

The effect of eight weeks of low-volume high-intensity interval training on serum spexin and body composition in men with type 2 diabetes

Mehdi Azadmanjiri¹, Mohammadreza Hosseinabadi^{*2}, Ameneh Barjaste Yazdi³,

Mehdi Zarei^{4, 5}

1. PHD Student, Department of Physical Education, Ne.C. Islamic Azad University, Neyshabur, Iran
2. Assistant Professor, Department of Physical Education, Ne.C. Islamic Azad University, Neyshabur, Iran
3. Assistant Professor, Department of Physical Education, Ne.C. Islamic Azad University, Neyshabur, Iran
4. Assistant professor, Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Literature and Humanities, University of Neyshabur, Neyshabur, Iran
5. Assistant Professor of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Received: 2026/06/30

Accepted: 2026/08/31

Abstract

Background and Objective: Low-volume high-intensity interval training (LV-HIIT) may represent a time-efficient strategy for improving factors associated with the progression of type 2 diabetes mellitus (T2DM). The present study aimed to investigate the effect of eight weeks of LV-HIIT on body composition and serum spexin in men with T2DM.

Materials and Methods: This experimental study was conducted using a pre-test/post-test design with intervention and control groups. Twenty-two men with T2DM (mean body weight = 80.86 ± 6.61 kg; mean body mass index = 27.69 ± 3.16 kg/m², age = 50.11 ± 4.58) were randomly assigned to either the LV-HIIT group (n = 11) or the control group (n = 11). Participants in the intervention group performed LV-HIIT for three sessions per week over eight weeks (consisting of two to three four-minute intervals at 85–90% of maximum heart rate (%HRmax)), interspersed with three-minute active recovery periods at 65–75% HRmax). Anthropometric measurements and blood samples were collected from all participants before and after the intervention. Serum spexin levels were measured using human-specific ELISA kits. Data were analyzed using analysis of covariance (ANCOVA).

Results: After eight weeks, no significant differences were observed between the intervention and control groups in body weight (p = 0.083) and body mass index (p = 0.072). However, eight weeks of LV-HIIT resulted in a significant reduction in body fat mass (BFM) compared with the control group (p = 0.046). In addition, serum spexin levels significantly increased following eight weeks of LV-HIIT compared with the control group (p = 0.046).

Conclusion: Given the observed reduction in BFM and improvement in serum spexin levels following eight weeks of LV-HIIT, this training protocol may be recommended as a time-efficient and practical strategy for the management of T2DM.

*Corresponding Author:

Mohammadreza Hosseinabadi

Address: Department of Physical Education, Neyshabur Branch, Islamic Azad University

Tel: +9805141201000

E-mail:
1062925521@iau.ac.ir

Keywords High-intensity interval training, SPX protein human, Body Composition, Diabetes Mellitus, Type 2.

How to cite this article: Azadmanjiri M, Hosseinabadi M, Barjaste Yazdi A, Zarei M., The effect of eight weeks of low-volume high-intensity interval training on serum spexin and body composition in men with type 2 diabetes, Journal of Sabzevar University of Medical Sciences, 2026; 33(4):1234-1247. DOI: 10.30468/jsums.2026.8486.3449.

INTRODUCTION

Studies have shown that dysregulation of cytokine production and/or levels can either promote or inhibit the development of diseases such as type 2 diabetes (T2DM). These findings suggest that different cytokines may have positive or negative regulatory effects on the development of insulin resistance. Spexin is a multifunctional peptide that is currently under investigation for its role in metabolic disorders such as obesity and diabetes. Increasing evidence suggests that spexin is involved in cellular energy balance, glucose and lipid metabolism, appetite suppression, and water and electrolyte regulation, and is closely associated with metabolic conditions including obesity, hyperglycemia, and hyperlipidemia.

Recent research supports a comprehensive and integrated approach to the management of T2DM, combining pharmacological treatments with lifestyle changes and psychosocial interventions. Exercise is considered one of the best non-pharmacological strategies for the prevention and treatment of T2DM, and its low cost has further increased its therapeutic appeal.

Findings from recent studies suggest that low-volume high intensity interval training (LV-HIIT) can produce similar, and sometimes greater, improvements in health-related indicators while requiring less time and energy. However, further studies are needed to confirm this hypothesis and elucidate its precise underlying mechanisms. Given that lack of time is one of the most common barriers to physical activity and exercise in patients with T2DM, LV-HIIT may represent a time-effective strategy for improving factors associated with the development of T2DM. Therefore, the aim of the present study was to investigate the effect of LV-HIIT on body composition and spexin levels in men with T2DM.

METHODOLOGY

This experimental study with a pre-test/post-test design comprised two groups: intervention and control. The study population consisted of men with T2DM (mean body weight = 80.86 ± 6.61

kg; mean body mass index = 27.69 ± 3.16 kg/m², age = 50.11 ± 4.58). Sample size was calculated using G*Power software based on the effect size reported in previous similar studies on spexin and exercise training in patients with T2DM, with a significance level (α) of 0.05 and statistical power of 0.80, yielding a required sample size of 11 participants per group. Ultimately, 22 eligible volunteers were selected from among the registrants. Following baseline assessments, participants were randomly allocated to one of two groups: (1) the LV-HIIT group ($n = 11$) and (2) the control group ($n = 11$).

The objectives and procedures of the study were explained to the participants, who were informed of the potential benefits and risks associated with their participation; written informed consent was obtained from all participants. To confirm physical fitness for participation in the intervention, an initial clinical evaluation was performed by a physician, including a review of medical history and completion of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q) for each participant.

The inclusion criteria were: confirmed diagnosis of T2DM according to American Diabetes Association criteria for at least two years; male sex; age range of 35–55 years; absence of any cardiovascular, musculoskeletal, or metabolic disease precluding participation in exercise; no history of regular physical activity in the preceding six months; and no use of injectable insulin. Exclusion criteria included advanced diabetic complications and uncontrolled hypertension. In addition, participants who engaged in separate exercise programs during the intervention period, missed more than 20% of the training sessions, or were unwilling to continue participation in the study were excluded from the final analysis.

The training program for the experimental group was conducted three sessions per week over eight weeks. During weeks one to four, two 4-minute intervals (2×4 min) of running were

performed at an intensity of 85–90% of maximum heart rate (HR_{max}), separated by a 3-minute active recovery period (running) at 65–75% HR_{max}. During weeks of five to eight, three 4-minute intervals were performed. Exercise intensity was monitored using a Polar heart rate monitor. The total duration of each training session ranged from 21 to 28 minutes. The exercise program was conducted in the afternoon at a sports club.

For blood sampling, participants were admitted to the medical laboratory at the specialized clinic of Vasei Hospital in Sabzevar, Iran at 8:00 a.m. in a fasting state (12 hours), 48 hours before the start of the intervention and 48 hours after the last training session. A 6 mL blood sample was collected from each participant. Blood samples were centrifuged, and after serum separation from plasma, they were stored at –80°C. Serum spexin concentrations were measured using a human spexin ELISA kit manufactured by Abbkine, Inc (China).

The normality of data distribution was assessed using the Shapiro-Wilk test, and the homogeneity of variances was evaluated using the Levene's test. An independent samples t-test was used to compare baseline values of the study variables between the two groups. Analysis of covariance (ANCOVA) was used for between-group comparisons, and a paired samples t-test was used to examine within-group changes. Data were analyzed using SPSS version 16, with statistical significance set at $P < 0.05$.

This research was conducted as a PhD thesis at Islamic Azad University, Neyshabur Branch, and its design protocol was approved by the Islamic Azad University, Neyshabur Branch Ethics Committee (Ethics Code: IR.IAU.NEYSHABUR.REC.1404.090).

