افزایش متابولیسم تا ساعاتی پس از اتمام فعالیت باقی می‌ماند. از آنجاییکه عضلات اسکلتی چه در زمان استراحت و چه در زمان فعالیت به تجزیه چربی متکی هستند، مطالعات نشان می‌دهند، تمرینات تناوبی پرشدت اکسیداسیون چربی‌ها را به سمت استفاده از IMTG (تری گلیسیرید درون عضلانی) سوق می‌دهد(تانبل و همکاران[5]،۲۰۱٦) . از سویی در مسیر متابولیسم، سایتوکاین‌های ترشح شده از بافت چربی باعث دگرگونی مسیر سیگنالینگ انسولین می‌شوند. بسیاری از تحقیقات افزایش محتوای میتوکندری سلول، افزایش پروتئین‌های حامل اسید چرب، افزایش بتا اکسیداسیون، تغییر در آدیپوکاین‌ها، کاهش بافت چربی شکمی، کاهش تجمع اسید چرب آزاد را از سازکارهای تمرینات تناوبی در راستای بهبود حساسیت به انسولین در افراد دیابتی معرفی می‌کنند(کیم و همکاران[6]،۲۰۰۷). میوفیبریل‌هایی که دارای میتوکندری بالاتری هستند، بدلیل افزایش ظرفیت اکسیداتیو میتوکندری باعث افزایش

[1] . Kazemzadeh et al.
[2] . Marcinko et al
[3] . Najafabadi et al
[4] . Rodríguez et al
[5] . Turnbull et al
[6] . Kim et al

پردازش گلوکز می‌شود(لی[1]،۲۰۱۸). تجمع اسید چرب آزاد با آسیب یا مرگ سلول‌های بتای پانکراس ارتباط دار دارد. همچنین میزان بالای اسید چرب آزاد منجر به کاهش عملکرد هگزوکیناز II و گلوکز ٦ فسفاتاز عضلانی و در نهایت افزایش مقاومت به انسولین می‌شود. در نتیجه تمرینات تناوبی با کاهش تجمع اسید چرب آزاد از آپوپتوز (مرگ سلولی) سلول‌های بتا پانکراس جلوگیری می‌کند. همچنین در همین راستا مطالعات نشان می‌دهند، تمرین تناوبی بر فاکتور RBP4 (آدیپوکاین مترشحه از بافت چربی) اثر کاهشی دارد و از این طریق باعث بهبود شاخص مقاومت به انسولین در افراد می‌شود(کرشا و فیلر،۲۰۰٤). یکی دیگر از مکانیزم‌های موثر تمرینات تناوبی در بهبود حساسیت به انسولین تغییرات در بیان بسیاری از ژن‌ها است. از جمله می‌توان به تغییرات در بیان ژن PGC-1α (Peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1-alpha) و سطح بیان ژن AdipoR1 (receptor Adiponectin1) اشاره کرد (زادنت و همکاران[2]،۲۰۱۹). تمرین تناوبی از طریق مسیر AMPK باعث افزایش بیان PGC-1α می‌شود. PGC-1α