ISSN: 2645-3940 DOI: 10.29252/npwjm.13.46.44

The Effect of Eight Weeks of High-Intensity Interval Training with Nigella sativa Supplementation on MDA، TOC, and TAC Indices in Rats with Type 2 Diabetes

Abstract

Sussan Ramsari[1]
Bahram Abedi [2]
Lida Moradi [3]

Introduction: Attention to physical activity approaches and the use of herbal supplements has emerged as a strategy for better diabetes management. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of eight weeks of high-intensity interval training (HIIT) combined with black seed (Nigella sativa) supplementation on oxidative stress markers in rats with type 2 diabetes.

Methods: This was a semi-experimental study. Forty rats, after one week of adaptation, were divided into five groups: healthy control, diabetic control, exercise, supplement, and exercise + supplement. Diabetes was induced by intraperitoneal injection of streptozotocin at a dose of 50 mg/kg of body weight. The high-intensity interval training consisted of running sessions for eight weeks. Black seed extract was administered orally by gavage at the end of each training session at an effective dose of 400 mg/kg/day.

Finding: The results showed a reduction in serum levels of MDA and TOC due to high-intensity interval training and black seed supplementation compared to the diabetic control group. This effect in the HIIT + black seed group led to a decrease in TOC and MDA levels to the extent observed in the healthy control group. Furthermore, serum TAC levels increased in response to HIIT and black seed supplementation. HIIT alone was more effective than black seed supplementation alone in increasing serum TAC levels.

Conclusion: Overall, this study highlights the importance of using combined approaches involving exercise and antioxidant supplements in managing type 2 diabetes.

Keywords: High-Intensity Interval Training, Black Seed, Malondialdehyde, Total Antioxidant Capacity, Total Oxidative Capacity.

Affiliations

1. Department of Physical Education and Sports Science, NT.C., Islamic Azad University, Tehran
2. Department of Physical Education and Sports Science, NT.C., Islamic Azad University,Tehran. Corresponding Author. Email: Bahram.Abedi@iau.ac.ir
3. Department of Physical Education and Sports Science, NT.C., Islamic Azad University, Tehran

ISSN: 2645-3940 DOI: 10.29252/npwjm.13.46.44

اثر هشت هفته تمرین تناوبی با شدت بالا به همراه مکمل سیاه‌دانه بر شاخص‌های MDA، TOC و TAC در رت‌های مبتلا به دیابت نوع ۲

چکیده

سوسن رامسری[۱]
بهرام عابدی[۲*]
لیدا مرادی [۳]

مقدمه: توجه به رویکردهای فعالیت بدنی و استفاده از مکمل‌های گیاهی، به‌عنوان راهکاری برای مدیریت بهتر دیابت مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین هدف مطالعه اثر هشت هفته تمرین تناوبی با شدت بالا به همراه مکمل سیاهدانه بر شاخص‌های استرس اکسیداتیو در رتهای مبتلا به دیابت نوع ۲ بود.

روش کار: روش مطالعه حاضر به صورت نیمه تجربی بود۴۰ موش بعد از یک هفته سازگاری، به گروه‌های کنترل سالم، کنترل دیابتی، تمرین، مکمل، تمرین و مکمل تقسیم شدند. القای دیابت به روش تزریق داخل صفاتی استرپتوزوتوسین به میزان ۵۰ میلیگرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن انجام شد. تمرین هوازی تناوبی با شدت بالا شامل دویدن به مدت ۸ هفته بود. عصاره سیاهدانه، پایان هرجلسه تمرینی به صورت گاواژ و با دوز مؤثر ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم/ روز به موش‌ها خورانده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد کاهش سطوح سرمی MDA و TOC بر اثر تمرین تناوبی با شدت بالا و مکمل‌یاری سیاه‌دانه در مقایسه با گروه کنترل دیابت مشاهده شد. این اثر در گروه تمرین تناوبی با شدت بالا و مکمل سیاه‌دانه موجب کاهش سطوح سرمی TOC و MDA تا سطح گروه کنترل گردید. همچنین، نتایج نشان داد، سطوح سرمی TAC در پاسخ به تمرین تناوبی با شدت بالا و مکمل‌یاری با سیاه‌دانه افزایش نشان داد. همچنین تمرین تناوبی با شدت بالا نیز اثرگذاری بیشتری نسبت به مصرف مکمل سیاه‌دانه بر افزایش سطوح سرمی TAC داشت.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، این تحقیق اهمیت استفاده از رویکردهای ترکیبی شامل تمرینات ورزشی و مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی در مدیریت دیابت نوع ۲ را نشان داد.

کلمات کلیدی: تمرین تناوبی با شدت بالا، سیاهدانه، مالون‌دی‌آلدئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام، ظرفیت اکسیداتیو تام.

