



تأثیر هشت هفته تمرینات تناوبی با شدت بالا همراه با مصرف مکمل اسپیرولینا بر تغییرات وزن و شاخص‌های قندی رت‌های مسن چاق دیابتی

مرضیه السادات آذرنبوه: دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران و مربی گروه علوم ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

رویا عسکری: دانشیار، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. (* نویسنده مسئول) r.askari@hsu.ac.ir

امیرحسین حقیقی: استاد، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

چکیده

کلیدواژه‌ها

تمرین تناوبی با شدت بالا، مکمل اسپیرولینا، چاقی، مقاومت انسولینی، رت مسن دیابتی

زمینه و هدف: یک راه‌حل پیشنهادی برای اضافه وزن و دیابت ناشی از سالمندی، انجام تمرینات ورزشی است. مکمل اسپیرولینا نیز می‌تواند در کنترل وزن و دیابت موثر باشد. هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر هشت هفته تمرینات تناوبی با شدت بالا همراه با مصرف اسپیرولینا بر تغییرات وزن و شاخص‌های قندی رت‌های مسن چاق دیابتی می‌باشد.

روش کار: در این پژوهش تجربی، ۴۰ سر رت نر نژاد ویستار ۲۰ ماهه با میانگین وزنی ۳۲۵-۲۸۰ گرم پس از خریداری برای ۸ هفته با استفاده از رژیم پرچرب محقق ساخته چاق شده و سپس با تزریق درون صفاقی 40 mg.kg^{-1} استرپتوزوسین دیابتی شدند و در ۵ گروه مساوی (کنترل سالم، شم، تمرین، مکمل و تمرین+مکمل) برای ۸ هفته، ۵ جلسه در هفته، اجرای HIIT (با شدت $90\% \text{VO}_2\text{max}$) و مصرف اسپیرولینا (50 mg/kg b.w.) پرداختند.

یافته‌ها: تفاوت معناداری در غلظت گلوکز ناشتا، انسولین و مقاومت به انسولین بین گروه‌های مورد مطالعه وجود داشت ($p=0/0001$). نتایج آزمون تعقیبی نشان داد HIIT و مکمل موجب بهبودهای معناداری در مقادیر این متغیرها نسبت به گروه‌های کنترل و شم شد. انجام HIIT و مصرف مکمل موجب ایجاد تغییرات معناداری در وزن بین گروه‌های مورد مطالعه شد که پس از آزمون تعقیبی مشخص شد گروه تمرین+مکمل کاهش وزن بیشتری نسبت به گروه کنترل و شم ($p=0/0001$) داشت.

نتیجه‌گیری: باتوجه به نتایج، اجرای HIIT و مصرف مکمل اسپیرولینا می‌تواند بدلیل تعامل عوامل کاهشنده قند خون و وزن بدن موجب کنترل دیابت شود و به‌عنوان راهکار مناسب، بی‌خطر و جدیدی که دارای اثرات مشترک هستند، مورد توجه قرار گیرند.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت‌کننده: حامی مالی ندارد.

شیوه استناد به این مقاله:

Azarniveh MS, Askari R, Haghghi AH. The Effect of Eight Weeks of High-Intensity Interval Exercise with Spirulina Supplementation on Weight Changes and Glycemic Indices in Obese Elderly Diabetic Rats. Razi J Med Sci. 2022;29(1):10-22.

*انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با [CC BY-NC-SA 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/) صورت گرفته است.

Original Article

The Effect of Eight Weeks of High-Intensity Interval Exercise with Spirulina Supplementation on Weight Changes and Glycemic Indices in Obese Elderly Diabetic Rats

Marzieh Sadat Azarniveh: PhD student in Sports Physiology, Department of Sports Sciences, University of Hakim Sabzevari, Sabzevar, Iran. Instructor, Department of Literature and Humanities Research Center of Sports Sciences, University of Zabol, Zabol, Iran

Roya Askari: Associate Professor, Department of Sports Sciences, University of Hakim Sabzevari, Sabzevar, Iran (*Corresponding author) r.askari@hsu.ac.ir

Amir Hossein Haghighi: Professor, Department of Sports Sciences, University of Hakim Sabzevari, Sabzevar, Iran

Abstract

Background & Aims: Obesity leads to increased health risks and increased economic burden. Obesity, especially in the long term and visceral type, is the cornerstone of the pathogenesis of diabetes. Depending on race and gender, 50 to 90% of type 2 diabetics are overweight and obese, a rate that has been reported to be higher in older patients. The pathophysiological pathways behind this association are complex and ultimately lead to insulin resistance and secondary cell dysfunction. Adipose tissue accumulation produces a range of metabolic and hormonal changes that gradually disrupt the insulin signal transduction pathway and manifest as increased insulin resistance in adipose tissue, liver, and skeletal muscle. On the other hand, it should be noted that the reduction of insulin sensitivity at the cellular level is a natural result of aging. One of the most important compensatory mechanisms against insulin resistance is the increase in pancreatic beta cell mass. This increase in pancreatic cells regulates the dynamic balance between neogenesis, proliferation and apoptotic processes in the islets of Langerhans, which is age-dependent. Are, reflects. But genetic predisposition and aging contribute to beta-cell dysfunction, which, along with chronic glucotoxic and lipotoxic effects, manifests itself in the development of insulin resistance in obese individuals, resulting in impaired glycemic control and diabetes. Nowadays, the basic principles of diabetes control are knowledge and awareness, control of diabetes complications, diet, medication and physical activity, which the low cost and non-pharmacological nature of physical activity increase its therapeutic importance. On the other hand, the beneficial effects of exercise on aging and the side effects associated with it are not hidden from anyone. One type of exercise that has been considered in the control and management of diabetes is high-intensity interval training (HIIT). Due to the characteristics of HIIT and its effects on glucose, insulin, insulin resistance and weight, it has been considered by researchers today, although the same results are not reported, which requires further studies in this field. Dietary supplements, on the other hand, are a form of complementary and alternative therapies that are widely used by the general public, including diabetics. One of the best supplements available is Spirulina Supplement. Spirulina may be helpful in preventing diabetes; because it is low in calories, and contains large amounts of vitamin B1, which improves the metabolism of sugars in the body, it also contains vitamin B2, which helps burn calories, prevents obesity and contains Vitamin B6, which is effective in making the hormone insulin in the body. Increased inflammation due to aging, which also leads to diabetes, and the anti-inflammatory effects of regular physical activity and spirulina supplementation have led researchers to hypothesize that the two may have synergistic effects that could have an optimal effect on Reduce obesity and diabetic complications. The aim of this study was to investigate the effect of eight weeks of high-intensity interval training with spirulina supplementation on weight changes and glucose indices in obese elderly diabetic rats.

Methods: This research was of experimental and applied-developmental type. For this purpose, 40 old male Wistar rats (20 months) with an average weight of 280 to 325 grams were purchased and transferred to the laboratory. Then, the standard diet of field rats was calculated and based on that, a high-fat diet derived from soybean and animal oil was prepared and used. The rats were on a high-fat diet for eight weeks. Rats need 10 grams of pellets per 100 grams of body weight per day (standard diet of rats and 10-15 ml of water). The composition of rat pellets included carbohydrates: wheat flour, barley, bran and corn. Protein included: fishmeal powder and soybean

Keywords

High Intensity Interval Training,
Spirulina Supplement,
Obesity,
Insulin Resistance,
Obese Elderly Diabetic Rat

Received: 29/01/2022

Published: 03/04/2022

meal and fat included soybean oil and a mixture of animal oils. However, in this study, rats had free access to the researcher's high-fat food and the amount of water they needed. The high-fat diet for weight gain consisted of 40% fat, 17% protein and 43% carbohydrates, which were prepared in this study according to livestock and poultry experts. After the weight of the rats reached more than 310 grams according to the Lee index; Diabetes was induced, then HIIT training began. To do this, after a 12-hour period of malnutrition, diabetes was induced by intraperitoneal injection of STZ (Sigma Germany). For this purpose, STZ was first dissolved in sodium citrate buffer solution with pH = 4 and injected into field rats at the rate of 40 mg / kg body weight. After five days, the rats' blood glucose levels were assessed and if the level was more than 300 mg / ml, the rats were diagnosed as diabetic. Blood glucose concentration was measured using blood samples collected from the tails of animals by a glucometer (Buerer GL42 model, made in Germany) and glucose oxidase enzyme method. The criterion for being diabetic was blood glucose concentration higher than 300 mg / 100 ml. The living conditions of the animals in the control group were similar to those in the exercise group except for daily exercise at other times. Then they were randomly divided into 5 groups of 8. Groups include HIIT, HIIT+spirulina, Spirulina, Sham and Control. Then, animals for 8 weeks, 5 sessions per week, HIIT (including running on a treadmill with a maximum of 90% VO₂max for 30 seconds, the first week with 5 repetitions and one repetition was added every week) and throughout the training period, the control group did not do any training. Changes in weight, glucose, insulin and insulin resistance were measured by standard methods. Data analysis was performed by one-way ANOVA and Tukey post hoc test using SPSS software.