یک فاکتور رونویسی موثر در ظرفیت اکسیداتیو و عملکرد میتوکندری سلول است. سرکوب این فاکتور و اختلال در عملکرد میتوکندری ارتباط معنی‌داری با دیابت و حساسیت به انسولین داردافزایش بیان PGC-1α باعث افزایش بیان GLT4 می‌شود. نتیجه بهبود عملکرد میتوکندری و توانایی عضله برای اکسیداسیون بیشتر کربوهیدرات از طریق سازگاری‌های تمرین تناوبی بهبود مقاومت به انسولین ایجاد می‌شود(هسیلینک و همکاران[3]،۲۰۱٦) . ازسویی، تمرین تناوبی بر افزایش پروتئینی به نام بتاتروفین/ لیپازین تاثیر معنی‌دار دارد. ژن لیپاژن باعث افزایش تکثیر سلول‌های بتا و بهبود روند تولید انسولین می شود(صالحی و همکاران،۲۰۲۰). در مجموع فعالیت بدنی با تمام مکانیزم‌های عنوان شده باعث پدیدار شدن گیرنده گلوکز در سطح غشا و افزایش کارایی آنها و کاهش مقاومت به انسولین می‌شود. از سویی مصرف گیاه چغندر یکی دیگر از فاکتورهای مورد مطالعه این تحقیق است. همانطور که در بخش داده ها مطرح شد، مصرف این مکمل در کنار تمرین تناوبی اثر معنی‌داری بر شاخص‌های گلیسمی نسبت به گروه کنترل، دیابت و مکمل نشان داد. مصرف وعده‌های غذایی حاوی مقادیر زیاد CHO باعث افزایش گلوکز و ترشح انسولین می‌شود، حملات مکرر هیپرگلیسمی و هیپرانسولینی، منجر به مقاومت به انسولین می‌شود. در این راستا مطالعات نشان می‌دهند، پلی‌فنول‌ها با کاهش جذب و انتقال گلوکز از هایپرانسولینی واکنشی جلوگیری می‌کنند(ناصری و همکاران[4]،۲۰۱۸). همچنین ترکیبات پلی‌فنلی از طریق مهار α –آمیلاز (آنزیم هیدرولیز کننده) و α–گلوکوزیداز کمک به کنترل گلوکز می‌کنند. تحقیقات نشان می‌دهند چغندر دارای ترکیبات پلی‌فنولی فراوان مانند کافئیک اسید و اپیکاتچین است .فیبر فراوان موجود در چغندر باعث تقویت احساس سیری، کنترل اشتها و کاهش وزن می‌شود(اکبر و همکاران[5]،۲۰۱۱). بتالین موجود در چغندر باعث تقویت وضعیت دفاعی درون سلولی در برابر آسیب اکسیداتیو می‌شود(چانگ،۲۰۱۸). بتالین آبشار سیگنالینگ‌های التهابی در سلول NF-KB (فاکتور هسته‌ای کابا بی) را هدف قرار می‌دهد. فعال‌سازی این فاکتور رونویسی منجر به تحریک پاسخ‌های التهابی سایتوکاین‌ها، سلول‌های آپوپتوز و فاگوسیتوز و مقاومت به