RESULTS

After eight weeks of LV-HIIT, no significant difference was observed in body weight ($p = 0.083$) or BMI ($p = 0.072$) between the two groups. Within-group findings also showed no significant differences in these indices between pre-test and post-test measurements. After eight

weeks, body fat mass (BFM) significantly decreased in the intervention group (post-test mean = 22.01 ± 4.18 ; pre-test mean = 23.03 ± 3.77) compared with the control group (post-test mean = 24.97 ± 5.28 ; pre-test mean = 24.70 ± 5.53) ($p = 0.046$).

The results showed that, spexin levels significantly increased in the LV-HIIT group (post-test mean = 103.47 ± 24.45 ; pre-test mean = 70.77 ± 19.62) compared with the control group (post-test mean = 86.39 ± 33.26 ; pre-test mean = 85.50 ± 26.50) ($p = 0.046$).

DISCUSSION

The results of the present study showed that eight weeks of LV-HIIT had no significant effect on body weight or body mass index in patients with type 2 diabetes. However, a significant reduction in body fat mass was observed. Possible mechanisms underlying the fat loss induced by HIIT appear to include increased fat oxidation during and after exercise, enhanced capacity of the whole body and skeletal muscle for fatty acid oxidation, and reduced appetite following exercise.

The results of the present study showed that serum spexin levels increased significantly after eight weeks of LV-HIIT. Several studies have investigated the effect of HIIT on spexin levels; however, no study to date has examined the effect of LV-HIIT on spexin. Relevant studies have shown the effect of eight weeks of high-intensity interval training on insulin resistance via hepatic gluconeogenesis, lipolysis, inflammation, oxidative stress, and lipogenesis in type 2 diabetic rats, with a particular focus on the role of spexin, and reported an increase in serum spexin levels.

Most other studies have further reported an increase in spexin levels following exercise training, particularly HIIT. The exact mechanism by which exercise training increases spexin levels remains unclear. In this regard, spexin has been reported to contribute to body weight loss by reducing free fatty acid uptake in hepatocytes. However, in the present study,

body weight did not change significantly, whereas a significant reduction in body fat mass was observed. It has also been suggested that spexin influences energy balance by modulating the synthesis and secretion of appetite-regulating hormones. Given that, in the present study, BFM significantly decreased alongside an increase in spexin levels, it can be concluded that LV-HIIT is likely to reduce fat mass through spexin-mediated effects on appetite-regulating hormones and enhanced fat metabolism.

The lack of control over participants' diet and physical activity outside the training program was one of the important limitations of the present study. Given the potential effects of dietary modification or changes on the final results of the study, participants did not receive any dietary counseling throughout the study.

CONCLUSIONS

Given the reduction in BFM and the improvement in spexin levels following eight weeks of LV-HIIT, this type of training protocol appears to be recommendable as a time-efficient and practical strategy for the management of T2DM.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to express their sincere gratitude to the participants who assisted us in conducting the present study, and the Islamic Azad University, Neyshabur Branch for approving and supporting the study (Ethics Code: IR.IAU.NEYSHABUR.REC.1404.090).

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this manuscript.

تأثیر هشت هفته تمرین تناوبی شدید کم حجم بر اسپکسین سرم و ترکیب بدنی مردان مبتلا به دیابت نوع ۲

مهدی آزادمنجیری^۱، محمدرضا حسین آبادی^{۲*}، آمنه برجسته یزدی^۳، مهدی زارعی^{۴،۵}

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم تربیت بدنی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران
۲. نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم تربیت بدنی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران
۳. استادیار، گروه علوم تربیت بدنی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران
۴. استادیار، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه نیشابور، نیشابور، ایران
۵. استادیار فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۰۹

چکیده

زمینه و هدف: تمرین تناوبی شدید کم حجم (LV-HIIT) ممکن است یک استراتژی مؤثر از نظر زمان برای بهبود عوامل مرتبط با گسترش دیابت نوع ۲ (T2DM) باشد. هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر هشت هفته LV-HIIT بر ترکیب بدنی و اسپکسین سرم در مردان مبتلا به دیابت نوع ۲ بود.

مواد و روش‌ها: مطالعه حاضر از نوع مطالعات تجربی، در دو گروه مداخله و کنترل با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون اجرا شد. ۲۲ مرد مبتلا به T2DM ($50/11 \pm 4/58$) میانگین سن، $80/86 \pm 6/61$ میانگین وزن بدن، $27/69 \pm 3/16$ میانگین شاخص توده بدنی) به‌طور تصادفی در دو گروه LV-HIIT (۱۱ نفر) و کنترل (۱۱ نفر) جایگزین شدند. آزمودنی‌های گروه‌های مداخله، تمرینات LV-HIIT را برای سه جلسه در هفته به مدت هشت هفته (دو تا سه تناوب چهار دقیقه‌ای با شدت ۸۵-۹۰٪ ضربان قلب بیشینه (%HRmax) و استراحت فعال سه دقیقه‌ای با شدت ۶۵-۷۵٪ (%HRmax) انجام دادند. اندازه‌های آنتروپومتری و نمونه‌گیری خون قبل و بعد از مداخله، از آزمودنی‌ها صورت گرفت. مقادیر اسپکسین سرم با استفاده از کیت‌های الایزای انسانی مخصوص اندازه‌گیری شد. برای تحلیل داده‌ها از روش آماری تحلیل کواریانس استفاده شد.

یافته‌ها: پس از هشت هفته تفاوت معناداری در وزن بدن ($P=0/083$) و شاخص توده بدنی ($P=0/072$) بین گروه مداخله و کنترل وجود نداشت. یافته‌ها نشان داد که هشت هفته LV-HIIT منجر به کاهش معنادار توده چربی بدن (BFM) در مقایسه با گروه کنترل شده است ($P=0/046$). همچنین، اسپکسین پس از هشت هفته LV-HIIT به طور معنی‌داری در مقایسه با گروه کنترل افزایش یافت ($P=0/046$).

نتیجه‌گیری: با توجه به کاهش BFM و بهبود سطح اسپکسین پس از هشت هفته LV-HIIT، به نظر می‌رسد این نوع پروتکل تمرینی می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد زمان‌محور و عملی برای مدیریت بیماری T2DM توصیه شود.

* نویسنده مسئول: محمدرضا

حسین آبادی

نشانی: نیشابور، دانشگاه آزاد

اسلامی، دانشکده تربیت بدنی و

علوم ورزشی

تلفن: +۹۸۰۵۱۴۱۲۰۱۰۰۰

رایانامه:

1062925521@iau.ac.ir

شناسه ORCID:

0000-0003-2038-2141

شناسه ORCID نویسنده

اول:

0009-0007-5613-9780

DOI:

10.30468/jsums.2026.84

86.3449

کلیدواژه‌ها:

تمرین تناوبی شدید،

اسپکسین، ترکیب بدن، دیابت

ملیتوس نوع ۲.

۱. مقدمه

دیابت نوع ۲ (T2DM) یکی از عوامل اصلی افزایش بار سلامت جهانی در ۳۰ سال گذشته بوده است که به دلیل افزایش جمعیت و افزایش خطرات محیطی و رفتاری مانند چاقی شیوع گسترده‌ای یافته است. این بیماری بار اقتصادی و بهداشتی جهانی قابل توجه و رو به رشدی را ایجاد می‌کند و بیش از یک نفر از هر ده بزرگسال را در سراسر جهان تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱).