Results: There was a significant difference in fasting glucose, insulin and insulin resistance between the groups ($p = 0.0001$). The results of Tukey post hoc test showed that HIIT and supplementation caused significant improvements in glycemic index values compared to control and sham groups. The most improvements were observed in the HIIT + supplement group, which showed the interactive effect of independent variables. HIIT and supplementation caused significant changes in weight between the studied groups. After the post hoc test, it was found that the HIIT + supplement group had more weight loss than the control and sham groups ($p = 0.0001$).

Conclusion: In general, weight gain and body fat percentage are directly related to increased insulin resistance, and the presence of these two factors increases the risk of diabetes. On the other hand, diabetes is one of the consequences of aging and for the treatment and control of diabetes, especially in old age, in addition to drug therapy, it has been shown that exercise with insulin-independent mechanisms activates muscle glucose uptake. Although the role of HIIT in diabetic and non-diabetic populations has received considerable attention among a variety of sports activities today, its prescription for diabetics has not yet been fully studied, including improving health and reducing complications. Diabetes depends on factors such as the intensity of exercise; For example, six months of moderate-intensity exercise and high-intensity exercise improved insulin sensitivity by 40 percent and 85 percent, respectively. HIIT also showed a greater increase in insulin sensitivity, which in turn increases muscle glucose uptake in humans and healthy and obese animals. Also, this type of exercise has been useful in improving athletic performance, increasing the physical fitness of healthy people and treating and rehabilitating some diseases, and on the other hand, the energy cost of this type of exercise is higher and improves aerobic fitness. Research has shown that a lack of time to engage in regular exercise and lower blood sugar, even up to 48 hours after regular exercise sessions in people with diabetes, is one of the main reasons these patients do not engage in exercise. That all these cases have been resolved in HIIT. Spirulina can also be effective in weight control and diabetes due to its very rich composition. According to research on the effect of spirulina on blood sugar in research, the effect of this supplement is mainly attributed to the water-soluble part of this algae, which is composed of a protein called phycocyanin and acts as a hypoglycemic agent. In addition, the fiber in spirulina supplementation, which reduces glucose uptake into the gastrointestinal tract, is also shown to be effective in lowering blood sugar. Since the most appropriate dose and timing of intervention for a better response of the body to spirulina supplementation is still inconsistent in the research background, the present study may emerge as a new idea alone in interaction with HIIT for better treatment and control of the index. Sugar and weight should be considered in these patients. According to the obtained results, this study can be used by all researchers who are looking for appropriate and low-risk treatments to treat or control diabetes and weight loss, especially in the elderly.

Conflicts of interest: None

Funding: None

Cite this article as:

Azarniveh MS, Askari R, Haghghi AH. The Effect of Eight Weeks of High-Intensity Interval Exercise with Spirulina Supplementation on Weight Changes and Glycemic Indices in Obese Elderly Diabetic Rats. *Razi J Med Sci.* 2022;29(1):10-22.

***This work is published under CC BY-NC-SA 3.0 licence.**

مقدمه

جمعیت سالمند در ایران و همه کشورهای جهان رو به افزایش است. با افزایش سن، شیوع چاقی به‌طور پیشرونده‌ای افزایش می‌یابد (۱،۲). از طرفی چاقی نیز منجر به افزایش خطرات سلامتی و افزایش بار اقتصادی می‌گردد (۳،۴). چاقی، به ویژه در طولانی مدت و از نوع احشایی، سنگ بنای پاتوژنز دیابت می‌باشد. بسته به نژاد و جنسیت، ۵۰ تا ۹۰٪ بیماران دیابتی نوع دو دارای اضافه‌وزن و چاقی هستند که این میزان در بیماران مسن تر بالاتر نیز گزارش شده است (۵). مسیرهای پاتوفیزیولوژیکی پشت این ارتباط پیچیده هستند و در نهایت منجر به ایجاد مقاومت به انسولین و اختلال ثانویه در عملکرد سلول می‌شوند. تجمع بافت چربی، طیفی از تغییرات متابولیکی و هورمونی را ایجاد می‌کند که به تدریج مسیر انتقال سیگنال انسولین را مختل نموده و به صورت افزایش مقاومت به انسولین در بافت چربی، کبد و عضله اسکلتی آشکار می‌شود (۶). از طرفی لازم به ذکر است که کاهش حساسیت به انسولین در سطح سلولی نیز نتیجه طبیعی افزایش سن می‌باشد (۶). یکی از مکانیسم‌های جبرانی بسیار مهم در برابر مقاومت به انسولین افزایش توده سلول‌های بتای پانکراس است، این افزایش در سلول‌های پانکراس تعادل پویایی بین نوژنز، تکثیر و فرایندهای آپوپتوتیک در جزایر لانگرهانس را که به صورت وابسته به سن تنظیم می‌شوند، منعکس می‌کند. اما استعداد ژنتیکی و سالمندی به اختلال در عملکرد سلول‌های بتا کمک می‌کنند که همراه با اثرات مزمن گلوکوتوکسیک و لیپوتوکسیک در ایجاد مقاومت به انسولین در شرایط چاقی و در نتیجه اختلال در کنترل قند خون و دیابت آشکار می‌شود (۷).

امروزه اصول اساسی کنترل دیابت را آگاهی و دانش، کنترل عوارض دیابت، رژیم غذایی، دارو و فعالیت جسمانی می‌دانند که هزینه اندک و ماهیت غیر دارویی فعالیت جسمانی، اهمیت درمانی آن را افزونتر می‌سازد (۸،۹). از طرفی اثرات سودمند ورزش بر سالمندی و عوارض ناخواسته همراه با آن بر کسی پوشیده نیست (۱۰، ۱۱). یکی از انواع تمرین‌های ورزشی که نقش آن در کنترل و مدیریت دیابت مورد توجه قرار گرفته است، تمرین تناوبی با شدت بالا (HIIT) (High

Intensity Interval Training) می‌باشد (۱۲). با توجه به ویژگی‌های تمرینات HIIT و آثار آن بر گلوکز، انسولین، مقاومت به انسولین و وزن، امروزه مورد توجه محققین قرار گرفته است که البته نتایج یکسانی هم گزارش نمی‌شود (۱۳-۱۵)؛ برای مثال، در مطالعه زارعی و همکاران (۱۳۹۸) چهار هفته HIIT نتوانست کاهش معناداری در وزن و گلوکز خون ناشتای موش‌های چاق دیابتی نوع دو ایجاد نماید (۱۳). اما، کریمی و ایزدی (۱۳۹۸) دریافتند که شش هفته HIIT، ۵ جلسه در هفته با افزایش سطوح انسولین سرم و کاهش قابل توجه گلوکز ناشتا همراه با کاهش معنادار وزن رت‌های چاق دیابتی در گروه تمرین نسبت به کنترل همراه بود (۱۴). لذا بررسی دقیق تر اثرات این نوع تمرین بر عوامل ذکر شده ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی، هم‌زمان با افزایش سن و متعاقب آن بروز اضافه وزن و چاقی، همچنین کاهش توده عضلانی و شیوع فراگیر دیابت در بین سالمندان، افراد دیابتی به منظور کنترل بیماری خود با وجود دسترسی فراوان به درمان‌های مرسوم، در حال روی آوردن هر چه بیشتر به درمان‌های جایگزین هستند. مکمل‌های غذایی، شکلی از درمان‌های تکمیلی و جایگزین خوراکی هستند که به شکل گسترده توسط عموم مردم از جمله بیماران دیابتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از بهترین مکمل‌های موجود، مکمل اسپیرولینا (Spirulina Supplement) است که گونه‌ای از علف‌های دریایی متعلق به گروه جلبک‌های سبز آبی می‌باشد. اسپیرولینا غنی از آنتی‌اکسیدان‌ها بوده و دارای مواد مغذی مانند فیکوسیانین، کلروفیل، پلی ساکاریدها و سولفولیپید است (۱۶). این گیاه به‌عنوان یک غذای پروبیوتیک نیز شناخته شده است. اسپیرولینا منبع مهمی از پروتئین رنگدانه‌دار فتوسنتزی به نام فیکوسیانین C است که خواص فوق‌العاده ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدانی دارد. در پژوهش‌های مختلف برای این مکمل گیاهی، آثار متعددی از جمله درمان کم‌خونی، افزایش تولید آنتی-بادی‌ها و جلوگیری از عفونت، کاهش قند و چربی خون، محافظت از کبد، تقویت کننده قلب و عروق ذکر کرده‌اند (۱۷). اسپیرولینا ممکن است در پیشگیری از دیابت مفید باشد؛ زیرا هم از نظر داشتن کالری پایین است، و هم حاوی مقادیر زیادی ویتامین B1 می‌باشد