[1] . Lee
[2] . Za’donet al
[3] . Hesselink et al
[4] . Naseri et al
[5] . Akbar et al

انسولین می‌شود(باکر و همکاران[1]،۲۰۱۱). همانطور که قبلا اشاره شد، یکی دیگر از مواد تشکیل دهنده در چغندر نیترات است. در همین راستا مطالعات نشان می‌دهند نیترات، با بهبود کارایی میتوکندری در سلول، عملکرد ورزشی را افزایش می‌دهد(گاپتا[2]،۲۰۱۷). تحقیقات نشان دادند سطح نیترات خون ۲-۳ ساعت بعد از مصرف چغندر به بالاترین حد خود می‌رسد(سنفیلد و همکاران[3]،۲۰۲۰) . همسو با این مطالعات، اولمس و همکاران(۲۰۱٦)، بیان کردند ٦ هفته مصرف آب چغندر باعث کاهش قند خون می‌شود . علی احمدی و همکاران(۲۰۲۱) اثر ۱۰۰ mg چغندر به مدت ۸ هفته را بر نشانگرهای متابولیکی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند، چغندر در کنترل دیابت و افزایش حساسیت به انسولین موثر است . کومار و همکاران ۲۰۲۰،نیز اثر مصرف چغندر بر کنترل دیابت را تایید کردند . مهار هضم کربوهیدرات و جذب گلوکز در روده با تعدیل ترشح گلوکز از کبد را به عنوان مکانیزم مطرح کردند. در بسیاری از مطالعات جهت هم افزایی اثر تمرین بر کنترل دیابت از مکمل‌های گیاهی استفاده شده است. برخی تحقیقات به بررسی اثر همزمانی تمرین پر شدت و مصرف مکمل چغندر در افراد دیابتی پرداختند. در همین راستا عبدالهی و همکاران(۱٤۰۱)، اثر همزمانی ٤ هفته تمرین تناوبی و مصرف چغندر را بر دو فاکتورNRF1 وTFAM (پروتئین موثر در بیوزنز میتوکندری) بافت چربی مورد مطالعه قرار دادند. در نتایج آن‌ها تمرینات تناوبی به همراه مصرف چغندر باعث افزایش بیان ژنNRF1 وTFAM و بهبود دیابت شد . همانطور که اشاره شد هر دو متغیر از طریق مکانیزم‌های متفاوت قادر به کنترل شاخص‌های متابولیکی هستند. بنابراین کاربرد همزمان تمرین تناوبی و مصرف مکمل گیاهی چغندر می‌تواند به عنوان یک راهکار کنترل دیابت نوع ۲ مورد توجه بیماران دیابتی قرار گیرد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به ارتباط قابل ملاحظه سن و کیفیت زندگی با شیوع اختلالات متابولیکی، شاید با تغییر برخی فاکتورها بتوان ابتلا به دیابت نوع ۲ را کنترل کرد. ضمن نقش فعالیت بدنی برکنترل دیابت و افزایش حساسیت به انسولین، با توجه به نتایج مطالعه حاضر به نظر می‌رسد استفاده همزمانی تمرینات تناوبی شدید و مصرف مکمل چغندر اثر هم افزایی بر کاهش میزان گلوکز خون و بهبود شاخص‌های گلیسمی بیماران دیابتی دارد. لذا می‌توان اظهار داشت که استفاده از مکمل آب چغندر(بیتروت) همراه با تمرین تناوبی به عنوان یک راهکار درمانی موثر در بیماران دیابتی مطرح شود.

[1] . Baker et al
[2] . Gupta
[3] . Senefeld et al

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد در دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان می‌باشد. از مدیریت محترم آزمایشگاه فیزیولوژی دانشکده آزاد اسلامی واحد مرودشت و کلیه دست اندرکاران این پژوهش، کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

Abdollahi, M., Hosseini, M., Riyahi, Malayeri, S. (2023). The Effect of High Intensity Training and Beetroot Consumption on NRF1 and TFAM in Visceral Adipose Tissue of Aged Type 2 Diabetic Rats. ijdld , 22 (6) :361-371**.**

Akbar, S., Srikanth, B., and Helen, R. Griffith,s. (2011). Dietary antioxidant interventions in type 2 diabetes patients: a meta-analysis', The British Journal of Diabetes & Vascular Disease, 11: 62-68.

Aliahmadi, M., Amiri, F., Bahrami,L., Hosseini,F., Abiri,B., Vafa.M.(2021). 'Effects of raw red beetroot consumption on metabolic markers and cognitive function in type 2 diabetes patients', Journal of Diabetes & Metabolic Disorders, 20: 673-82.

Baker, Rebecca. G., Matthew, S., Hayden, and Sankar, Ghosh. (2011). 'NF-κB, inflammation, and metabolic disease', Cell metabolism, 13: 11-22.

Chang, P.Y., M.S. Hafiz, and C., Boesch.(2018). 'Beetroot juice attenuates glycaemic response in healthy volunteers', Proceedings of the Nutrition Society, 77: E165.

da Silva Rosa, S.C., Nayak, N., Caymo, A.M. and Gordon, J.W.(2020). Mechanisms of muscle insulin resistance and the cross- talk with liver and adipose tissue. Physiological Reports, 8(19), p.e14607

Godarz., Moradi ,Mehran., Ghahramani.(2022). 'The effect of aerobic and interval training on adropine levels and insulin resistance in overweight men'. Journal of sports and biological sciences. 14(27), 13-23.

Ghanbari, Parisa., Sanaz., Khajehzadeh, Asieh., Sayyed., Davood Raeisi, and Omidreza., Salehi.(2022). 'The effect of high intensity interval training with beetroot (Beta vulgaris) juice supplementation on serotonin and dopamine receptors expression, anxiety and depression in middle-aged diabetic rats', Avicenna Journal of Phytomedicine, 12.