وابستگی سازمانی نویسندگان

۱. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی تهران

۲. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی تهران. نویسنده مسئول. پست الکترونیک: Bahram.Abedi@iau.ac.ir

۳. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی تهران

مقدمه

دیابت یک اختلال متابولیک مزمن است که میلیون‌ها بیمار را در سراسر جهان تحت تاثیر قرار میدهد(۱). دیابت با افزایش مزمن سطح انسولین محیطی و کاهش همزمان فعالیت انسولین مغزی مشخص میشود(۲). ویژگی اصلی نوع دیابت نوع ۲، اختلال در سیگنال‌دهی انسولین داخل سلولی است(۳،۴). نشان داده شده است که دیابت نوع ۲، تقریباً بر همهی اندام‌های بدن از قبیل قلب، کبد، معده، روده، مغز و غیره تأثیرگذار است و عملکرد طبیعی آنها را مختل می‌کند(۵).

یکی از مکانیزم‌های کلیدی در پاتوژنز دیابت نوع ۲، برهم خوردن تعادل بین تولید رادیکال‌های آزاد و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بدن است(۶). این عدم تعادل منجر به آسیب‌های سلولی و بافتی شده و شاخص‌های استرس اکسیداتیو مانند مالون‌دی‌آلدئید(MDA[1]) افزایش یافته و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تام (TAC[2]) و ظرفیت اکسیداتیو تام (TOC[3]) تغییر می‌یابد(۷). MDA، یکی از محصولات نهایی فرآیند پراکسیداسیون لیپیدها است که در اثر تخریب اسیدهای چرب غیر اشباع غشای سلولی توسط رادیکال‌های آزاد تولید می‌شود (۸،۹). از سوی دیگر، TAC به‌عنوان شاخصی کلی از قدرت دفاعی بدن در برابر استرس اکسیداتیو در نظر گرفته می‌شود؛ به‌عبارت دیگر، TAC مجموع فعالیت تمام آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی موجود در پلاسما یا بافت را نشان می‌دهد (۱۰،۱۱). تجزیه‌وتحلیل این سه شاخص به پژوهشگران این امکان را می‌دهد که علاوه بر شناسایی شدت استرس اکسیداتیو، اثرات مداخلات درمانی مانند تمرینات ورزشی یا مصرف مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی را نیز با دقت ارزیابی کنند(۱۲،۱۳). پزشکان و محققان به دنبال استراتژی درمانی موثر مانند فعالیت بدنی و تغذیه هستند که میتوانند به پیشگیری و درمان دیابت از طریق تنظیم و تعدیل فرآیند التهابی کمک نمایند(۱۴،۱۵). طی سالهای اخیر نوع تمرین هوازی توجه زیادی را به خود معطوف ساخته است. هدف تمرینات تناوبی اعمال فشارهای مکرر بر دستگاه‌های بدن است که به طور فیزیولوژیکی، منجر به سازگاری های کوتاه مدت و بهبود کارایی انرژی و متابولیکی در بدن میشود(۱۶). در سال‌های اخیر، تأثیر تمرینات تناوبی با شدت بالا(HIIT) و مکمل‌های مختلف بر بهبود شاخص‌های زیستی در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ مورد توجه قرار گرفته است(۱۷،۱۸).

علاوه بر ورزش، در بیماران دیابتی از داروهای شیمیایی و نیز داروهای گیاهی برای کاهش قند خون استفاده میشود(۱۹). یکی از مکمل‌های رایج سیاه دانه می‌باشد که اثر مثبت بر روی متابولیسم دارد و سطح چربی و گلوکز را کاهش می‌دهد و در نتیجه تحمل گلوکز را افزایش میدهد(۲۰). تحقیقات نشان دادند سیاه دانه نقش مهمی در پیشگیری و درمان بیماری‌های التهابی و گوارشی از طریق تعدیل مسیرهای سیگنالی سلولی دارد(۲۱،۲۲،۲۳). این تحقیقات گواهی بر اهمیت ترکیب تمرینات ورزشی و مصرف مکمل‌های گیاهی برای کاهش آسیب‌های ناشی از استرس اکسیداتیو و بهبود کیفیت زندگی در بیماران دیابتی است. اگرچه تحقیقات گسترده‌ای در زمینه تأثیر تمرینات HIIT و مکمل‌های مختلف بر بهبود وضعیت متابولیکی و کاهش استرس اکسیداتیو در بیماران دیابتی وجود دارد، اما هنوز بسیاری از جنبه‌های این موضوع به‌طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین مطالعه حاضر به بررسی اثرات هشت هفته تمرین HIIT همراه با مکمل سیاه‌دانه بر شاخص‌های TAC،MDA و TOC در رت‌های مبتلا به دیابت نوع ۲ پرداخته است.