روش کار

این پژوهش از نوع تجربی و کاربردی-توسعه‌ای بود. بدین منظور، ۴۰ سر رت نر نژاد ویستار ۲۰ ماهه با میانگین وزنی ۲۸۰ الی ۳۲۵ گرم خریداری و به محیط آزمایشگاه انتقال داده شد. سپس، غذای استاندارد رت‌های صحرایی محاسبه و براساس آن رژیم پرچرب مشتق شده از سویا و روغن حیوانی تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. رت‌ها به مدت هشت هفته تحت رژیم غذایی پرچرب قرار گرفتند. رت‌های صحرایی به ازای ۱۰۰ گرم وزن بدن روزانه به ۱۰ گرم پلت (غذای استاندارد رت‌های صحرایی) و ۱۵-۱۰ میلی لیتر آب نیاز دارند. ترکیب پلت رت‌ها کربوهیدرات شامل: آرد گندم و جو و سبوس و ذرت بود پروتئین شامل: پودر گوشت ماهی و کنجاله سویا و چربی شامل روغن سویا و مخلوط روغن‌های حیوانی بود. باین وجود، در این پژوهش رت‌ها به‌طور آزادانه به غذای پرچرب محقق‌ساز و آب به‌اندازه مورد نیاز دسترسی داشتند. غذای پرچرب به منظور افزایش وزن شامل ۴۰ درصد چربی و ۱۷ درصد پروتئین و ۴۳ درصد کربوهیدرات بود که در این پژوهش طبق نظر متخصصین دام و طیور تهیه شد (۲۱). پس از این که وزن رت‌ها براساس شاخص لی (۳۱۰×(قد (سانتی متر)) / (وزن بدن (گرم)) = اندکس توده بدنی ۴. (Lee index)) به بیشتر از ۳۱۰ گرم رسید؛ القای دیابت انجام گرفت، سپس تمرینات HIIT آغاز شد. برای این کار پس از یک دوره ۱۲ ساعته بی‌غذایی، دیابت با تزریق درون صفاقی STZ (سیگما آلمان) القاء شد. بدین منظور، نخست STZ در محلول بافر سدیم سیترات با $\text{pH}=4/5$ حل و به‌میزان ۴۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن به رت‌های صحرایی تزریق شد. پس از گذشت پنج روز، میزان گلوکز خون رت‌های صحرایی بررسی شد و چنانچه میزان آن بیشتر از ۳۰۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بود، رت‌های صحرایی به‌عنوان دیابتی تشخیص داده شدند (۲۲). غلظت گلوکز خون با استفاده از نمونه‌های خونی جمع‌آوری شده از دم حیوانات توسط گلوکومتر (بیورر مدل GL42، ساخت کشور آلمان) و روش آنزیمی گلوکز اکسیداز اندازه‌گیری شد. ملاک دیابتی بودن، غلظت گلوکز خون بالاتر از ۳۰۰ میلی‌گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر بود (۲۳). شرایط زیستی حیوانات در گروه

که باعث بهبود سوخت‌وساز قندها در بدن می‌شود، همچنین حاوی ویتامین B2 است که با کمک به سوزاندن کالری، مانع چاقی می‌شود و حاوی ویتامین B6 می‌باشد که در ساخت هورمون انسولین در بدن مؤثر است (۱۸). مطالعات انجام شده نیز تاحدودی موید این اثرات در آزمودنی‌های مختلف هستند (۱۵، ۱۹، ۲۰). برای مثال، لی (Lee) و همکاران (۲۰۰۸) پس از ۱۲ هفته مکمل‌دهی اسپیرولینا گزارش کردند که این مکمل بر روی فاکتورهای چربی خون، متغیرهای التهابی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ تأثیر دارد (۲۰). اما مورا (Moura) و همکاران (۲۰۱۲) طی مطالعه‌ای به بررسی تأثیر اسپیرولینا و تمرینات شنا بر کنترل هموستاز گلوکز سرم در موش‌های دیابتی پرداختند. آنها دریافتند که از نظر وزن بدن، میزان دریافت غذا، تحمل گلوکز، تحمل انسولین و غلظت لاکتات خون طی تمرین شنا، هیچ تفاوتی بین گروه‌ها وجود نداشت و ورزش و مکمل اسپیرولینا قادر به بهبود هموستاز گلوکز سرم در موش‌های دیابتی نبودند (۱۵) که تا حدی به کم‌بودن دوره مداخلات (شش هفته) و نوع و شدت تمرین مربوط می‌شد. افزایش التهاب ناشی از سالمندی که منجر به بروز دیابت نیز می‌شود و اثرات ضدالتهابی فعالیت بدنی منظم و مکمل اسپیرولینا این فرضیه را در ذهن محققین شکل داد که ممکن است این دو در کنارهم اثرات سینرژیکی داشته باشند و بتوانند تأثیر بهینه‌ای بر کاهش چاقی و عوارض دیابتی بگذارند. از آنجایی که مطالعات اندکی به بررسی اثرات HIIT و مصرف مکمل اسپیرولینا بر کاهش چاقی و شاخص‌های قندی آن‌هم به‌صورت مجزا و با کسب نتایج متفاوت و با شرایط و آزمودنی‌های متفاوت با پژوهش حاضر پرداخته‌اند (۱۵، ۱۹، ۱۳) و علی‌رغم جستجوهای فراوان تا این زمان مطالعه‌ای که به بررسی اثرات تعاملی HIIT و اسپیرولینا بر متغیرهای مذکور یافت نشد؛ این پرسش در ذهن وجود می‌آید که آیا اجرای هشت هفته HIIT بر متغیرهای مذکور در رت‌های مسن چاق دیابتی اثری دارد یا خیر؟ و آیا مکمل-یاری اسپیرولینا به‌طور مستقل و در ترکیب با تمرین می‌تواند تغییراتی در وزن و شاخص‌های قندی آزمودنی‌های مذکور داشته باشد؟

جدول ۱- برنامه تمرین HIIT در رت‌های گروه‌های تمرین

هفته	تکرار	سرعت (متر/دقیقه)	مدت هر تکرار (ثانیه)	زمان تمرین (دقیقه)
اول	۵	۲۶/۱	۳۰	۱۷/۵
دوم	۶	۲۶/۱	۳۰	۱۹
سوم	۷	۲۶/۱	۳۰	۲۰/۵
چهارم	۸	۲۶/۱	۳۰	۲۲
پنجم	۹	۲۶/۱	۳۰	۲۳/۵
ششم	۱۰	۲۶/۱	۳۰	۲۵
هفتم	۱۱	۲۶/۱	۳۰	۲۶/۵
هشتم	۱۲	۲۶/۱	۳۰	۲۸

شیب در تمامی جلسات تمرین صفر بود.

گرم کردن و سرد کردن در ابتدا و انتهای هر جلسه به مدت ۵ دقیقه انجام شد.

بین تکرارها، استراحت فعال به مدت ۱ دقیقه با سرعت ۸/۷ متر/دقیقه انجام شد.