دیابت نوع ۲، یک اختلال متابولیک پیچیده و چند سیستمی است که با سطح بالای گلوکز خون ناشی از نقص پیشرونده در ترشح انسولین یا مقاومت بافت به انسولین مشخص می‌شود و با درجات مختلفی از اختلال عملکرد سلول‌های بتا و مقاومت به انسولین مشخص می‌شود (۲). اختلال در عملکرد سلول‌های بتای پانکراس باعث کاهش ترشح انسولین می‌شود که منجر به ناتوانی در حفظ سطح فیزیولوژیکی گلوکز می‌شود؛ در حالی که مقاومت به انسولین، تولید گلوکز در کبد را افزایش و جذب گلوکز را در عضله، کبد و بافت چربی کاهش می‌دهد. بنابراین یک حلقه بازخورد معیوب بین عملکرد انسولین و ترشح آن ایجاد می‌کند که منجر به هایپرگلیسمی می‌شود (۳). مطالعات نشان داده‌اند که اختلال در تنظیم تولید و/یا سطح سیتوکین‌ها می‌تواند باعث پیشرفت یا مهار بیماری‌هایی مانند T2DM شود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که سیتوکین‌های مختلف ممکن است اثرات تنظیمی مثبت یا منفی بر ایجاد مقاومت به انسولین داشته باشند (۴). اسپکسین^۲ یک پپتید چندمنظوره است که در حال حاضر به دلیل نقش آن در اختلالات متابولیکی مانند چاقی و دیابت در دست بررسی است. شواهد فزاینده نشان می‌دهد که اسپکسین در تعادل انرژی سلولی، متابولیسم گلوکز و لیپید، سرکوب اشتها و تنظیم آب و الکترولیت نقش دارد و ارتباط نزدیکی با شرایط متابولیکی از جمله چاقی، هایپرگلیسمی و هایپرلیپیدمی دارد (۵). به عنوان نمونه اسپکسین در چاقی و T2DM کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده نقش محافظتی آن است. اسپکسین در درجه اول در بافت‌های عصبی و غدد درون‌ریز بیان می‌شود تا دریافت و

مصرف انرژی را تعدیل کند. این خواص متمایز، اسپکسین را به عنوان یک نشانگر زیستی بالقوه قرار می‌دهد (۵).

مطالعات نشان داده‌اند که رویکردهای غیردارویی باید بخش مهمی از درمان T2DM باشد. رویکردهای دارویی ممکن است زمانی گنجانده شوند که اصلاح سبک زندگی به تنهایی برای دستیابی به نتایج مثبت کافی نباشد. تحقیقات اخیر از یک رویکرد جامع و یکپارچه برای مدیریت T2DM، با ترکیب درمان‌های دارویی با تغییرات سبک زندگی و مداخلات روانی-اجتماعی، پشتیبانی می‌کند (۳). تمرینات ورزشی، یکی از بهترین رویکردهای غیردارویی در پیشگیری و درمان T2DM محسوب می‌شود. هزینه کم و ماهیت غیردارویی ورزش، جذابیت درمانی آن را افزایش داده است (۶). روش‌ها و استراتژی‌های مختلفی برای تمرین ورزشی وجود دارد. دو استراتژی ورزشی رایج، تمرینات تناوبی با شدت بالا (HIIT^۳) و تمرینات تداومی با شدت متوسط (MCT) هستند. HIIT برای اولین بار در اوایل قرن بیستم مورد استفاده قرار گرفت و فرضیه اصلی HIIT این است که در مقایسه با MCT با هزینه انرژی یکسان، مقدار بیشتری از کار با شدت بالاتر در طول یک جلسه تمرینی انجام می‌شود که با تناوب فواصل تمرینی با شدت بالا با فواصل تمرینی یا استراحت با شدت کم حاصل می‌شود (۷). تمرین تناوبی شدید کم حجم (LV-HIIT^۵)، که معمولاً شامل کمتر از ۱۵ دقیقه تمرین هوازی با شدت بالا در هر جلسه است، به دلیل ماهیت زمان-هینه و مزایای سلامتی ادعایی آن، به طور فزاینده‌ای در جمعیت‌های سالم و بالینی مورد بررسی قرار گرفته است (۸). یافته‌های حاصل از مطالعات اخیر نشان می‌دهد که LV-HIIT می‌تواند در مقایسه با اشکال سنتی‌تر تمرین هوازی از جمله HIIT با حجم بالا و تمرین مداوم با شدت متوسط، بهبودهای مشابه و گاهی بیشتر را در تناسب اندام قلبی-تنفسی، کنترل گلوکز، فشارخون و عملکرد قلب ایجاد کند؛ با وجود اینکه به زمان کمتری نیاز دارد و انرژی کمتری مصرف می‌کند. اگرچه انجام مطالعات بیشتری برای روشن‌شدن مکانیسم‌های دقیق آن مورد نیاز است (۸، ۹). یافته‌های حاصل از مطالعات اخیر نشان می‌دهد که LV-HIIT می‌تواند با وجود نیاز به زمان و انرژی کمتر، پیشرفت‌های

⁴ Moderate-intensity continuous training

⁵ Low-volume high-intensity interval training

¹ Type 2 diabetes mellitus

² Spexin

³ High-intensity interval training

آزمودنی‌ها

این پژوهش از نوع تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون همراه با دو گروه مداخله و کنترل بود. جامعه آماری این مطالعه را مردان مبتلا به T2DM ($50/11 \pm 4/58$) میانگین سن، $80/86 \pm 6/61$ میانگین وزن، $27/69 \pm 3/16$ میانگین شاخص توده بدنی) تشکیل می‌دادند. حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار G*Power بر اساس اندازه اثر گزارش شده در مطالعات مشابه پیشین در حوزه اسپکسین و تمرینات ورزشی در بیماران T2DM (۱۷)، با سطح خطای آلفای ۰/۰۵ و توان آماری ۰/۸، معادل ۱۱ نفر برای هر گروه محاسبه شد. در نهایت، از میان ثبت‌نام‌کنندگان واجد شرایط، ۲۲ نفر انتخاب گردیدند. پس از اندازه‌گیری‌های اولیه، آزمودنی‌ها به صورت تصادفی در دو گروه زیر جایگزین شدند: (۱) گروه LV-HIIT (۱۱ نفر) و گروه کنترل (۱۱ نفر). پس از انتشار فراخوان عمومی در سطح شهر، از میان داوطلبان علاقه‌مند به همکاری در پژوهش، ثبت‌نام اولیه انجام گرفت. در مرحله بعد، با بررسی دقیق شرایط داوطلبان، افرادی که معیارهای ورود به مطالعه را داشتند، انتخاب شدند. برای شرکت‌کنندگان منتخب، اهداف و روند اجرایی پژوهش، مزایا و خطرات احتمالی تشریح گردید؛ همچنین از تمامی آنان رضایت‌نامه کتبی آگاهانه اخذ شد. به منظور تأیید سلامت جسمانی برای حضور در مداخله، ارزیابی بالینی ابتدایی توسط یک پزشک انجام شد و بررسی سابقه پزشکی، تکمیل پرسشنامه آمادگی برای فعالیت بدنی برای هریک از آزمودنی‌ها انجام شد. معیارهای ورود به مطالعه عبارت بودند از: تأیید تشخیص T2DM بر اساس معیارهای انجمن دیابت آمریکا به مدت حداقل دو سال (۲۱)، جنسیت مرد، ۳۵-۵۵ سال، نداشتن سابقه هرگونه بیماری قلبی-عروقی، اسکلتی-عضلانی و متابولیکی که مانع از انجام فعالیت ورزشی شود، نداشتن سابقه فعالیت بدنی منظم در شش ماه گذشته و عدم استفاده از انسولین تزریقی. معیارهای خروج از مطالعه شامل موارد زیر بود: ابتلا به عوارض پیشرفته دیابت و فشارخون کنترل نشده، انجام فعالیت ورزشی جداگانه در طول دوره مداخله، غیبت بیش از ۲۰ درصد جلسات تمرینی، عدم تمایل به ادامه همکاری در مطالعه.

اندازه‌گیری ترکیب بدن

مشابه و گاهی بیشتر در شاخص‌های مرتبط با سلامتی ایجاد کند (۱۰-۱۲). با این حال، مطالعات بیشتری برای تأیید این فرض و مکانیسم‌های دقیق آن مورد نیاز است.