روش کار

روش مطالعه حاضر به صورت نیمه تجربی با طرح پس آزمون با گروه کنترل بود. در این مطالعه ۴۰ رت نر نژاد ویستار با سن ۶ هفته از موسسه پاستور ایران خریداری شد و پس از انتقال به آزمایشگاه جانوری دانشگاه مازندران در شرایط استاندارد نگهداری حیوانات آزمایشگاهی به صورت گروه‌های ۸ تایی (در دو قفس ۴ تایی) پلی‌اتیلنی استاندارد، با دمای محیط ۲±۲۲ درجه سانتی‌گراد و چرخه نوری ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی نگهداری شدند. در فاز اول، حیوانات بعد از یک هفته سازگاری با محیط آزمایشگاه بر اساس همسانسازی وزنی، به ۲ گروه (۱) کنترل نرمال (سالم) (NC[4]) (۸ سر) و (۲) دیابت (۳۲ سر) تقسیم‌بندی شدند. القای دیابت به روش تزریق داخل صفاتی استرپتوزوتوسین به میزان ۵۰ میلیگرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن به همراه حامل سالین نرمال انجام شد(۱۰). سپس رت‌های گروه دیابت به ۴ گروه: (۱) کنترل دیابتی (DC[5])، (۲) دیابت + تمرین (DT[6])، (۳). دیابت + مکمل (DS[7])، (۴) دیابت + تمرین+ مکمل (DTS) تقسیمبندی شدند. مطالعه حاضر با کد اخلاق REC.SARI.IAU.IR.۱۴۰۳,۲۲۰ در کمیته اخلاقی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری به تصویب رسید. گروه‌های تمرین پس از القای دیابت و آشنایی با نوار گردان برنامه تمرین هوازی تناوبی با شدت بالا را شروع کردند. تمرین هوازی تناوبی با شدت بالا با دویدن به تعداد ۲ نوبت ۳ دقیقه‌ای با سرعت ۲۰-۱۵ متر در دقیقه و استراحت فعال سه دقیقه‌ای با سرعت ۱۴-۱۲ متر در دقیقه بین هر نوبت با شیب ۵ درجه شروع شد. در این پروتکل، تعداد نوبت، سرعت و شیب فعالیت به‌صورت تدریجی به میزان ۶ نوبت با سرعت ۴۰ متر بر دقیقه و ۱۵ درجه افزایش پیدا کرد. جلسه اول تمرینی با سرعت اولیه ۱۵ متر در دقیقه شروع و سپس در هر جلسه ۵ متر در دقیقه بر اساس توانایی موش‌ها به‌سرعت نوارگردان اضافه شد.

1.Malondialdehyde
2.Total Antioxidant Capacity
3.Total Oxidative Capacity

4. Normal Control
5. Diabetic Control
6. Diabetes+ Training
7. Diabetes+Supplement

جدول ۱- برنامه تمرین رت های مورد آزمایش در مدت مطالعه

هفته	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم
نوبت	۲	۳	۴	۵	۶	۶	۶	۶
سرعت (متر بر دقیقه)	۱۵	۲۰-۲۵	۲۶-۳۰	۳۱-۳۵	۳۶-۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
شیب (درجه)	۵	۷	۹	۱۱	۱۳	۱۵	۱۵	۱۵

جدول ۲- سطوح سرمی متغیرهای تحقیق به تفکیک گروه‌ها

متغیر	گروه	میانگین	انحراف استاندارد	کمینه	بیشینه	P value
گلوکز (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)	کنترل سالم	۱۰۱.۲۳	۱۰.۱۶	۹۱.۷۴	۱۱۱	۰.۰۴۲
	کنترل دیابت	۱۹۱.۵۷	۳۳.۸۸	۱۵۸.۹۸	۲۲۴.۶۷	
	دیابت + تمرین	۱۱۳.۴۲	۱۴.۵۱	۹۹.۶۷	۱۲۷.۴۱	
	دیابت + مکمل	۱۲۱.۵۸	۱۶.۰۸	۱۰۵.۹۰	۱۳۷	
	دیابت + مکمل + تمرین	۱۱۱.۳۴	۱۱.۰۴	۱۰۰.۱۴	۱۲۲.۱۲	
انسولین (میلی‌واحد در لیتر)	کنترل سالم	۷.۴۷	۰.۱۷	۷.۳	۷.۶۴	۰.۰۲۱
	کنترل دیابت	۱۳.۱۸	۰.۳۹	۷.۴۵	۸.۲۳	
	دیابت + تمرین	۸.۷۲	۰.۲۴	۷.۴۸	۷.۹۶	
	دیابت + مکمل	۸.۸	۰.۲۱	۷.۵۹	۸.۰۱	
	دیابت + مکمل + تمرین	۸.۵۷	۰.۱۸	۷.۳۹	۷.۷۵	
MDA (میکرومولار)	کنترل سالم	۴۱.۱۲	۱۶.۲۵	۲۶	۸۱.۶۸	۰.۰۳۳
	کنترل دیابت	۶۹.۴۰	۱۹.۲۳	۴۳.۴۶	۸۹.۲۴	
	دیابت + تمرین	۴۷.۳۸	۱۴.۱۵	۲۴	۷۲.۶۶	
	دیابت + مکمل	۴۹.۱۶	۱۳.۳۳	۲۷.۷۵	۷۴.۱۲	
	دیابت + مکمل + تمرین	۴۳.۰۹	۹.۸۹	۲۳.۴۴	۵۷.۵۴	
TAC (میلی‌مولار)	کنترل سالم	۰.۲۶	۰.۰۲	۰.۱۸	۰.۲۸	۰.۰۳۹
	کنترل دیابت	۰.۱۳	۰.۰۲	۰.۱۲	۰.۲۲	
	دیابت + تمرین	۰.۲۳	۰.۰۴	۰.۱۶	۰.۳۰	
	دیابت + مکمل	۰.۲۱	۰.۰۵	۰.۱۷	۰.۲۹	
	دیابت + مکمل + تمرین	۰.۲۴	۰.۰۴	۰.۱۶	۰.۳۱	
TOC (میکرومولار)	کنترل سالم	۱۲.۱۳	۱.۶	۹.۳۸	۱۴.۴۱	۰.۰۳۸
	کنترل دیابت	۱۶.۰۷	۲.۳	۱۲.۴۱	۱۷.۸۴	
	دیابت + تمرین	۱۳.۸۱	۱.۰۴	۱۰.۳۹	۱۳.۴۸	
	دیابت + مکمل	۱۳.۶۳	۲.۳۶	۹.۹۱	۱۷.۲۲	
	دیابت + مکمل + تمرین	۱۲.۹۱	۲.۰۹	۷.۹۷	۱۵.۹۱	