تردمیل ۰/۳ متر در ثانیه به طور خودکار افزایش یافت تا زمانی که رت‌ها قادر به ادامه فعالیت ورزشی نبودند. فاصله دویده شده توسط هر رت به‌عنوان شاخص ظرفیت ورزشی در نظر گرفته شد. پس از برآورد ظرفیت ورزشی و با توجه به فرمول $y = 162x$ (y, represents VO_2 (ml/kg 0.75 per min) and x, running-1 مقادیر حداکثر اکسیژن مصرفی (VO_{2max}) محاسبه شد و شدت تمرینی بر این اساس تنظیم شد (۲۴). شدت بر اساس VO_{2max} محاسبه شد اما سرعت بیشینه معادل آن VO_{2max} برای اجرای تمرینات اعمال گردید.

پروتکل تمرین: تمرین برای رت‌های مسن چاق دیابتی گروه‌های تمرین (دیابتی تمرین تناوبی با شدت بالا و مصرف دارونما و دیابتی تمرین تناوبی با شدت بالا و مکمل) با $90\% VO_{2max}$ به مدت ۳۰ ثانیه دویدن روی تردمیل بود. در تمامی هفته‌ها بین هر تناوب به مدت یک دقیقه استراحت فعال داشتند و هر هفته ۵ جلسه تمرین را انجام دادند. در هفته اول تمرین مذکور با ۵ تکرار انجام شد، و هر هفته یک تکرار به آن اضافه شد طوری که تا هفته هشتم به ۱۲ تکرار رسید. در ابتدا و انتهای هر جلسه تمرینی گرم کردن (با شدت ۴۰ تا ۵۰ درصد سرعت بیشینه) و سرد کردن (با شدت ۲۰ تا ۳۰ درصد سرعت بیشینه) هر کدام ۵ دقیقه نیز انجام شد (جدول ۱) (۲۵). سرعت بیشینه رت‌ها با توجه به معادل‌سازی بر اساس VO_{2max} 3.12 ± 29.41 متر در دقیقه بدست آمد. لازم به ذکر است قبل از شروع پروتکل تمرینی، رت‌ها

کنترل به‌جز انجام تمرینات روزانه در سایر اوقات مشابه گروه تمرین بود. بعد از اطمینان از دیابتی شدن؛ رت‌های مذکور که هم چاق و هم دیابتی و هم مسن بودند در گروه‌های مورد پژوهش به صورت کاملاً تصادفی به ۵ گروه ۸ تایی تقسیم شدند. گروه‌ها شامل گروه تمرین: دیابتی HIIT همراه با مصرف دارونما (سالین)، گروه تمرین + مکمل: دیابتی HIIT و مصرف مکمل اسپیرولینا، گروه مکمل: دیابتی مصرف مکمل اسپیرولینا، گروه شم: دیابتی کنترل (همراه با مصرف دارونما) و گروه کنترل سالم بود. بعد از آشناسازی با محیط نگهداری و نحوه انجام تمرین‌ها و پایلوت کار، حیوانات به مدت ۸ هفته و هر هفته ۵ جلسه تمرینات تناوبی با شدت بالا را انجام داد (مطابق جدول ۱) و در کل دوره تمرین، گروه کنترل هیچ تمرینی را انجام ندادند.

آزمون جهت تعیین حداکثر اکسیژن مصرفی:

جهت تعیین حداکثر اکسیژن مصرفی از آزمون فزاینده استاندارد بیدفورد (Bedford) و همکاران (۱۹۷۹) استفاده شد که به وسیله ریندلو (Leandro) و همکاران (۲۰۰۷) جهت رت‌های نژاد ویستار استانداردسازی گردیده است. بدین منظور، ابتدا رت‌ها به مدت یک هفته با تردمیل توسط راه رفتن آرام با سرعت ۵ متر در دقیقه، به مدت ۵ دقیقه در ۵ جلسه آشنا شدند. سپس بر اساس مطالعه هویدال (Hoydal) و همکاران (۲۰۱۵)، هر رت، ابتدا به مدت ۱۰ دقیقه با شدت ۱۰ متر در دقیقه مرحله گرم کردن را سپری کرد. سپس آزمون فزاینده ورزشی آغاز شد و هر دو دقیقه سرعت

به مدت یک هفته برنامه آماده‌سازی همراه با افزایش پیشرونده سرعت تردمیل را داشتند.

خون‌گیری و پایش‌های بیوشیمیایی: ۲۴ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین و پس از ۸ ساعت ناشتایی نمونه‌برداری انجام شد (۱۰). برای جمع‌آوری نمونه‌ها ابتدا رت‌ها توسط تزریق درون صفاقی ترکیبی از داروهای زایلازین (۱۰ mg/kg) و کتامین (۹۰ mg/kg) بی‌هوش شدند. سپس قفسه سینه حیوان شکافته شد و برای اطمینان از کم‌ترین آزار به حیوان، نمونه‌ی خون به طور مستقیم از قلب حیوان گرفته شد و سپس برای سنجش‌های بعدی به فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد منتقل و نگهداری شد. اندازه‌گیری انسولین ناشتا با روش آنزیم ایمنواسی از نوع ساندویچی و رقابتی انجام شد. اندازه‌گیری گلوکز سرم با استفاده از کیت بیوشیمی و به روش آنزیماتیک (روش گلوکواکسیداز) انجام شد. همچنین جهت بررسی شاخص مقاومت به انسولین، از شاخص مقاومت به انسولین (HOMA-IR) استفاده شد. شاخص HOMA-IR بر اساس حاصل-ضرب غلظت گلوکز خون ناشتا در غلظت انسولین ناشتا تقسیم بر ثابت ۲۲/۵ محاسبه شد. تغییرات وزن بدن رت‌های تحقیق به صورت هفتگی بوسیله (Rat grimace scale) با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری و ثبت گردید.

نحوه مکمل‌یاری اسپیرولینا: مکمل مورد استفاده پودر جلبک اسپیرولینا از شرکت فار ایست میکروآلگ تایوان (Taiwan Microalgae Far East Co) بود که از طریق نمایندگی این شرکت در ایران (شرکت سینا ریز جلبک قشم) تهیه شد. پودر اسپیرولینا در هر جلسه به میزان ۵۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن (۲۶) با محلول نرمال سالین رقیق شد و سپس این محلول پنج روز در هفته و برای یک دوره‌ی هشت هفته‌ای در صبح روزهای تمرین به صورت گاواژ به حیوانات در گروه‌های مصرف مکمل خورنده شد.

نحوه اعمال دارونما: در تمامی گروه‌ها غیر از گروه-های مصرف کننده مکمل، به همان میزان ۵۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن از محلول نرمال سالین به عنوان دارونما استفاده شد و به صورت گاواژ مشابه گروه‌های مصرف مکمل به حیوانات خورنده شد. مصرف دارونما به‌منظور برقراری شرایط یکسان و

کورسازی بین آزمودنی‌ها استفاده شد. **تجزیه و تحلیل آماری:** از میانگین و انحراف استاندارد جهت گزارش توصیفی داده‌ها استفاده شد. پس از تایید طبیعی بودن داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk test)، به‌منظور بررسی تفاوت میانگین‌متغیرهای تحقیق، از آزمون آنوا یک‌طرفه همراه با آزمون تعقیبی توکی استفاده گردید. اطلاعات مورد نیاز پس از جمع‌آوری، به وسیله نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۳ تجزیه و تحلیل شد و سطح معناداری برای تمام محاسبات $P < 0/05$ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

شاخص‌های قندی رت‌ها در گروه‌های مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج آزمون آنوا یک‌طرفه نشان داد که تفاوت معناداری در غلظت گلوکز ناشتا ($F=140/51$ و $p=0/0001$)، انسولین ($F=136/52$ و $p=0/0001$) و مقاومت به انسولین ($F=14/04$ و $p=0/0001$) بین گروه‌های مورد مطالعه وجود داشت. نتایج آزمون تعقیبی توکی نشان داد که گلوکز ناشتا در گروه تمرین نسبت به گروه‌های شم و کنترل به طور معناداری کاهش داشت ($p=0/0001$)، اما نسبت به گروه تمرین+مکمل به‌طور معناداری بیشتر بود ($p=0/047$) و با گروه مکمل تفاوت معناداری نداشت ($p=0/152$). گروه تمرین+مکمل نسبت به تمام گروه‌های شم، کنترل، مکمل ($p=0/0001$) و تمرین ($p=0/047$) کاهش معناداری نشان داد. همچنین گروه مکمل نسبت به گروه‌های شم و کنترل ($p=0/0001$) کاهش معناداری داشت و بین گروه کنترل و شم نیز تفاوت معناداری وجود داشت ($p=0/0001$).