Gupta, Kapuganti., Jagadis, Chun, Pong, Lee., and R., George., Ratcliffe. (2017). 'Nitrite protects mitochondrial structure and function under hypoxia', Plant and Cell Physiology, 58: 175-83.

Hesselink, Matthijs, K.,C., Vera, Schrauwen-Hinderling., and Patrick, Schrauwen. (2016). 'Skeletal muscle mitochondria as a target to prevent or treat type 2 diabetes mellitus', Nature reviews endocrinology, 12: 633-45.

Holvoet, Paul. (2006). 'Obesity, the metabolic syndrome, and oxidized LDL', American journal of clinical nutrition, 83: 1438.

Iwai, Kunihisa., Mi-Yeon Kim, Akio., Onodera, and Hajime, Matsue. (2006). 'α-Glucosidase Inhibitory and Antihyperglycemic Effects of Polyphenols in the Fruit of Viburnum dilatatum Thunb', Journal of agricultural and food chemistry, 54: 4588-92.

Jiang, Hong., Ashley, C., Torregrossa, Amy., Potts, Dan, Pierini., Mayank, Aranke., Harsha, K., Garg, and Nathan, S., Bryan.(2014). 'Dietary nitrite improves insulin signaling through GLUT4 translocation', Free radical biology and medicine, 67: 51-57.

Kazemzadeh, Y., A., Banaifar, H., Shirvani, and A., Gharaat. (2016). 'The effect of high intensity interval training HIIT on body composition, lipid profile and insulin sensitivity in overweight young men'.

Kershaw, Erin, E., and Jeffrey, S., Flier. (2004). 'Adipose tissue as an endocrine organ', The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, 89: 2548-56.

Kim, Eun. ,Sung., Jee,Aee., Im, Kyoung, Chul Kim., Ji Hye., Park, Sang,Hoon, Suh., Eun, Seok, Kang., So, Hun, Kim., Yoonsuk, Jekal., Chul, Won, Lee., and Yong,Jin, Yoon. (2007). 'Improved insulin sensitivity and adiponectin level after exercise training in obese Korean youth', Obesity, 15: 3023-30.

Kumar, S., S., Kumari, N.K .Dubey, and D. Usha. (2020). 'Anti-Diabetic and Haematinic Effects of Beetroot Juice (Beta vulgaris L.) in Alloxan Induced Type-1 Diabetic Albino Rats', J. Diabetes Res. Ther, 6: 1-3.

Kumar, P., Sravan, and Asish, Bhaumik.(2016) "Evaluation of anti-diabetic activity of ethanolic extract of beet root (EEBT-BETA VULGARIS) against streptozocin induced diabetic rats." (2016): 1-6.

Lee, H., and Song, W.,(2018). Exercise and mitochondrial remodeling in skeletal muscle in type 2 diabetes. Journal of obesity & metabolic syndrome, 27(3), p.150.

Inoue, Daniela, Sayuri,. Marco, Túlio, De Mello., Denis, Foschini., Fabio, Santos, Lira., Aline, De Piano, Ganen., Raquel, Munhoz, Da, Silveira, Campos., Priscila, De, Lima., Sanches, Patrícia, Leão., Silva, Flávia, Campos, Corgosinho., and Fabrício, Eduardo, Rossi. (2015). 'Linear and undulating periodized strength plus aerobic training promote similar benefits and lead to improvement of insulin resistance on obese adolescents', Journal of Diabetes and its Complications, 29: 258-64.

Mackenzie, Richard., Neil, Maxwell., Paul, Castle., Gary, Brickley., and Peter, Watt. (2011). 'Acute hypoxia and exercise improve insulin sensitivity (SI2*) in individuals with type 2 diabetes', Diabetes/metabolism research and reviews, 27: 94-101.

Marcinko, Katarina., Sarah. R., Sikkema, M., Constantine, Samaan., Bruce, E., Kemp, Morgan, D., Fullerton, and Gregory, R., Steinberg. (2015). 'High intensity interval training improves liver and adipose tissue insulin sensitivity', Molecular metabolism, 4: 903-15.