با توجه به اینکه کمبود وقت یکی از رایج‌ترین موانع فعالیت بدنی و ورزش در بیماران مبتلا به T2DM است، LV-HIIT ممکن است یک استراتژی مؤثر از نظر زمان برای بهبود عوامل مرتبط با گسترش T2DM باشد (۱۲-۱۵). مطالعات مختلفی اثرات تمرینات ورزشی را بر سطح اسپکسین، به‌ویژه در بیماران مبتلا به T2DM، بررسی کرده‌اند. به‌طور مثال، برزآبادی و همکاران (۲۰۲۴) تأثیر تمرین تناوبی با شدت‌های مختلف را در زنان مبتلا به T2DM بررسی کردند و افزایش معنادار سطوح اسپکسین را گزارش کردند (۱۶). محمدی و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان دادند که مداخله ورزشی ۱۲ هفته‌ای هوازی و مقاومتی بهبود معناداری در سطح اسپکسین و ترکیب بدن در بزرگسالان مبتلا به T2DM ایجاد می‌کند (۱۷).

علاوه بر این، مطالعات نشان داده‌اند که بافت چربی یکی از بافت‌های ترشح‌کننده اسپکسین است، اما با افزایش توده چربی بدن (BFM^1) و به‌ویژه در حالت چاقی، بیان ژن آن در چربی احشایی و زیرپوستی به‌طور معناداری کاهش می‌یابد و در نتیجه غلظت سرمی اسپکسین نیز کاهش پیدا می‌کند (۱۸). این کاهش می‌تواند پیامدهای متابولیکی نامطلوبی به‌همراه داشته باشد، که ممکن است روند تجمع چربی را تشدید کرده و یک چرخه معیوب بین کاهش اسپکسین و افزایش توده چربی ایجاد نماید (۱۹). از طرفی، تمرینات ورزشی به‌عنوان یک محرک فیزیولوژیک مؤثر در تحریک ترشح اسپکسین معرفی شده است (۲۰). با توجه به این ارتباط دوسویه میان BFM و سطح اسپکسین، و اثرات شناخته‌شده تمرینات HIIT بر کاهش BFM ، بررسی تغییرات اسپکسین سرم متعاقب چنین مداخله‌ای در بیماران دیابتی نوع ۲ ضروری به‌نظر می‌رسد. از این رو، با توجه به اثرات مطلوب فعالیت بدنی بر آدیپوکاین‌های دخیل در توسعه دیابت، هدف از این مطالعه بررسی تأثیر تمرینات LV-HIIT بر ترکیب بدن و سطح اسپکسین در مردان مبتلا به T2DM بود.

۲. مواد و روش‌ها

¹ Body Fat Mass

اندازه گیری‌های آنتروپومتری، پیش از آغاز تمرینات ورزشی و پس از انتهای مداخله انجام شد. شاخص‌های آنتروپومتری شرکت کنندگان شامل قد، وزن، BFM با حداقل لباس و بدون کفش اندازه گیری شدند. وزن آزمودنی‌ها با استفاده از ترازوی ساخت آلمان با دقت ۰/۱ کیلوگرم و قد آن‌ها با متر نواری با دقت ۰/۵ سانتی متر ثبت گردید. شاخص توده بدنی (BMI^1) از طریق تقسیم وزن (به کیلوگرم) بر مجذور قد (به متر مربع) محاسبه شد. ترکیب بدنی آزمودنی‌ها نیز با دستگاه ترکیب بدن ساخت کره جنوبی، مدل ایکس کانتکت ۳۵۰، اندازه گیری شد.

برنامه تمرینی

برنامه تمرینی در گروه تجربی در طول هشت هفته، سه جلسه در هفته برگزار شد که برگرفته و اصلاح شده از پروتکل احمد و همکاران (۲۰۲۳) بود (۲۲). پیش از شروع تمرینات ورزشی آزمودنی‌ها در دو جلسه با نحوه اجرای تمرینات آشنا شدند. آزمودنی‌های گروه LV-HIIT جلسه تمرین را با ۵ دقیقه گرم کردن آغاز می‌کردند. در طول هفته‌های اول تا چهارم، دو تلاش چهار دقیقه‌ای (4×2 دقیقه)، با شدت ۸۵ تا ۹۰ درصد ضربان قلب بیشینه به صورت دویدن انجام شد. بین تلاش‌ها، استراحت فعال سه دقیقه‌ای (دویدن) با شدت ۶۵ تا ۷۵ درصد ضربان قلب بیشینه، انجام شد. در هفته‌های پنجم تا هشتم، سه تلاش چهار دقیقه‌ای، انجام شد. تمرین با یک دوره سرد کردن پنج دقیقه‌ای شامل دویدن سبک یا راه رفتن با شدت ۴۰ تا ۵۰ درصد ضربان قلب بیشینه به پایان می‌رسید تا ضربان قلب به تدریج به سطح پایه بازگردد. شدت تمرین با استفاده از ضربان سنج پلار کنترل شد. مدت کل جلسه تمرین بین ۲۱ تا ۲۸ دقیقه بود. برنامه تمرین ورزشی بعد از ظهر و در باشگاه ورزشی اجرا شد. در طول دوره، یک نفر از گروه مداخله به دلیل تغییر مصرف داروها و دو نفر از گروه کنترل از مطالعه انصراف دادند.

خون گیری و ارزیابی بیوشیمیایی

آزمودنی‌ها به منظور نمونه گیری خون، ۴۸ ساعت قبل از شروع مداخله و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی، ساعت ۸ صبح به صورت ناشتا (۱۲ ساعت) در محل آزمایشگاه (کلینیک تخصصی بیمارستان واسعی شهرستان سبزوار) حضور پیدا کردند. از آزمودنی‌ها خواسته شد که دو روز قبل از نمونه گیری خون، هیچ فعالیت بدنی شدیدی انجام ندهند. از هر آزمودنی به میزان ۶ سی سی نمونه خون گرفته شد. نمونه‌های خون جمع آوری شده، حداکثر تا ۳۰ دقیقه پس از نمونه گیری، با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه (rpm) به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی گراد سانتریفیوژ شدند. پس از جداسازی سرم از پلاسما، نمونه‌ها در میکروتیوپ‌های جداگانه تقسیم و تا زمان انجام آزمایش‌ها در دمای ۸۰- درجه سانتی گراد نگهداری شدند. غلظت اسپکسین با استفاده از کیت الایزای اسپکسین انسانی (ضریب تغییرات درون سنجی ۹ درصد $CV < 11$ و ضریب تغییرات میان سنجی $CV < 11$ اندازه گیری شد) ساخت شرکت آبکاین^۳ کشور چین اندازه گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری

به منظور بررسی توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو ویلک و برای بررسی برابری همگنی واریانس‌ها از آزمون لون استفاده شد. در صورت تأیید نرمال بودن توزیع داده‌ها، روش آماری پارامتریک به کار گرفته شد. به منظور مقایسه داده‌های اولیه متغیرهای مطالعه بین دو گروه، از روش آماری تی مستقل و. برای مقایسه داده‌های بین گروهی، از تحلیل کوواریانس و برای بررسی تغییرات درون گروهی آزمون تی زوجی استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها در نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام شد. تحلیل‌ها در سطح معنی داری $P < 0.05$ صورت گرفت.

۳. نتایج

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود پیش از شروع مطالعه بین آزمودنی‌های دو گروه مداخله و کنترل، تفاوت معنی داری در ویژگی‌های تن سنجی وجود نداشت.