نتایج آزمون تعقیبی در مورد مقادیر انسولین حاکی از افزایش معنادار انسولین در گروه تمرین نسبت به گروه‌های کنترل و شم ($p=0/0001$) بود اما نسبت به گروه تمرین+مکمل به‌طور معناداری کمتر بود ($p=0/0001$) و بین گروه تمرین با مکمل ($p=0/987$) تغییر معناداری مشاهده نشد. درمورد گروه تمرین+مکمل نسبت به تمام گروه‌های تمرین، مکمل، شم و کنترل ($p=0/0001$) افزایش معناداری نشان داد. گروه مکمل نیز نسبت به گروه‌های کنترل و شم ($p=0/0001$) افزایش معناداری داشت. به‌علاوه بین

جدول ۲- مقایسه شاخص‌های قندی در گروه‌های مختلف به وسیله آزمون آنوا یک‌طرفه و آزمون تعقیبی

گروه‌ها	گلوکز خون ناشتا (mg/dl)	انسولین (μIU/ml)	HOMA-IR
تمرین	۲۰۱ ^۴ /۱۶±۱۲/۸۴	۷ ^۴ /۰±۱۷/۱۴	^{***} ۳/۰±۵۵/۲۳
تمرین+مکمل	۱۶۵ ^۴ /۱۸±۲۵/۵۱	۹ ^۴ /۰±۲۴/۳۹	[*] ۳/۰±۷۳/۳۴
مکمل	[*] ۲۳۰/۳۹±۲۵/۲۳	[*] ۶/۰±۹۹/۲۹	[*] ۳/۰±۹۸/۷۴
شم	^{***} ۳۷۲/۲۸±۰۰/۸۳	^{**} ۵/۰±۱۳/۱۲	^{**} ۴/۰±۷۱/۳۹
کنترل	۹۰/۸±۳۷/۰۷	۱۳/۱±۱۲/۵۶	۲/۰±۹۴/۵۳
sig	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱

Δ تفاوت معنادار نسبت به گروه مکمل، شم و کنترل

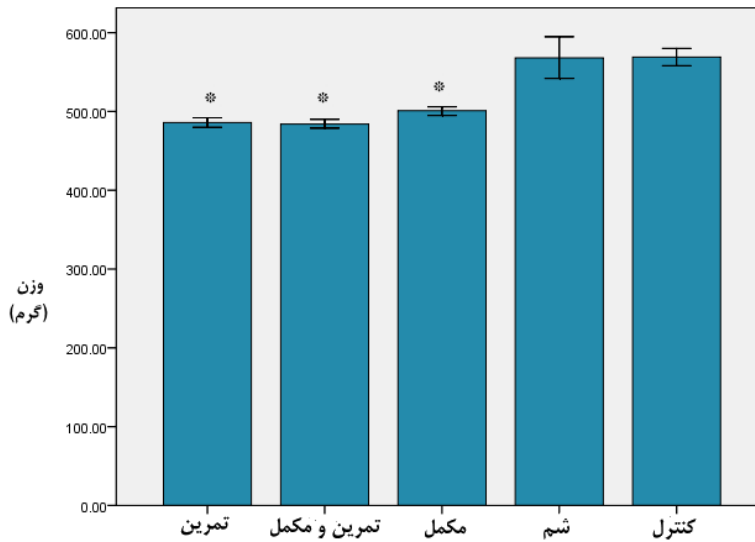
ΔΔ تفاوت معنادار نسبت به گروه تمرین+مکمل، شم و کنترل

* تفاوت معنادار نسبت به گروه کنترل و شم

** تفاوت معنادار نسبت به گروه کنترل

*** تفاوت معنادار نسبت به گروه شم

€ تفاوت معنادار نسبت به همه گروه‌ها



*** تفاوت معنی دار نسبت به گروه شم و گروه کنترل**

شکل ۱- تغییرات وزن پس از هشت هفته تمرین در گروه‌های مورد مطالعه. مقادیر به صورت میانگین ± انحراف استاندارد بیان شده و سطح معناداری $P < ۰/۰۵$ در نظر گرفته شده است.

به گروه مکمل ($p=۰/۸۳۹$) بود، اما نسبت به گروه کنترل به طور معناداری بیشتر بود ($p=۰/۰۲۰$). گروه مکمل نیز نسبت به گروه‌های شم ($p=۰/۰۳۹$) کاهش معناداری را نشان داد اما نسبت به گروه کنترل به طور معناداری بیشتر بود ($p=۰/۰۰۱$). به علاوه در گروه کنترل کاهش معناداری نسبت به گروه شم مشاهده شد ($p=۰/۰۰۰۱$).

آزمون آنوای یک‌طرفه برای داده‌ها پیش از اعمال مداخلات نشان داد که رت‌ها پیش از اجرای پروتکل تمرینی از نظر وزن ($F=۰/۳۲۳$ و $p=۰/۸۶۱$) همگن

گروه کنترل و شم نیز تفاوت معناداری وجود داشت ($p=۰/۰۰۰۱$).

نتایج آزمون تعقیبی در مورد مقادیر مقاومت به انسولین بین گروه‌های مطالعه نشان داد که گروه تمرین تنها نسبت به گروه شم به طور معناداری کاهش داشت ($p=۰/۰۰۰۱$)، اما نسبت به گروه‌های تمرین+مکمل ($p=۰/۹۴۸$)، مکمل ($p=۰/۴۱۱$) و کنترل ($p=۰/۱۰۸$) تفاوت معناداری نداشت. بررسی‌ها در مورد گروه تمرین+مکمل حاکی از کاهش معنادار نسبت به گروه شم ($p=۰/۰۰۳$) و عدم معناداری نسبت

بوده و تفاوت معناداری با یکدیگر نداشتند.

نتایج حاصل از بررسی تغییرات وزن در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نتایج آزمون آماری آنوا یک‌طرفه نشان داد که وزن رت‌ها در گروه‌های تمرین، مکمل و تمرین+مکمل با گروه‌های شم و کنترل به طور معناداری متفاوت بود ($F=76/808$ و $p=0/0001$) که پس از آزمون تعقیبی توکی مشخص شد گروه‌های تمرین، تمرین+مکمل و مکمل نسبت به گروه‌های کنترل ($p=0/0001$) و شم ($p=0/0001$) کاهش معناداری داشتند (شکل ۱) که نشان از اثرگذاری هر دو عامل تمرین و مکمل بر وزن داشت اما در این میان گروه تمرین+مکمل کاهش وزن بیشتری را نسبت به گروه کنترل و شم داشتند.

بحث

تحقیق حاضر به بررسی اثر هشت هفته HIIT و مکمل‌یاری اسپیرولینا بر تغییرات وزن و شاخص‌های قندی رت‌های مسن و چاق دیابتی پرداخت. نتایج نشان داد HIIT و مصرف مکمل اسپیرولینا بطور مستقل و در ترکیب باهم موجب کاهش معنادار وزن نسبت به گروه‌های کنترل سالم و شم شد. در مورد مطالعه اثر HIIT بر وزن مطالعات بسیاری انجام شده که اکثراً همسو با یافته‌های حاضر، بیانگر اثرات کاهش وزن متعاقب HIIT می‌باشند (۱۴،۲۷). برای مثال، شن (Shen) و همکاران (۲۰۱۵) دریافتند که HIT در رت‌های تغذیه شده با غذای پرچرب (High fat - HFD diet)، موجب کاهش توده چربی و کاهش وزن شد (۲۸). همچنین روچا و همکاران (۲۰۱۶) مشاهده کردند که شنای استقامتی با شدت بالا در موش‌های صحرائی با HFD می‌تواند دریافت غذا، مصرف غذا و بازده انرژی و در کل وزن موش‌ها را کاهش دهد (۲۹). بر اساس برخی مطالعات، HIIT تأثیر بیشتری نسبت به تمرین استقامتی بر کاهش وزن، کنترل گلوکز، و مقاومت به انسولین دارد (۳۰،۳۱). همسو با یافته‌های مطالعه حاضر، کریمی و ایزدی (۱۳۹۸) دریافتند که وزن و سطوح گلوکز ناشتا در گروه ورزش در پاسخ به شش هفته HIIT نسبت به گروه کنترل که در برنامه تمرینی شرکت نداشتند به طور معناداری کاهش یافت و با افزایش سطوح انسولین سرم همراه بود. آن‌ها این