در انتهای هفته‌ی پنجم سرعت به ۴۰ متر در دقیقه رسید و تا پایان دوره تمرینی ثابت باقی ماند. سرعت نوار گردان در ریکاوری فعال نیز با سرعت ۱۲ متر در دقیقه بـرای جلسـه اول شروع و هر هفته ۱-۲ متر در دقیقه به‌سرعت نوارگردان اضافه شد. تمرینات به مدت ۸ هفته با تواتر ۵ جلسه در هفته بـر روی نوارگـردان موتـوردار اجـرا شـد(۲۴). آزمـون سـرعت بیشـینه در هفتـه میانـی پروتـکل تمریـن بـه منظـور تخمیـن دقیـق

شدت تمرین و تعدیل اثر سازگاری رت‌ها ناشی از تمرین انجام شد و پس از محاسبه سرعت بیشینه جدید، شدت تمرین به طور نسبی اصلاح شد.

عصاره سیاهدانه به کمک قهوه آسیاب کن پودر شده و به وسیلهی دستگاه سوکسله با به حجم ۲۵۰ میلی لیتر حلال ان-هگزان ساخت شرکت Merck به مدت ۲ ساعت عصاره گیری شد. سپس از کاغذ صافی عبور داده و در دمای ۵۰ درجهی سانتیگراد به کمک دستگاه تقطیر در خلاء تغلیظ شد و عصارهی روغنی آن به رنگ زرد به دست آمد و بر اساس وزن بدن موشها، پایان هرجلسه تمرینی به صورت گاواژ و با دوز مؤثر ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم/ روز به موش‌ها خورانده شد(۲۵).

القای دیابت به روش تزریق داخل صفاتی استرپتوزوتوسین[1] به میزان ۳۰ تا ۵۰ میلیگرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن به همراه حامل سالین نرمال انجام شد(۲۶،۲۷،۲۸). یک هفته پس از تزریق برای اطمینان از ایجاد دیابت در رتها، قطرهای خون از ورید دُمی اخذ و میزان قند خون توسط دستگاه گلوکومتر (آکیوچک آلمان) اندازه گیری شد. رتهای دارای قند خون بالای ۱۵۰ میلی گرم بر دسی لیتر دیابتی در نظر گرفته شدند(۲۹). در انتهای اعمال پروتکل‌ها (القای دیابت و ۸ هفته پروتکل تمرین- مکمل)، به مدت ۷۲ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین و پس از ۸ ساعت ناشتایی با تزریق درون صفاقی ترکیبی از کتامین(۸۰ میلیگرم بر کیلوگرم) و زایلازین (۱۰ میلیگرم بر کیلوگرم) بیهوش شدند و آسان کشی شدند. نمونه خونی در حدود ۵ میلی‌گرم از بطن چپ آنها گرفته شد و پس از جداسازی سرم به وسیله سانتریفیوژ (۳۰۰۰ دور در دقیقه)، در دمای۲۰- درجه سانتیگراد برای اندازهگیری شاخص‌های استرس اکسایشی به روش الایزا استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون تحلیل واریانس یک طرفه و آزمون تعقیبی بونفرونی توسط نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۲ در سطح معنی‌داری P≤۰.۰۵ انجام شد.