³ Abbkine, Inc

¹ Body Mass Index

² JAWON X-CONTACT 350F

جدول ۱. مشخصات و ویژگی‌های تن‌سنجی آزمودنی‌ها پیش از شروع مطالعه

متغیر	LV-HIIT	گروه کنترل	مقادیر p
سن (سال)	۵۱/۶۶±۳/۱۶	۴۸/۵۵±۵/۴۱	۰/۱۵۶
قد (متر)	۱/۷۱±۰/۰۷	۱/۷۱±۰/۰۷	۰/۹۷۴
وزن (کیلوگرم)	۸۱/۵۱±۷/۱۲	۸۰/۲۱±۶/۴۲	۰/۶۹۰
BMI (کیلوگرم بر مجذور قد)	۲۷/۸۰±۲/۳۲	۲۷/۵۸±۳/۹۷	۰/۸۸۵

داده‌ها بر اساس میانگین± انحراف استاندارد ارائه شده است.

برای مقایسه داده‌های بین گروهی از روش آماری تحلیل کواریانس استفاده شد. نتایج نشان داد که پس از هشت هفته LV-HIIT تفاوت معنی‌داری در وزن بدن ($p=0/083$) و BMI ($p=0/072$) بین گروه مداخله و گروه کنترل مشاهده نشد. یافته‌های درون گروهی نیز تفاوت معنی‌داری در این شاخص‌ها بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون نشان نداد. با این حال، در انتهای مطالعه، تفاوت معنی‌داری در BFM بین دو گروه

وجود داشت؛ به‌طوری‌که پس از هشت هفته، BFM در گروه مداخله ($22/01 \pm 4/18$) میانگین پس‌آزمون، $23/03 \pm 3/77$ = میانگین پیش‌آزمون) در مقایسه با گروه کنترل ($24/97 \pm 5/28$) میانگین پس‌آزمون، $24/70 \pm 5/53$ = میانگین پیش‌آزمون) به‌طور معناداری کاهش یافت ($p=0/046$). (جدول ۲)

جدول ۲. مقادیر بیوشیمیایی و تن‌سنجی آزمودنی‌ها قبل و پس از مداخله

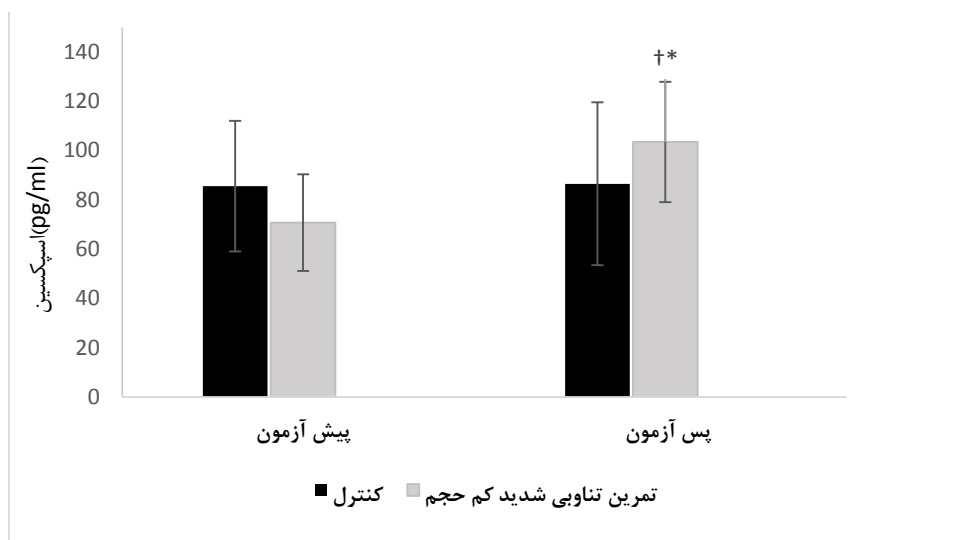
	گروه کنترل			LV-HIIT			
	P درون گروهی	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	P درون گروهی	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	
وزن (کیلوگرم)	۰/۳۰۳	۸۰/۴۷±۶/۸۴	۸۰/۲۱±۶/۴۲	۰/۱۶۸	۸۰/۹۲±۷/۰۹	۸۱/۵۱±۷/۱۲	
BMI (کیلوگرم بر مجذور قد)	۰/۲۶۲	۲۷/۶۷±۴/۱۲	۲۷/۵۸±۳/۹۷	۰/۱۷۰	۲۷/۶۰±۲/۲۲	۲۷/۸۰±۲/۳۲	
BFM (کیلوگرم)	۰/۴۸۴	۲۴/۹۷±۵/۲۸	۲۴/۷۰±۵/۵۳	۰/۰۵۶	۲۲/۰۱±۴/۱۸*	۲۳/۰۳±۳/۷۷	
اسپکسین (pg/ml)	۰/۷۸۴	۸۶/۳۹±۳۳/۲۶	۸۵/۵۰±۲۶/۵۰	۰/۰۲۱	۱۰۳/۴۷±۲۴/۴۵ [#]	۷۰/۷۷±۱۹/۶۲	

* تفاوت معنادار در مقایسه با گروه کنترل.[#] تفاوت معنادار در مقایسه با

انحراف استاندارد ارائه شده است. ±پیش‌آزمون. داده‌ها بر اساس میانگین

میانگین پیش‌آزمون) در مقایسه با گروه کنترل ($86/39 \pm 33/26$) میانگین پس‌آزمون، $85/50 \pm 26/50$ = میانگین پیش‌آزمون) به‌طور معناداری افزایش یافته است ($p=0/046$).

همان‌طور که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود پس از هشت هفته LV-HIIT تفاوت معنی‌داری در مقادیر اسپکسین بین گروه‌های مطالعه وجود داشت. این نتایج نشان داد که در انتهای مطالعه، سطح اسپکسین در گروه LV-HIIT ($103/47 \pm 24/45$) میانگین پس‌آزمون، $70/77 \pm 19/62$ =



نمودار ۱. تغییرات سطح اسپکسین آزمودنی‌ها در گروه LV-HIIT و گروه کنترل قبل و بعد از ۸ هفته.

*تفاوت معنادار در مقایسه با گروه کنترل. [†] تفاوت معنادار در مقایسه با پیش‌آزمون

مطالعه حاضر، راموس و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که BMI و چربی بدن پس از تمرینات LV-HIIT یا زیاد، تغییر معناداری نداشت (۲۴). به نظر می‌رسد مکانیسم‌های احتمالی کاهش چربی ناشی از تمرینات LV-HIIT شامل افزایش اکسیداسیون چربی در طول و بعد از ورزش، افزایش ظرفیت کل بدن و عضلات اسکلتی برای اکسیداسیون اسیدهای چرب و کاهش اشتها پس از ورزش است (۲۵).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که مقادیر اسپکسین پس از هشت هفته LV-HIIT به‌طور معناداری افزایش یافت. مطالعات مختلفی اثر تمرینات HIIT را بر سطوح اسپکسین بررسی کرده‌اند، اما در خصوص LV-HIIT مطالعه‌ای روی اسپکسین انجام نشده است. به‌طور مثال، خرمی‌پور و همکاران (۲۰۲۵) به بررسی تأثیر ۸ هفته تمرین تناوبی با شدت بالا بر مقاومت به انسولین از طریق گلوکونئوژنز کبدی، لیپولیز، التهاب، استرس اکسیداتیو و لیپوژنز در موش‌های صحرایی دیابتی نوع ۲ با تمرکز ویژه بر نقش اسپکسین پرداختند و افزایش سطح سرمی اسپکسین را گزارش کردند (۲۶). برزآبادی و همکاران (۲۰۲۴) تأثیر تمرین تناوبی با شدت‌های مختلف را در زنان مبتلا به T2DM بررسی کردند و افزایش معنادار سطوح اسپکسین را گزارش کردند (۱۶). احسن و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی تأثیر دو نوع تمرین هوازی و تمرین تناوبی

۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که هشت هفته LV-HIIT تأثیر معناداری در وزن بدن و BMI بیماران مبتلا به T2DM نداشت؛ با این حال، کاهش معناداری در BFM مشاهده شد. مطالعات معدودی به بررسی تأثیر تمرینات LV-HIIT بر ترکیب بدن به‌ویژه در بیماران مبتلا به T2DM پرداخته‌اند. مشابه با مطالعه حاضر احمد و همکاران (۲۰۲۳) به مقایسه تأثیر LV-HIIT و حجم بالا بر کنترل قندخون و کیفیت زندگی در زنان چاق مبتلا به T2DM پرداختند. آن‌ها گزارش کردند که LV-HIIT و حجم بالا به‌طور مشابه باعث کاهش معنادار توده چربی و نسبت دور کمر به باسن می‌شوند (۲۲). ویندینگ و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی و مقایسه تأثیر تمرین تناوبی با شدت بالا با حجم کم و تمرینات استقامتی بر کنترل قندخون در افراد مبتلا به T2DM پرداختند و کاهش معنادار BFM را به دنبال LV-HIIT گزارش کردند (۱۵). همچنین، مارکوت چنارد^۱ و همکاران (۲۰۲۱) اثرات LV-HIIT در مقایسه با تمرینات تداومی با شدت متوسط بر ترکیب بدن در زنان مسن مبتلا به T2DM را بررسی کردند. این محققان گزارش کردند که هر دو نوع تمرین منجر به کاهش معنادار BFM می‌گردد، اما تفاوتی بین دو نوع تمرین مشاهده نشد (۲۳). ناهمسو با

¹ Marcotte-Chénard

با شدت بالا بر سطح سرمی اسپکسین و مقاومت به انسولین در زنان دارای اضافه وزن پرداختند و افزایش معنی دار غلظت سرمی اسپکسین در مقایسه با گروه کنترل را گزارش کردند (۲۷). دلفان و همکاران (۲۰۲۴) نیز افزایش سطح اسپکسین در گردش خون را پس از ۱۲ هفته تمرین HIIT مستقل از مکمل اسپیرولینا گزارش کردند (۲۸). محمدی و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی تأثیر تمرین ورزشی بر سطح اسپکسین، چربی احشایی و ترکیب بدن در بزرگسالان مبتلا به T2DM پرداختند. مطالعه آنان نشان داد یک مداخله ورزشی ۱۲ هفته ای هوازی و مقاومتی می تواند به طور مؤثری بهبود معناداری در سطح اسپکسین و ترکیب بدن در بزرگسالان مبتلا به T2DM ایجاد کند (۱۷). یافته های مطالعه حاضر مبنی بر افزایش معنادار اسپکسین سرم پس از تمرینات LV-HIIT، با نتایج مطالعات خرمی پور و همکاران (۲۰۲۵)، برزآبادی و همکاران (۲۰۲۴)، احسن و همکاران (۱۴۰۲)، دلفان و همکاران (۲۰۲۴) و محمدی و همکاران (۲۰۲۱) همسو بود. این همسویی را می توان به مکانیسم های مشترکی نسبت داد که ممکن است به دنبال تمرینات HIIT فعال شوند؛ از جمله کاهش توده چربی که منجر به کاهش سرکوب بیان ژن اسپکسین در بافت چربی می شود، بهبود حساسیت به انسولین که با ترشح اسپکسین ارتباط دوسویه دارد، و کاهش التهاب سیستمیک ناشی از بافت چربی که یکی از عوامل مهارکننده ترشح این آدیپوکاین است. البته در مطالعه حاضر، تنها کاهش توده چربی مشاهده و گزارش شد. با این حال، برخی مطالعات مشابه با مطالعه حاضر، افزایش معنادار اسپکسین را مستقل از وزن و BMI گزارش کرده اند و آن را به تفاوت های جمعیت مورد مطالعه نسبت داده اند (۲۹). خدیر و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که تنوع بین فردی در پاسخ به تمرینات ورزشی یک عامل تعیین کننده محسوب می شود، زیرا برخی از افراد، پاسخ دهنده هستند و نشانگرهای متابولیکی بهبود یافته ای را نشان می دهند، در حالی که برخی دیگر پاسخ دهنده نیستند و نشانگرهای بدون تغییر یا تغییرات نامناسب تری را نشان می دهند (۲۹). نکته قابل توجه در مطالعه حاضر این است که با وجود حجم کمتر تمرین نسبت به پروتکل های استاندارد HIIT در سایر مطالعات، افزایش معنادار

اسپکسین مشاهده شد؛ این یافته نشان می دهد که LV-HIIT نیز می تواند محرک کافی برای فعال سازی مسیرهای ترشح اسپکسین در بیماران دیابتی نوع ۲ باشد که از نظر بالینی و صرفه جویی در زمان حائز اهمیت است. همان طور که مشاهده می شود اکثر مطالعات افزایش مقادیر اسپکسین را در اثر تمرینات ورزشی به ویژه در تمرینات HIIT را گزارش کرده اند. مکانیسم دقیقی که از طریق آن تمرینات ورزشی سطح اسپکسین را افزایش می دهد، هنوز مشخص نیست. در این راستا، گزارش شده است که اسپکسین ممکن است با کاهش جذب اسیدهای چرب آزاد در سلول های کبدی، در کاهش وزن بدن نقش داشته باشد (۳۰). البته در مطالعه حاضر، در وزن بدن تغییر معنادار مشاهده نشد، اما کاهش معنادار BFM گزارش شد. همچنین پیشنهاد شده است که اسپکسین با تعدیل سنتز و ترشح هورمون هایی که مصرف غذا را تنظیم می کنند، بر وزن بدن تأثیر می گذارد (۲۷). در همین راستا، مطالعات نشان داده اند که اسپکسین مصرف غذا را کاهش می دهد و منجر به کاهش وزن در موش های چاق ناشی از رژیم غذایی پرچرب می شود و این اثر با کاهش سطح گرلین، یک هورمون تحریک کننده اشتها، مرتبط است (۱۸، ۳۱). علاوه بر این، مشخص شده است که اسپکسین، آدیپوژنز را مهار می کند و بیان ژن های mRNA پیش آدیپوژنیک را کاهش می دهد. همچنین با افزایش فسفوریلاسیون لیپاز حساس به هورمون^۱، لیپولیز را تحریک و جذب گلوکز را در آدیپوسیت ها سرکوب می کند و در نتیجه لیپوژنز را کاهش می دهد. با توجه به اینکه در مطالعه حاضر، BFM به طور قابل توجهی در کنار افزایش سطح اسپکسین کاهش یافت، می توان نتیجه گرفت که تمرین HIIT احتمالاً از طریق اثرات واسطه گری شده توسط اسپکسین بر هورمون های تنظیم کننده اشتها و افزایش متابولیسم چربی، باعث کاهش وزن می شود (۱۸، ۲۷). علاوه بر این، خرمی پور و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند که افزایش مقادیر اسپکسین پس از ورزش با افزایش بیان پروتئین کیناز فعال شونده با AMP (AMPK^۲) مرتبط است (۲۶). مورد اخیر، بیان پروتئین متصل شونده به عنصر تنظیمی استرول-۱ (SREBP-1c^۳) را کاهش می دهد. این ممکن است نشان دهنده یک مکانیسم بالقوه

³ Sterol Regulatory Element-Binding Protein 1c¹ Hormone-sensitive lipase² AMP-activated protein kinase

در پژوهش‌های آینده اثر LV-HIIT بر ترکیب بدنی و سطح اسپکسین در جمعیت زنان مبتلا به T2DM نیز بررسی شود. همچنین مقایسه مستقیم LV-HIIT با سایر شدت‌ها و حجم‌های تمرینی در قالب یک طرح چندگروهی می‌تواند به تعیین دقیق‌تر دوز-پاسخ بهینه تمرین برای بهبود اسپکسین و ترکیب بدنی کمک کند. علاوه بر این، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، رژیم غذایی و فعالیت بدنی خارج از برنامه تمرینی به صورت دقیق‌تر (مانند استفاده از پرسش‌نامه‌های ثبت غذایی یا شتاب‌سنج) کنترل و ثبت شود تا از تأثیر متغیرهای مخدوش‌کننده بر نتایج کاسته شود.