تغییرات در وزن، سطوح گلوکز و بهبود انسولین را در اثر افزایش بیان FoxO1 دانستند که در پاسخ به تمرینات ورزشی با افزایش سنتز و ترشح انسولین از سلولهای بتای پانکراس همراه است (۱۴). همچنین، میرغنی و همکاران (۲۰۱۸) دریافتند که پس از ۱۲ هفته HIIT کاهش معناداری در وزن و گلوکز و بهبودی در سطوح انسولین مشاهده شد اما در شاخص مقاومت به انسولین این اختلاف معنادار نبود (۲۷) که احتمالاً می‌تواند بدلیل شدت پایین تر HIIT (-۹۰٪ VO_{2max}) و تفاوت در شرایط سنی رت‌های مورد پایش باشد. اما برخلاف نتایج بدست‌آمده در مطالعه حاضر، زارعی و همکاران (۱۳۹۸) دریافتند که متعاقب ۴ هفته HIIT علی‌رغم مشاهده کاهش در مقادیر وزن و گلوکز و افزایش در سطوح انسولین، این تغییرات از نظر آماری معنادار نبود (۱۳). آن‌ها از جمله عوامل موثر در کسب این نتایج را به شدت و مدت تمرین نسبت دادند که می‌تواند اثرات مختلفی بر روی وزن و قند خون داشته باشد. البته باید در این حین به عوامل دیگری مانند زمان ریکاوری تمرین نیز دقت کرد و علت تفاوت در نتایج احتمالاً می‌تواند مدت و شدت بیشتر در مطالعه حاضر باشد.

همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان از بهبود مطلوب و معنادار شاخص مقاومت به انسولین بین گروه‌های مورد مطالعه داشت. یکی از سازوکارهای مؤثر بر شاخص مقاومت به انسولین، میزان گلوکز ناشتای خون است و تغییرات انسولین و گلوکز می‌تواند موجب بهبود مقاومت به انسولین در بدن شود. در برخی مطالعات کاهش وزن و کاهش مقاومت به انسولین پس از HIIT گزارش شده است (۳۲،۳۳). شدت و مدت فعالیت ورزشی از عوامل مؤثر در کاهش سطح گلوکز و مقاومت به انسولین هستند. به گونه‌ای که با افزایش شدت فعالیت ورزشی، اتکا به کربوهیدرات‌های موجود در خون و عضله بیشتر می‌شود. در اوایل فعالیت ورزشی، گلیکوژن حجم زیادی از سوخت عضله فعال را فراهم می‌کند و ذخایر گلیکوژن، تخلیه شده و جذب گلوکز از خون و اسیدهای چرب آزاد شده از بافت چربی افزایش می‌یابد. هرچه فعالیت ورزشی طولانی‌تر باشد، انقباض عضلانی افزایش و در نتیجه میزان ذخیره گلوکز کاهش می‌یابد (۳۴). علاوه بر این، تمرین‌های ورزشی موجب

افزایش تحویل گلوکز به عضلات در حال کار (منقبض) می‌شود که این تغییرات وابسته به تغییرات عملکردی در پیام‌های انسولینی و مرتبط با افزایش محتوای پروتئینی است. تصور می‌شود که برخی از عوامل از جمله فعالیت آدنوزین منوفسفات کیناز، ذخیره گلیکوژن عضله و متعاقب آن افزایش فعالیت ساخت گلیکوژن نقش مهمی در تنظیم سازوکار تمرین‌های بدنی بر شاخص مقاومت به انسولین داشته باشد (۳۵). از دیگر عوامل مؤثر بر شاخص مقاومت به انسولین می‌توان به افزایش پیام‌رسانی گیرنده انسولین، افزایش بیان پروتئین انتقال‌دهنده گلوکز، کاهش آزادسازی اسیدهای چرب آزاد، افزایش رهاسازی گلوکز خون به عضله به علت افزایش مویرگ‌های عضله و تغییر در ترکیب عضله در حین افزایش برداشت گلوکز اشاره نمود (۳۶) که تمامی این موارد می‌تواند با انجام HIIT که از ویژگی شدت بالا و مدت کوتاه برخوردار می‌باشد، افزایش یابد. همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مکمل-یاری اسپیرولینا به تنهایی و همراه با HIIT موید اثرات فوق‌الذکر بود و منجر به کاهش وزن و گلوکز خون ناشتا و افزایش سطوح انسولین و در نتیجه بهبود در شاخص مقاومت به انسولین هم در گروه مکمل و هم در گروه تمرین+مکمل گردید. البته همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود مقادیر این تغییرات به‌طور معناداری در گروه تمرین+مکمل بیشتر بود که می‌تواند نشان از هم‌افزایی اثرات مثبت تمرین و مکمل اسپیرولینا باهم باشد. نتایج برخی مطالعات مرتبط حاکی از عدم کاهش معنادار در اثر مکمل‌یاری و یا تمرین داشتند. برای مثال، لی و همکاران (۲۰۰۸)، با ارزیابی اثر ۱۲ هفته مکمل‌یاری اسپیرولینا در بیماران دیابتی (قندخون بیشتر از ۱۲۶ میلی گرم در دسی لیتر)، علی‌رغم نتایج مطلوب در رابطه با نیم‌رخ لیپیدی، آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی، تغییرات در گلوکز و انسولین سرم آن‌ها قابل توجه نبودند (۲۰). همچنین در مطالعه‌ای توسط پاریک (Parikh) و همکاران (۲۰۰۱)، که در آن ۲ گرم در روز مکمل اسپیرولینا به مدت دو ماه مورد استفاده قرار گرفت، اگرچه از نظر آماری معنادار نبود، اما سطح گلوکز خون را در بیماران دیابتی کاهش داد (۳۷). همچنین مورا و همکاران (۲۰۱۲) که بررسی اثرات تمرین شنا و مکمل‌یاری

اسپیرولینا (استفاده از ۱۷٪ مکمل اسپیرولینا در رژیم غذایی) در کنترل هموستاز گلوکز سرم در رت‌های دیابتی پرداختند، تفاوت معناداری در مقادیر وزن بدن، گلوکز و انسولین پس از اعمال مداخلات مشاهده نکردند (۱۵). آنها دلایل احتمالی این عدم معناداری را مدت کم تمرینات دانستند که شش هفته تمرین ممکن است برای ایجاد سازگاری متابولیکی لازم مانند تحریک ترشح انسولین که می‌تواند منجر به کاهش نیم‌رخ قندی شود، کافی نباشد، بنابراین ترکیب مکمل-یاری اسپیرولینا با نوع تمرین بکاررفته در مطالعه مورا و همکاران برای بهبود در هموستاز قند خون رت‌های دیابتی کافی نبودند.

طبق اطلاعاتی که در زمینه اثر اسپیرولینا بر قند خون در پیشینه پژوهشی گزارش شده است، اثرگذاری این مکمل عمدتاً به بخش محلول در آب این جلبک نسبت داده می‌شود که از پروتئینی به نام فیکوسیانین تشکیل شده و به عنوان یک عامل کاهنده قند خون مطرح می‌شود به‌علاوه، فیبرهای موجود در مکمل اسپیرولینا که موجب کاهش جذب گلوکز در دستگاه گوارش می‌شود نیز در کاهش قندخون موثرند (۳۸،۳۹). از آن‌جا که مناسب‌ترین دوز و زمان مداخله برای پاسخ بهتر بدن به مکمل اسپیرولینا هنوز در پیشینه پژوهشی متناقض است، مطالعه حاضر ممکن است به‌عنوان ایده جدیدی به تنهایی و در تعامل با HIIT برای درمان و کنترل بهتر شاخص‌های قندی و وزن در این بیماران مدنظر قرار گیرد.