یافته‌ها

نتایج توصیفی یافته های مطالعه نشان داد که بالاترین و کمترین سطح سرمی MDA به ترتیب در گروه کنترل دیابت (۴۰.۶۹ میکرومول) و گروه کنترل سالم (۱۲.۴۱ میکرومول) بود؛ کنترل سالم و کنترل دیابت نیز به ترتیب بیشترین (۲۶.۰ میلی‌مول) و کمترین (۱۴.۰ میلی‌مول) سطوح سرمی TAC را نشان دادند. همچنین سطوح سرمی TOC نیز بیشترین مقادیر خود را در گروه کنترل دیابت (۰۷.۱۶ میکرومول) و کمترین مقادیر را در گروه کنترل سالم (۱۳.۱۲ میکرومول) نشان داد (جدول شماره ۲). طبق نتایج حاصل از تحلیل واریانس یک‌سویه، تفاوت معنی‌داری در سطوح سرمی MDA (P=۰۳۳.۰)، TAC (P=۰۳۹.۰)، TOC (P=۰۳۸.۰) در بین گروه‌های مطالعه وجود دارد. نتایج آزمون تعقیبی بنفرونی (نمودار ۲) نشان داد که القای دیابت نوع ۲ منجر به افزایش سطوح سرمی MDA (P=۰۰۱.۰)، TOC (P=۰۰۱.۰) و کاهش TAC (P=۰۰۰.۰)، در گروه کنترل دیابت نسبت به گروه کنترل نرمال گردید. کاهش سطوح سرمی MDA و TOC بر اثر تمرین تناوبی با شدت بالا (۰۳۸.۰ و P=۰۲۵.۰) و مکمل‌یاری سیاه‌دانه (P=۰۰۱.۰) در مقایسه با گروه کنترل دیابت مشاهده شد. هر دو گروه تمرین تناوبی با شدت بالا و مکمل سیاه‌دانه نیز به میزان برابری موجب کاهش سطوح سرمی MDA و TOC شدند. این اثر در گروه تمرین تناوبی با شدت بالا + مکمل سیاه‌دانه موجب کاهش سطوح سرمی TOC و MDA تا سطح گروه کنترل گردید. همچنین، طبق نتایج آزمون تعقیبی بنفرونی، سطوح سرمی TAC در پاسخ به تمرین تناوبی با شدت بالا (P=۰۲۴.۰) و مکمل‌یاری با سیاه‌دانه (P=۰۴۲.۰) افزایش نشان داد. تمرین تناوبی با شدت بالا نیز اثرگذاری بیشتری نسبت به مصرف مکمل سیاه‌دانه بر افزایش سطوح سرمی TAC داشت (P=۰۰۴.۰).

بحث:

نتایج تحلیل واریانس نشان داد که القای دیابت نوع ۲ منجر به افزایش سطوح سرمی MDA، TOC و کاهش TAC، در گروه کنترل دیابت نسبت به گروه کنترل نرمال گردید. این یافته‌ها نقش کلیدی استرس اکسیداتیو را در پاتوفیزیولوژی دیابت نوع ۲ هم راستا با تحقیقات پیشین تأیید می‌کند(۳۶-۳۰). از نظر مکانیسمی، افزایش گلوکز خون منجر به اختلال عملکرد میتوکندری و فعال شدن NADPH اکسیداز می‌شود که هر دو از منابع مهم تولید ROS به شمار می‌آیند (۳۲). این فرآیندها موجب افزایش تولیدROS در بافت‌های بدن می‌گردند (۳۳). افزایش سطح TOC در این مطالعه نیز بازتاب‌دهنده افزایش کلی ترکیبات اکسیدان در بدن رت‌های دیابتی است(۳۵). از یافته‌های دیگر این مطالعه این می‌باشد که کاهش سطوح سرمی MDA و TOC و افزایش TAC بر اثر تمرین تناوبی با شدت بالا در مقایسه با گروه کنترل دیابت مشاهده شد. این نتایج با یافته‌های مطالعات پیشین هم‌راستا است(۴۲-۳۷). این نتایج حاکی از آن است که HIIT می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی مؤثر برای کاهش استرس اکسیداتیو و بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در بیماران دیابتی عمل کند. تمرینات HIIT می‌توانند با فعال‌سازی مسیرهای سیگنال‌دهی مانند Nrf۲/ ARE، که مسئول تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی هستند، اثرات مثبت بر کاهش آسیب‌های ناشی از رادیکال‌های آزاد داشته باشند. این مسیرها به کاهش محصولات نهایی گلیکاسیون پیشرفته و افزایش فعالیت آنزیم‌هایی مانند گلوتاتیون پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز منجر می‌شوند(۳۸).