نتایج مطالعه حاضر پیشنهاد می‌کند که LV-HIIT تأثیری در کاهش وزن بدن و BMI ندارد، اما ممکن است با کاهش BFM و بهبود مقادیر اسپکسین سرم در بیماران مبتلا به T2DM مؤثر باشد. با توجه به یافته‌های مطالعه حاضر مبنی بر بهبود هم‌زمان BFM و افزایش سطح سرمی اسپکسین پس از هشت هفته LV-HIIT، به نظر می‌رسد این نوع پروتکل تمرینی می‌تواند به عنوان یک راهبرد زمان‌محور و عملی برای مدیریت بیماری T2DM توصیه شود. با توجه به کوتاه‌بودن مدت‌زمان هر جلسه، این رویکرد می‌تواند راه‌حلی کاربردی برای بیمارانی باشد که به دلیل محدودیت زمانی یا کاهش انگیزه، قادر به پایبندی به برنامه‌های تمرینی طولانی‌مدت‌تر نیستند.

ملاحظات اخلاقی

این پژوهش مستخرج از رساله دکتری دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور بوده و توسط کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور با شناسه اخلاق IR.IAU.NEYSHABUR.REC.1404.090 تصویب گردید.

سهم نویسندگان

تمامی نویسندگان، امور مربوط به مقاله و پیگیری‌های آن را بر عهده داشته‌اند.

حمایت مالی

این پژوهش هیچ‌گونه حامی مالی نداشته و با هزینه نویسندگان اجرا شده است.

باشد که اسپکسین می‌تواند لیپوژنز را مهار کند (۳۲). همچنین، کاهش سنتز مالونیل-CoA از اسیدهای چرب توسط اسپکسین، نشان می‌دهد که اسپکسین احتمالاً می‌تواند عملکرد استیل کوآ کربوکسیلاز (ACC^۱)، یک آنزیم کلیدی مسئول سنتز مالونیل-کوآ^۲ از اسیدهای چرب، را از طریق فعال‌سازی AMPK کاهش دهد (۳۳). بنابراین، سنتز مالونیل-کوآ، یک جزء مرتبط با متابولیسم لیپید، از طریق سرکوب ACC توسط AMPK کاهش می‌یابد. شواهد بالینی قبلی نشان داده است که مقاومت به انسولین، چاقی و T2DM با غلظت پایین اسپکسین در خون مرتبط هستند و اسپکسین دیس لیپیدمی، گلوکونئوژنز، لیپوژنز و تجمع چربی کبدی را کاهش و در عین حال لیپولیز را افزایش می‌دهد (۲۶). به نظر می‌رسد تمرین تناوبی با شدت بالا این سرکوب را از طریق چندین مسیر کبدی و متابولیسمی به هم پیوسته معکوس می‌کند. بر اساس مطالعه خرمی‌پور و همکاران (۲۰۲۵) مکانیسم پیشنهادی آن است که HIIT ممکن است محور پروتئین کیناز فعال‌شونده با AMP / سیرتوئین ۱ / فعال‌کننده هم‌زمان گیرنده فعال‌شونده با تکثیرکننده پراکسی‌زوم گاما ۱-آلفا (AMPK-SIRT1- α PGC-1) را در کبد فعال کند و این امر به نوبه خود، تولید و ترشح اسپکسین کبدی را افزایش دهد (۲۶). علاوه بر این، مطالعات نشان داده است که تمرینات ورزشی می‌توانند از طریق کاهش التهاب مزمن بافت چربی و بازگشت سرکوب بیان ژن اسپکسین ناشی از چاقی نیز بر ترشح این آدیپوکاین اثر بگذارند (۲۶).

عدم کنترل رژیم غذایی و فعالیت بدنی خارج از برنامه تمرینی آزمودنی‌ها از محدودیت‌های مهم پژوهش حاضر، بود. با توجه به تأثیرات احتمالی اصلاح یا تغییر رژیم غذایی بر نتایج نهایی مطالعه، آزمودنی‌ها در طول مطالعه هیچ‌گونه مشاوره تغذیه‌ای دریافت نکردند. از طرفی با توجه اینکه ثبت اطلاعات رژیم غذایی ممکن بود منجر به افزایش آگاهی، حساسیت آزمودنی روی رژیم غذایی آن‌ها و در نهایت تغییر الگوی رژیم غذایی شود، تصمیم گرفته شد که ثبت اطلاعات رژیم غذایی نیز انجام نشود. با توجه به محدودیت‌های مطالعه حاضر و نیز تفاوت‌های هورمونی و متابولیک بین دو جنس پیشنهاد می‌شود

³ AMP-activated Protein Kinase/ Sirtuin 1/ Peroxisome proliferator-activated receptor Gamma Coactivator 1-alpha

¹ Acetyl-CoA carboxylase
² Malonyl-CoA

تضاد منافع

بنابر اظهار نویسندگان هیچ گونه تضاد منافی در این مطالعه وجود ندارد.