به‌طور کلی، افزایش وزن و درصد چربی بدن رابطه مستقیمی با افزایش مقاومت به انسولین دارد و وجود این دو عامل درصد ابتلا به دیابت را افزایش می‌دهد (۴۰). از طرفی یکی از پیامدهای متعاقب سالمندی دیابت می‌باشد (۴۱) و برای درمان و کنترل دیابت بویژه در دوره سالمندی علاوه بر درمان دارویی مشخص شده است که ورزش با مکانیسم‌های مستقل انسولین و جذب گلوکز عضلانی را فعال می‌کند (۴۲). اگر چه در میان انواع فعالیت‌های ورزشی امروزه به نقش HIIT در جمعیت‌های دیابتی و غیردیابتی توجه زیادی شده است، اما تجویز آن برای افراد دیابتی هنوز به‌طور کامل بررسی نشده است (۴۳) و در این میان بهبود سلامتی و کاهش عوارض دیابت به عواملی مانند

و کاهش وزن بویژه در سالمندان هستند، مورد استفاده و کاربرد قرار گیرد. از محدودیت‌های اصلی پژوهش حاضر می‌توان به عدم بررسی ترکیب بدن و امکان استفاده از دوزهای مختلف مکمل و شدت‌های متفاوت HIIT اشاره کرد. لذا به منظور نتیجه‌گیری بهتر می‌توان در پژوهش‌های آتی از این متغیرها بهره برد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که هشت هفته HIIT همراه با مصرف مکمل اسپیرولینا می‌تواند سبب کاهش وزن و بهبود شاخص‌های قندی در رت‌های چاق و مسن دیابتی شود و در کنترل هموستاز گلیسمیک این بیماران بویژه در سنین بالا مفید واقع شود. از آنجایی که تعداد سالمندان در کشور ما و سایر کشورها رو به افزایش است و نتایج حاضر اثرات مثبت تمرین و مکمل را در این سنین تأیید نموده‌اند، بنابراین پیشنهاد می‌شود تحقیقات بعدی به بررسی تأثیر تمرین و مکمل-یاری در آزمودنی‌های سالمند زن و مرد و مدت زمان طولانی‌تر و شدت‌های متفاوت جهت اثرگذاری بیشتر بپردازند.

تقدیر و تشکر

در پایان بر خود لازم میدانیم از کلیه کسانی که ما را در تهیه و تدوین این مقاله یاری رساندند، تقدیر و تشکر نماییم. همچنین لازم به ذکر است مقاله حاضر مستخرج از پایان‌نامه مقطع دکتری با کد اخلاق IR.HSU.REC.1400.007 می‌باشد.

References

1. Mathus-Vliegen EM. Obesity and the elderly. *J Clin Gastroenterol.* 2012;46(7):533-544.
2. Han T, Wu F, Lean M. Obesity and weight management in the elderly: a focus on men. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab.* 2013;27(4):509-525.
3. Moghaddas F, Khamnian Z. The prevalence of obesity, hypertension, diabetes and hyperlipidemia among elderlies over 60 years of age of Sahlan area in Tabriz. *Depict Health.* 2018;9(3):206-13. (Persian)
4. Narain JP, Kumar DR. *Textbook of chronic noncommunicable diseases: the health challenge of 21st century.* Jaypee Brothers Medical Publishers.

شدت تمرین بستگی دارد (۴۴)؛ به‌عنوان مثال شش ماه تمرین با شدت متوسط و تمرین با شدت بالا به ترتیب ۴۰ درصد و ۸۵ درصد حساسیت به انسولین را بهبود بخشیدند (۴۵) همچنین تمرینات HIIT نشان داده که به میزان بیشتری حساسیت به انسولین را افزایش می‌دهند که متعاقباً موجب افزایش دریافت گلوکز توسط عضله در انسان و حیوانات سالم و چاق می‌شود (۴۶). همچنین این نوع تمرینات در بهبود عملکرد ورزشی، افزایش آمادگی جسمانی افراد سالم و درمان و بازتوانی برخی بیماری‌ها مفید بوده است و از طرفی هزینه انرژی این نوع تمرینات بیشتر است و آمادگی هوایی را بهبود می‌بخشد. تحقیقات نشان داده‌اند که کمبود وقت برای پرداختن به فعالیت ورزشی منظم و کاهش قند خون حتی تا ۴۸ ساعت پس از وهله‌های ورزشی تداومی در افراد مبتلا به دیابت از علت‌های اصلی این بیماران برای پرداختن به فعالیت‌های ورزشی است (۴۷) که تمام این موارد در HIIT برطرف شده است. از طرفی اسپیرولینا نیز بدلیل ترکیبات بسیار غنی که دارد می‌تواند در کنترل وزن و دیابت موثر باشد (۱۸). مطالعات کلینیکی اثربخشی اسپیرولینا در کاهش وزن را در دو دلیل عمده می‌دانند: ۱. تصحیح کمبودهای تغذیه‌ای: چاقی نه تنها در نتیجه مصرف زیاد کالری روی می‌دهد بلکه مهم‌تر از آن، افزایش ترشح انسولین در نتیجه نقص عملکرد سیستم اندوکرین (غدد درون ریز) موجب میل شدید به پرخوری می‌گردد. مصرف اسپیرولینا با تامین مواد مغذی مورد نیاز بدن، به کاهش میل به پرخوری کمک کرده و بدین‌وسیله با برگشت سیستم اندوکرین به ثبات قبلی، کاهش وزن پیش می‌رود. البته واضح است که مصرف اسپیرولینا فقط محیط مناسب را برای کاهش وزن فراهم می‌کند و حذف غذاهای بی‌محتوا، روغن‌های هیدروژنه‌شده و تمامی انواع ترکیبات قندی حتماً بایستی انجام شود. ۲. اضافه کردن گاما لینولنیک اسید به رژیم غذایی: این اسید چرب اساسی با کنترل انسولین و تنظیم قندخون به کاهش پرخوری کربوهیدرات‌ها کمک می‌کند (۴۸).

باتوجه به نتایج بدست‌آمده، این پژوهش می‌تواند توسط کلیه‌ی محققینی که به دنبال روش‌های درمانی مناسب و کم‌خطر جهت درمان یا کنترل بیماری دیابت