همچنین در این مطالعه مکمل‌یاری سیاه‌دانه باعث کاهش سطوح سرمی MDA و TOC در مقایسه با گروه کنترل دیابت

1. Streptozotocin

گردید در حالیکه منجر به افزایش TAC شد. این یافته‌ها با نتایج مطالعات پیشین تطابق دارد که نشان داده‌اند مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی می‌توانند تاثیرات مثبتی در کاهش استرس اکسیداتیو در بیماران دیابتی داشته باشند(۴۳، ۴۴). این نتایج با مطالعات قبلی که اثرات آنتی‌اکسیدانی سیاه‌دانه را نشان داده‌اند، تطابق دارد. به‌طور خاص، مطالعات نشان می‌دهند که سیاه‌دانه با ترکیبات فعال مانند تیموکینون، می‌تواند به کاهش تولید ROS کمک کند، که منجر به کاهش آسیب‌های ناشی از استرس اکسیداتیو و بهبود شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی در بدن می‌شود(۲۳).

همچنین نتاج مطالعه نشان داد که تمرین تناوبی با شدت بالا و مکمل سیاه‌دانه موجب کاهش سطوح سرمی TOC و MDA و افزایش TAC شد. همچنین نتایج نشان داد که تغییرات کاهشی سطوح سرمی MDA و TOC و افزایشی سطح سرمی TAC در گروه تمرین تناوبی با شدت بالا و مکمل سیاه‌دانه بیشتر بود. در یک مطالعه مشابه، ماهر و همکاران(۲۰۲۱) نشان دادند که تمرینات تناوبی با شدت بالا موجب کاهش استرس اکسیداتیو در بیماران دیابتی نوع ۲ می‌شود(۴۵). از سوی دیگر، در تحقیقی دیگر که توسط علی‌زاده و همکاران (۲۰۲۰) انجام شد، مکمل سیاه‌دانه با اثرات آنتی‌اکسیدانی خود باعث کاهش سطح MDA و TOC در بیماران دیابتی نوع ۲ گردید(۴۶). در ترکیب این دو مداخله، تأثیرات هم‌افزا بر کاهش MDA و TOC و افزایش TAC مشاهده می‌شود که منجر به کاهش استرس اکسیداتیو و بهبود وضعیت متابولیک می‌گردد(۴۶). همچنین این اثرات ممکن است به دلیل فعال‌سازی مسیرهای سیگنالینگ آنتی‌اکسیدانی مانند Nrf۲ باشد که با افزایش بیان ژن‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز به کاهش استرس اکسیداتیو کمک می‌کند(۳۲).

نتیجه گیری

نتیجه‌گیری این مطالعه نشان داد که تمرین تناوبی با شدت بالا همراه با مکمل سیاه‌دانه به‌طور معناداری موجب کاهش سطوح سرمی MDA و TOC و افزایش TAC در رت‌های مبتلا به دیابت نوع ۲ شد. این ترکیب درمانی به‌طور چشمگیری بهبود عملکرد سیستم آنتی‌اکسیدانی و کاهش استرس اکسیداتیو در بدن را به همراه داشت.

تشکر و قدر دانی

این مطالعه بر گرفته از رساله دکتری در رشته فیزیولوژی ورزشی از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال است لذا از مسئولین دانشکده تربیت بدنی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

1. Goldney J, Sargeant JA, Davies MJ. Incretins and microvascular complications of diabetes: neuropathy, nephropathy, retinopathy and microangiopathy. Diabetologia. 2023 Oct;66(10):1832-1845.
2. Longo S, Rizza S, Federici M. Microbiota-gut-brain axis: relationships among the vagus nerve, gut microbiota, obesity, and diabetes. Acta Diabetol. 2023 Aug;60(8):1007-1017.
3. Masenga SK, Kabwe LS, Chakulya M, Kirabo A. Mechanisms of Oxidative Stress in Metabolic Syndrome. Int J Mol Sci. 2023 Apr 26;24(9):7898.
4. Mikłosz A, Chabowski A. Adipose-derived Mesenchymal Stem Cells Therapy as a new Treatment Option for Diabetes Mellitus. J Clin Endocrinol Metab. 2023 Jul 14;108(8):1889-1897.
5. Ruze R, Liu T, Zou X, Song J, Chen Y, Xu R, Yin X, Xu Q. Obesity, and type 2 diabetes mellitus: connections in epidemiology, pathogenesis, and treatments. Front Endocrinol (Lausanne). 2023 Apr 21; 14:1161521.
6. Athari SZ, Mirzaei Bavil F, Keyhanmanesh R, Lotfi H, Sajed Y, Delkhosh A, Ghiasi F. Voluntary exercise improves pulmonary inflammation through NF-κB and Nrf2 in type 2 diabetic male rats. Iran J Basic Med Sci. 2024;27(1):74-80.
7. Chang W, Li P. Copper and Diabetes: Current Research and Prospect. Mol Nutr Food Res. 2023 Dec;67(23): e2300468.
8. Derosa G, D'Angelo A, Maffioli P, Cucinella L, Nappi RE. The Use of Nigella sativa in Cardiometabolic Diseases. Biomedicines. 2024 Feb 9;12(2):405.
9. Ding Q, Sun B, Wang M, Li T, Li H, Han Q, Liao J, Tang Z. N-acetylcysteine alleviates oxidative stress and apoptosis and prevents skeletal muscle atrophy in type 1 diabetes mellitus through the NRF2/HO-1 pathway. Life Sci. 2023 Sep 15; 329:121975.
10. Fasipe B, Laher I. Nrf2 modulates the benefits of evening exercise in type 2 diabetes. Sports Med Health Sci. 2023 Sep 9;5(4):251-258.
11. Gal A, Odunayo A. Diabetes Ketoacidosis and Hyperosmolar Hyperglycemic Syndrome in Companion Animals. Vet Clin North Am Small Anim Pract. 2023 May;53(3):531-550.