References

- [1]. Chen S, Cao Z, Chen W, Zhao J, Jiao L, Prettnner K, et al. The global macroeconomic burden of diabetes mellitus. *Nature Medicine*. 2026;32(1):126-38. <https://doi.org/10.1038/s41591-025-04027-5>
- [2]. Zhou B, Rayner AW, Gregg EW, Sheffer KE, Carrillo-Larco RM, Bennett JE, et al. Worldwide trends in diabetes prevalence and treatment from 1990 to 2022: a pooled analysis of 1108 population-representative studies with 141 million participants. *The Lancet*. 2024;404(10467):2077-93. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(24\)02317-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)02317-1)
- [3]. Młynarska E, Czarnik W, Dzieża N, Jędraszak W, Majchrowicz G, Prusinowski F, et al. Type 2 diabetes mellitus: new pathogenetic mechanisms, treatment and the most important complications. *International journal of molecular sciences*. 2025;26(3):1094. <https://doi.org/10.3390/ijms26031094>
- [4]. Velikova TV, Kabakchieva PP, Assayov YS, Georgiev TA. Targeting inflammatory cytokines to improve type 2 diabetes control. *BioMed research international*. 2021;2021(1):7297419. <https://doi.org/10.1155/2021/7297419>
- [5]. Sun X, Yao J, Kuang J, Xin C. Association between spexin and type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Endocrinology*. 2026; 10;17:1792528. <https://doi.org/10.3389/fendo.2026.1792528>
- [6]. Thomas D, Elliott EJ, Naughton GA. Exercise for type 2 diabetes mellitus. *Cochrane database of systematic reviews*. 2006;(3):CD002968. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD002968.pub2>
- [7]. Ross LM, Porter RR, Durstine JL. High-intensity interval training (HIIT) for patients with chronic diseases. *Journal of sport and health science*. 2016;5(2):139-44. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.04.005>
- [8]. Sabag A, Little JP, Johnson NA. Low-volume high-intensity interval training for cardiometabolic health. *The Journal of physiology*. 2022;600(5):1013-26. <https://doi.org/10.1113/JP281210>
- [9]. Sultana RN, Sabag A, Keating SE, Johnson NA. The effect of low-volume high-intensity interval training on body composition and cardiorespiratory fitness: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*. 2019;49(11):1687-721. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01167-w>
- [10]. Alvarez C, Ramirez-Campillo R, Martinez-Salazar C, Mancilla R, Flores-Opazo M, Cano-Montoya J, et al. Low-volume high-intensity interval training as a therapy for type 2 diabetes. *International journal of sports medicine*. 2016;37(09):723-9. <https://doi.org/10.1055/s-0042-104935>
- [11]. Gallo-Villegas J, Restrepo D, Pérez L, Castro-Valencia LA, Narvaez-Sanchez R, Osorio J, et al. Safety of high-intensity, low-volume interval training or continuous aerobic training in adults with metabolic syndrome. *Journal of Patient Safety*. 2022;18(4):295-301. <https://doi.org/10.1097/PTS.0000000000000922>
- [12]. Way KL, Sabag A, Sultana RN, Baker MK, Keating SE, Lanting S, et al. The effect of low-volume high-intensity interval training on cardiovascular health outcomes in type 2 diabetes: A randomised controlled trial. *International journal of cardiology*. 2020;320:148-54. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2020.06.019>
- [13]. Ahmadzadeh S, Gholami M, Soheili S, Ghazalian F. The effect of eight weeks aerobic training and omega3 ingestion on the levels of adipon and insulin resistance in overweight and obese women. *Women's Health Bulletin*. 2021;8(3):134-41. <https://doi.org/10.30476/whb.2021.89493.1096>
- [14]. Little JP, Gillen JB, Percival ME, Safdar A, Tarnopolsky MA, Punthakee Z, et al. Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. *Journal of applied physiology*. 2011;111(6):1554-60. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00921.2011>
- [15]. Winding KM, Munch GW, Iepsen UW, Van Hall G, Pedersen BK, Mortensen SP. The effect on glycaemic control of low-volume high-intensity interval training versus endurance training in individuals with type 2 diabetes. *Diabetes, Obesity and Metabolism*. 2018;20(5):1131-9. <https://doi.org/10.1111/dom.13198>
- [16]. Barzabadi MB, Ahadi Z, Karimi M, Akhlaghi F. Effect of Interval Training with Different Intensity on Serum Levels of Spexin and Asprosin in Women with Type II Diabetes. *Journal of Animal Biology*. 2024;17(1):139-47. <https://doi.org/10.18502/ijdo.v15i4.14554>
- [17]. Mohammadi A, Bijeh N, Moazzami M, khodaei K, Rahimi N. Effect of exercise training on spexin level, appetite, lipid accumulation product, visceral adiposity index, and body composition in adults with type 2 diabetes. *Biological research for nursing*. 2022;24(2):152-62. <https://doi.org/10.1177/10998004211050596>
- [18]. Walewski JL, Ge F, Lobdell IV H, Levin N, Schwartz GJ, Vasselli JR, et al. Spexin is a novel human peptide that reduces adipocyte uptake of long chain fatty acids and causes weight loss in rodents with diet-induced obesity. *Obesity*. 2014;22(7):1643-52. <https://doi.org/10.1002/oby.20725>
- [19]. Kolodziejski PA, Pruszyńska-Oszmalek E, Micker M, Skrzypski M, Wojciechowicz T, Szwarckopf P, et al. Spexin: A novel regulator of adipogenesis and fat tissue metabolism. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids*. 2018;1863(10):1228-36. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2018.08.001>
- [20]. Ceylan Hİ, Saygın Ö, Özel Türkçü Ü. Assessment of acute aerobic exercise in the morning versus evening on asprosin, spexin, lipocalin-2, and insulin level in overweight/obese versus normal weight adult men. *Chronobiology International*. 2020;37(8):1252-68. <https://doi.org/10.1080/07420528.2020.1792482>
- [21]. Colberg SR, Sigal RJ, Fernhall B, Regensteiner JG, Blissmer BJ, Rubin RR, et al. Exercise and type 2 diabetes: the American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement. *Diabetes*

- care. 2010;33(12):e147-e67. <https://doi.org/10.2337/dc10-9990>
- [22]. Ahmad AM, Mahmoud AM, Serry ZH, Mohamed MM, Abd Elghaffar HA. Effects of low-versus high-volume high-intensity interval training on glycemic control and quality of life in obese women with type 2 diabetes. A randomized controlled trial. *Journal of Exercise Science & Fitness*. 2023;21(4):395-404. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2023.08.003>
- [23]. Marcotte-Chénard A, Tremblay D, Mony M-M, Boulay P, Brochu M, Morais JA, et al. Acute and chronic effects of low-volume high-intensity interval training compared to moderate-intensity continuous training on glycemic control and body composition in older women with type 2 diabetes. *Obesity*. 2021;1(2):72-87. <https://doi.org/10.1089/met.2017.0042>
- [24]. Ramos JS, Dalleck LC, Borrani F, Beetham KS, Wallen MP, Mallard AR, et al. Low-volume high-intensity interval training is sufficient to ameliorate the severity of metabolic syndrome. *Metabolic syndrome and related disorders*. 2017;15(7):319-28. <https://doi.org/10.1089/met.2017.0042>
- [25]. Boutcher SH. High-intensity intermittent exercise and fat loss. *Journal of obesity*. 2011;2011(1):868305. <https://doi.org/10.1155/2011/868305>
- [26]. Khoramipour K, Hosseini NS, Hill JW, Khoramipour K, Khoramipour K, Izquierdo SM, et al. High intensity interval training attenuate insulin resistance in diabetic rats accompanied by improvements in liver metabolism and spexin signaling. *Scientific reports*. 2025;15(1):30682. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-15432-8>
- [27]. Ahsan A, Nazarali P, Alizadeh R, Rezaeinejad N. High intensity interval training is superior to moderate intensity continuous training improves insulin resistance probably via increasing circulating spexin. *Sport Physiology*. 2023;15(57):113-30. <https://doi.org/10.1210/clinem/dgaa345>
- [28]. Delfan M, Saeidi A, Supriya R, Escobar KA, Laher I, Heinrich KM, et al. Enhancing cardiometabolic health: unveiling the synergistic effects of high-intensity interval training with spirulina supplementation on selected adipokines, insulin resistance, and anthropometric indices in obese males. *Nutrition & Metabolism*. 2024;21(1):11. <https://doi.org/10.1186/s12986-024-00785-0>
- [29]. Khadir A, Kavalakatt S, Madhu D, Devarajan S, Abubaker J, Al-Mulla F, et al. Spexin as an indicator of beneficial effects of exercise in human obesity and diabetes. *Scientific reports*. 2020;10(1):10635. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67624-z>
- [30]. Jasmine FG, Walewski J, Anglade D, Berk P, editors. Regulation of hepatocellular fatty acid uptake in mouse models of fatty liver disease with and without functional leptin signaling: roles of NfKB and SREBP-1C and the effects of spexin. *Seminars in liver disease*. Thieme Medical Publishers. 2016; 36(4):p 360-372. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1597248>
- [31]. Pruszyńska-Oszmalek E, Sassek M, Szczepankiewicz D, Nowak KW, Kolodziejewski PA. Short-term administration of spexin in rats reduces obesity by affecting lipolysis and lipogenesis: An in vivo and in vitro study. *General and comparative endocrinology*. 2020;299:113615. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2020.113615>
- [32]. Li Y, Xu S, Mihaylova MM, Zheng B, Hou X, Jiang B, et al. AMPK phosphorylates and inhibits SREBP activity to attenuate hepatic steatosis and atherosclerosis in diet-induced insulin-resistant mice. *Cell metabolism*. 2011;13(4):376-88. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2011.03.009>
- [33]. He L, Huang C, Wang H, Yang N, Zhang J, Xu L, et al. Galanin ameliorates liver inflammation and fibrosis in mice by activating AMPK/ACC signaling and modifying macrophage inflammatory phenotype. *Frontiers in Immunology*. 2023;14:1161676. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1161676>