- 2016.
5. Smyth S, Heron A. Diabetes and obesity: the twin epidemics. *Nat Med.* 2006;12:75–80 19.
 6. DeFronzo RA. Pathogenesis of type 2 diabetes mellitus. *Med Clin North Am.* 2004;88:787–835.
 7. KYROU I, Tsigos M. Obesity in the Elderly Diabetic Patient Is weight loss beneficial? *Diabetes Care.* 2009;32(2):403-409.
 8. Yang Z, Scott CA, Mao C, Tang J, Farmer AJ. Resistance exercise versus aerobic exercise for type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2014;44(4):487-499.
 9. Qiu S, Cai X, Schumann U, Velders M, Sun Z, Steinacker JM. Impact of walking on glycemic control and other cardiovascular risk factors in type 2 diabetes: a meta-analysis. *PloS One.* 2014;9(10):e109767.
 10. Zarei F, Jafari A. High-intensity interval training through mTOR and SREBP1 proteins leads to the regulation of adipose tissue in rats obese with type 2 diabetes. *J Knowl Health Basic Med Sci.* 2019;15(1):41-48. (Persian)
 11. Kazem A, Haghpanah A, Dakhili A. The effect of high-intensity exercise training on gene expression of tweak and Fn14 in EDL muscle of aged and adult mice. *Res Sport Med Technol.* 2019;17(18):1-11. (Persian)
 12. Delfan M, Piri M, Ghochi Asl S. Comparison of eight weeks of intense intermittent exercise with continuous aerobic exercise on the expression of genes in adipose tissue of CRP-induced diabetic rats with high-fat, fructose-containing foods. *J Shahid Beheshti Univ Fac Med Sci.* 2020;44(4):579-573. (Persian)
 13. Zarei F, Sherafati Moghadam M, Shabani M, Jokar M. The effects of 4 weeks high intensity interval training on mammalian rapamycin target protein (mtor) and sterol transcription factor regulatory protein-1 (srebp1) proteins content in diabetics obese rats adipose tissue. *Iran J Diabetes Metab.* 2020;19(1):26-35. (Persian)
 14. Karimi M, Eizadi M. The effect of interval training on FOXO1 expression in pancreas tissue of diabetes rats with high fat diet and STZ. *Razi J Med Sci.* 2019;26(6):95-104. (Persian)
 15. Pereira de Moura L, Luiz Demantova Gurjão A, Claudio Jambassi Filho J, Mizuno J, Suemi C, Alice Rostom de Mello M. Spirulina, exercise and glycemic control in diabetic rats / Spirulina, exercise and serum glucose control in diabetic rats. *Arq Bras Endocrinol Metabol.* 2012;56(1):25-32.
 16. Hozayen WG, Mahmoud AM, Soliman HA, Mostafa SR. Spirulina versicolor improves insulin sensitivity and attenuates hyperglycemia-mediated oxidative stress in fructose-fed rats. *J Intercultur Ethnopharmacol.* 2016;5(1):57.
 17. Gupta A, Nair A, Kumria R, Al-Dhubiab BE, Chattopadhyaya I, Gupta S. Assessment of pharmacokinetic interaction of spirulina with glitazone in a type 2 diabetes rat model. *J Med Food.* 2013;16(12):1095-1100.
 18. Akbarpour M, Samari Z. The effect of aerobic training and Spirulina supplementation on Resistin and C - reactive protein in women with type 2 diabetes with overweight. *Feyz.* 2020;24(5):576-584. (Persian)
 19. Hooshmand B, Attarzade Hosseini S, Kordi M, Davaloo T. The Effect of 8-week Aerobic Exercise with Spirulina Supplementation Consumption on Plasma levels of MDA, SOD and TAC in Men with Type 2 Diabetes. *Sport Physiol Manag Invest.* 2019;10(4):139-148. (Persian)
 20. Lee EH, Park JE, Choi YJ, Huh KB, Kim WY. A randomized study to establish the effects of spirulina in type 2 diabetes mellitus patients. *Nutr Res Pract.* 2008;2(4):295-300.
 21. Jamali E, Asad MR, Faramarzi M. A Comparison of the effects of two protocols , high intensity interval training (HIIT) and endurance training on resistin gene expression in visceral adipose tissue of Wistar obese male rats. *J Shahid Sadoghi Univ Med Sci.* 2016. (Persian)
 22. Hedayati S, Riyahi Malayeri S, Hoseini M. The Effect of Eight Weeks of High and Moderate Intensity Interval Training Along with Aloe Vera Consumption on Serum Levels of Chemerin, Glucose and Insulin in Streptozotocin-induced Diabetic Rats: An Experimental Study. *J Rafsanjan Univ Med Sci.* 2018;17(9):801-814. (Persian)
 23. Panahi S, Agha-Alinejad H, Gharakhanloo R, Fayazmilani R, Hedayati M, Safarzadeh A, et al. The effect of 4 weeks resistance training on murfl gene expression and muscle atrophy in diabetic wistar rats. *Med J Tabriz Univ Med Sci Health Serv.* 2016;38(2):6-13. (Persian)
 24. Hoydal MA, Wislff U, Kemi OJ, Ellingsen. Running speed and maximal oxygen uptake in rats and mice: practical implications for exercisetraining. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* 2007;14(6):753-60.
 25. Gibala, M.J. and S.L. McGee. Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? *Exerc Sport Sci Rev.* 2008;36(2):58-63.
 26. Simon JP, Baskaran UL, Shallauddin KB, Ramalingam G, Prince SE. Evidence of antidiabetic activity of Spirulina fusiformis against streptozotocin-induced diabetic Wistar albino rats. *3 Biotech.* 2018;8(2):1-12.
 27. Mirghani SJ, Azarbayjani MA, Peeri M. Effects of Endurance Training and Isocaloric High Intensity Interval Training on Anthropometric Indices and Insulin Resistance in High Fat Diet-Fed Wistar Rats. *Med Lab J.* 2018;12(6):12-18. (Persian)
 28. Shen Y, Xu X, Yue K, Xu G. Effect of different exercise protocols on metabolic profiles and fatty acid metabolism in skeletal muscle in high-fat

diet-fed rats. *Obesity*. 2015;23(5):1000-6.

29. Rocha GL, Crisp AH, de Oliveira MR, Silva CA, Silva JO, Duarte AC, et al. Effect of High Intensity Interval and Continuous Swimming Training on Body Mass Adiposity Level and Serum Parameters in High-Fat Diet Fed Rats. *Sci World J*. 2016;2016:2194120.

30. Weston M, Taylor KL, Batterham AM, Hopkins WG. Effects of low-volume high-intensity interval training (HIT) on fitness in adults: a meta-analysis of controlled and non-controlled trials. *Sports Med*. 2014;44(7):1005-17.

31. Weston KS, Wisløff U, Coombes JS. High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2014;48(16):1227-34.

32. Karstoft K, Winding K, Knudsen SH, James NG, Scheel MM, Olesen J, Holst JJ, Pedersen BK, Solomon TP. Mechanisms behind the superior effects of interval vs continuous training on glycaemic control in individuals with type 2 diabetes: a randomised controlled trial. *Diabetologia*. 2014;57(10):2081-93.

33. Goodpaster BH, Kelley DE, Wing RR, Meier A, Thaete FL. Effects of weight loss on regional fat distribution and insulin sensitivity in obesity. *Diabetes*. 1999;48(4):839-47.

34. Suh SH, Paik IY, Jacobs K. Regulation of blood glucose homeostasis during prolonged. *Mol Cells*. 2007;23:272-279.

35. Goodwin ML. Blood glucose regulation during prolonged, submaximal, continuous exercise: a guide for clinicians. *J Diabetes Sci Technol*. 2010;4(3):694-705.

36. Holten MK, Zacho M, Gaster M, Juel C, Wojtaszewski JF, Dela F. Strength training increases insulin-mediated glucose uptake, GLUT4 content, and insulin signaling in skeletal muscle in patients with type 2 diabetes. *Diabetes*. 2004;53(2):294-305.

37. Parikh P, Mani U, Iyer U. Role of spirulina in the control of glycemia and lipidemia in type 2 diabetes mellitus. *J Med Food*. 2001;4(4):193-9.

38. Ambrosi MA, Reinehr CO, Bertolin TE, Costa JAV, Colla LM. Propriedades de saúde de Spirulina spp. *Rev Ciênc Farm Básica Apl*. 2008;29(2):109-17.

39. Hosoyamada Y, Takai T, Kato T. Effects of water-soluble and insoluble fractions of Spirulina on serum lipid components and glucose tolerance in rats. *J Jap Soc Nutr Food Sci*. 1991;44:273-7.

40. Caprio S, Perry R, Kursawe R. Adolescent obesity and insulin resistance: roles of ectopic fat accumulation and adipose inflammation. *Gastroenterology* 2017;152(7):1638-46.

41. Hurst, C. Weston, K, L, Weston, M. The effect of 12 weeks of combined upper- and lower-body high intensity interval training on muscular and

cardiorespiratory fitness in older adults. *Aging Clin Experim Res*. 2019;31:661-671.

42. Machado UB, Schaan BF, Seraphim PM. Transportadores de glucosena syndrome metabolica. *Arq Bras Endocrinol Metabol*. 2006;50(2):177-89.

43. Curry M, Mehta SB, Chuffin JC, Duran E, Washington B, Bose S. The effect of low-volume, high-intensity interval training on blood glucose markers, anthropometric measurements, and cardiorespiratory fitness in patients with type 2 diabetes. *Critl Rev™ Physic Rehabil Med*. 2015;27(1).

44. 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. *J Appl Physiol*. 2011;111(6):1554-1560.

45. Houmard JA, Tanner CJ, Slentz CA, Duscha BD, McCartney JS, Kraus WE. Effect of the volume and intensity of exercise training on insulin sensitivity. *J Appl Physiol*. 2004;96(1):101-106.

46. Pelletier C, Dai S, Roberts KC, Bienek A, Onysko J, Pelletier L. Report summary Diabetes in Canada: facts and figures from a public health perspective. *Chronic Dis Inj Can*. 2012; 33(1).

47. Faezi G, Sherafati Moghadam M, Shadmehri S, Fathalipour M. The effect of 4 weeks high-intensity interval training (HIIT) on the content of downstream and upstream mTORC1 pathways gastrocnemius muscle of type 2 diabetic rats. *Med Sci J Islam Azad Univ Tehran Med Branch*. 2020;30(2):120-127. (Persian)

48. Zarabadipour, M, Afshin Pajooh, A, and Amini, M. Nutritional value and clinical properties of spirulina. National Conference on New Sciences and Technologies in Food Industry. 2014. P 1-9. (Persian)