12. Gawas CG, Mathur S, Wani M, Tabassum H. Nigella sativa and its nano-mediated approach toward management of neurodegenerative disorders: A review. Ibrain. 2023 Feb 7;9(1):111-123.
13. Gayatri V, Krishna Prasad M, Mohandas S, Nagarajan S, Kumaran K, Ramkumar KM. Crosstalk between inflammasomes, inflammation, and Nrf2: Implications for gestational diabetes mellitus pathogenesis and therapeutics. Eur J Pharmacol. 2024 Jan 15; 963:176241.
14. Guo Y, Ding S, Shang C, Zhang C, Li M, Zhang Q, Gu L, Heng BC, Zhang S, Mei F, Huang Y, Zhang X, Xu M, Jiang J, Guo S, Deng X, Chen L. Multifunctional PtCuTe Nanosheets with Strong ROS Scavenging and ROS-Independent Antibacterial Properties Promote Diabetic Wound Healing. Adv Mater. 2024 Feb;36(8): e2306292.
15. He F, Zhang P, Liu J, Wang R, Kaufman RJ, Yaden BC, Karin M. ATF4 suppresses hepatocarcinogenesis by inducing SLC7A11 (xCT) to block stress-related ferroptosis. J Hepatol. 2023 Aug;79(2):362-377.
16. Liu Y, Cheng Y, Xiang N, Wang Z, Li S, Gong L, Wang X. Aerobic exercise improves BKCa channel-mediated vasodilation in diabetic vascular smooth muscle via AMPK/Nrf2/HO-1 pathway. Acta Diabetol. 2024 Apr;61(4):425-434.
17. Vargas R, Fernández-González M, Rodríguez M, Paredes F, Pérez-Castro A. Effects of eight weeks of high-intensity interval training on oxidative stress markers and antioxidant status in diabetic rats. Journal of Diabetes Research. 2021;44(3):112-118.
18. Johnson T, Smith M, Williams L, Brown C, Green R. Impact of high-intensity interval training on oxidative stress and antioxidant capacity in diabetic rats. Free Radical Biology & Medicine. 2024; 128:29-35.
19. Wahab S, Alsayari A. Potential Pharmacological Applications of Nigella Seeds with a Focus on Nigella sativa and Its Constituents against Chronic Inflammatory Diseases: Progress and Future Opportunities. Plants (Basel). 2023 Nov 11;12(22):3829.
20. Khan MA, Abulmeaty M, Memon S, et al. Antioxidant and anti-inflammatory effects of Nigella sativa oil in diabetic rats: A potential therapeutic agent for oxidative stress-induced damage. Antioxidants. 2020;9(11):1125.
21.MS, Ghosh D, Babu S, et al. The effects of Nigella sativa on lipid profile, oxidative stress, and inflammatory markers in type 2 diabetic patients: A randomized controlled trial. Journal of Ethnopharmacology. 2021; 268:113598.
22. Sadeghi N, Asadi S, Khorasani M, Kiani M. The effects of Nigella sativa supplementation on oxidative stress and antioxidant capacity in patients with type 2 diabetes. Diabetes & Metabolism Journal. 2022;46(5):396-403.
23. Ali M, Ali A, Saleem M, Nazir R, Akhtar N. Combining high-intensity interval training with Nigella sativa supplementation reduces oxidative stress and enhances antioxidant capacity in diabetic rats. Journal of Nutritional Biochemistry. 2023; 75:98-104.
24. Fasipe B, Laher I. Nrf2 modulates the benefits of evening exercise in type 2 diabetes. Sports Med Health Sci. 2023 Sep 9;5(4):251-258.
25. Ding Q, Sun B, Wang M, Li T, Li H, Han Q, Liao J, Tang Z. N-acetylcysteine alleviates oxidative stress and apoptosis and prevents skeletal muscle atrophy in type 1 diabetes mellitus through the NRF2/HO-1 pathway. Life Sci. 2023 Sep 15; 329:121975.
26. Gal A, Odunayo A. Diabetes Ketoacidosis and Hyperosmolar Hyperglycemic Syndrome in Companion Animals. Vet Clin North Am Small Anim Pract. 2023 May;53(3):531-550.
27. Holmes A, Coppey LJ, Davidson EP, Yorek MA. Rat models of diet-induced obesity and high fat/low dose streptozotocin type 2 diabetes: effect of reversal of high fat diet compared to treatment with enalapril or menhaden oil on glucose utilization and neuropathic endpoints. Journal of diabetes research. 2015;2015.
28. Gawas CG, Mathur S, Wani M, Tabassum H. Nigella sativa and its nano-mediated approach toward management of neurodegenerative disorders: A review. Ibrain. 2023 Feb 7;9(1):111-123.
29. Gayatri V, Krishna Prasad M, Mohandas S, Nagarajan S, Kumaran K, Ramkumar KM. Crosstalk between inflammasomes, inflammation, and Nrf2: Implications for gestational diabetes mellitus pathogenesis and therapeutics. Eur J Pharma-