Miketinas, Derek, C., George, A. Bray, Robbie, A., Beyl, Donna, H., Ryan, Frank, M., Sacks, and Catherine, M., Champagne. (2019). 'Fiber intake predicts weight loss and dietary adherence in adults consuming calorie-restricted diets: the POUNDS lost (preventing overweight using novel dietary strategies) study', The Journal of nutrition, 149: 1742-48.

Najafabadi, Zahra., Faze., Akbar, Azamian, Jazi, and Ebrahim., Banitalebi. (2020). 'Effect of Eight Weeks High Intensity Interval Training (HIIT) and Combined Training on Serum Liver Enzymes and Insulin Resistance Index in Women with Type ۲Diabetes'.

Naseri, Rozita., Fatemeh., Farzaei, Pouya., Haratipour, Seyed., Fazel., Nabavi, Solomon., Habtemariam, Mohammad. Hosein., Farzaei, Reza., Khodarahmi, Devesh., Tewari, and Saeideh.,

Momtaz. (2018). 'Anthocyanins in the management of metabolic syndrome: A pharmacological and biopharmaceutical review', Frontiers in Pharmacology, 9: 1310.

Olumese, Fidelis., and Henrietta, Oboh. (2016). 'Effects of daily intake of beetroot juice on blood glucose and hormones in young healthy subjects', Niger QJ Hosp Med, 26: 455-62.

Pahwa, Roma., Amandeep, Goyal., and Ishwarlal, Jialal. (2021). 'Chronic inflammation', StatPearls [Internet].

Riyahi Malayeri, Shahin., and Mohammadamin., Saei. (2019). 'Changes in Insulin resistance and serum levels of resistin after 10 weeks high intensity interval training in overweight and obese men', Sport Physiology & Management Investigations, 10: 31-42.

Salehi, S., Khosravi, N., Delfan, M.(2020). THE EFFECT OF 8 WEEKS OF HIGH INTENSITY INTERVAL AND ENDURANCE TRAINING ON LIPASIN GENE EXPRESSION IN RATS WITH TYPE 2 DIABETES. ijdld; 19 (5) :281-289.

Sayyar, Armin., Mohammad., Oladi, Mehran,. Hosseini, Samaneh., Nakhaee, Zomorrod,. Ataie, and Khadijeh .,Farrokhfall. (2022). 'Effect of red beetroot juice on oxidative status and islet insulin release in adult male rats', Diabetology & Metabolic Syndrome, 14: 1-9.

Senefeld, Jonathon, W., Chad, C. Wiggins, Riley, J., Regimbal, Paolo, B., Dominelli, Sarah., E., Baker, and Michael, J., Joyner.(2020). 'Ergogenic effect of nitrate supplementation: A systematic review and meta-analysis', Medicine and science in sports and exercise, 52: 2250.

Tan, Dehong., Yiheng, Wang., Bing Bai, Xuelian., Yang, and Junyan, Han. (2015). 'Betanin attenuates oxidative stress and inflammatory reaction in kidney of paraquat-treated rat', Food and Chemical Toxicology, 78: 141-46.

Turnbull, Patrick, C., Amanda, B., Longo, Sofhia, V., Ramos, Brian, D., Roy, Wendy, E., Ward, and Sandra, J., Peters. (2016). 'Increases in skeletal muscle ATGL and its inhibitor G0S2 following 8 weeks of endurance training in metabolically different rat skeletal muscles', American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 310: R125-R33.

Za'don, Nur Hidayah, Asilah, A.,F.,M., Kamal, F., Ismailbeetroot, S.,I.,T., Othman, M., Appukutty, N., Salim, N.,F.,M., Fauzi, and A.,F.,M., Ludin. (2019). 'High-intensity interval training induced PGC-1α and Adipor1 gene expressions and improved insulin sensitivity in obese individuals', Med J Malaysia, 74: 461-7.