col. 2024 Jan 15; 963:176241.
30. Rezaei M, Sadeghi N, Shamsi M, Vahidi S. Nigella sativa and its active compound thymoquinone as a potential adjunct therapy in the management of diabetes-induced oxidative stress: A systematic review. Molecules. 2021;26(9):2659.
31. Khan MA, Abulmeaty M, Memon S, Aljohani Z, Ameen A, Rehman MU. Antioxidant and anti-inflammatory effects of Nigella sativa oil in diabetic rats: A potential therapeutic agent for oxidative stress-induced damage. Antioxidants. 2020;9(11):1125.
32. Tiwari V, Mishra M, Mishra A. Protective role of antioxidants in experimental diabetes: A review. Free Radic Biol Med. 2020; 152:172–188.
33. Patel P, Asdaq SMB, Nagoor Meeran MF, Goyal SN. Antioxidant effects of phytochemicals in diabetic complications: A systematic review. Curr Diabetes Rev. 2021;17(4): e190821189303.
34. Zhou Y, Liu H, Zhang J, Yu Y. Oxidative stress in the pathogenesis of type 2 diabetes and the role of antioxidants in management. Front Endocrinol (Lausanne). 2022; 13:899518.
35. Sharma P, Mishra S, Pandey A. Lipid peroxidation and antioxidant status in streptozotocin-induced diabetic rats: effect of antioxidant supplementation. J Diabet Metab Syndr. 2023;17(2):102392.
36. Rathore N, John S, Kale M, Bhatnagar D. Lipid peroxidation and antioxidant enzymes in isoproterenol induced oxidative stress in rat erythrocytes. Indian J Physiol Pharmacol. 2021;65(3):205–212.
37. Guerra, F., Silva, A., Oliveira, L., & Ribeiro, D. (2022). Effects of High-Intensity Interval Training on Lipid Peroxidation and Antioxidant Capacity in Diabetic Rats. Journal of Diabetes and Metabolic Disorders, 21(2), 243-254.
38. Afzalpour, M., Mahdavi, A., & Hadi, R. (2021). The Impact of High-Intensity Interval Training on Antioxidant Enzyme Activity and Oxidative Stress in Diabetic Rats. International Journal of Exercise Science, 14(4), 874-883.
39. Mokhtari Z, Jafari M, Golmohammadi T, et al. The effects of high-intensity interval training on oxidative stress markers and antioxidant enzymes in diabetic rats. Journal of Diabetes & Metabolic Disorders. 2020;19(2):305-314.
40. Ramos D, García-Ríos A, Pérez A, et al. Effects of high-intensity interval training on oxidative stress, antioxidant capacity and inflammation in type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. Diabetes Research and Clinical Practice. 2021; 175:108771.
41. Sabag A, Hetherington R, Keating SE, et al. The effect of high-intensity interval training on oxidative stress and muscle function in patients with type 2 diabetes: A randomized controlled trial. Journal of Applied Physiology. 2020;128(4):960-967.
42. Saadi H, Jafari M, Ali H, et al. Effects of high-intensity interval training on oxidative stress and antioxidant levels in type 2 diabetic rats. Biology of Sport. 2021;38(1):45-52.
43. Hosseini, M., Mardani, A., & Rahmani, H. Effects of Nigella sativa supplementation on oxidative stress in diabetic rats. Journal of Diabetes & Metabolic Disorders. 2021; 19(2): 307-314.
44. Mohammad, S., Samadian, F., & Aslani, M. The impact of Nigella sativa on antioxidant enzymes in diabetic animals. International Journal of Diabetes & Metabolic Disorders. 2021; 43(4): 756-765.
45. Maher, S., Azmi, S., & Kamran, F. High-intensity interval training reduces oxidative stress and increases antioxidant capacity in type 2 diabetic patients. Journal of Exercise Science and Fitness. 2021; 19(2): 90-95.
46. Alizadeh, M., & Rahimi, R. The effects of Nigella sativa supplementation on oxidative stress markers and inflammatory cytokines in type 2 diabetic patients: A randomized controlled trial. Journal of Herbal Medicine. 2020; 22(4): 101-108.