



## تأثیر تمرین تناوبی شدید و عسل آویشن بر شاخص مقاومت به انسولین و بیان ژن GATA4 در بافت قلب رت‌های دیابتی نوع دو

مهديه كوشا: دانشجوی دکتری، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران  
**حسین عابد نطنزی:** گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (\* نویسنده مسئول) h-abadnatanzy@srbiau.ac.ir  
**ماندانا غلامی:** گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران  
**فرشاد غزالیان:** گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

### چکیده

#### کلیدواژه‌ها

تمرین تناوبی شدید،  
آنتی اکسیدان،  
مقاومت به انسولین،  
GATA4  
دیابت

**زمینه و هدف:** فعالیت بدنی در بهبود دیابت نوع دو تأثیر بسزایی دارد. هدف تحقیق حاضر تعیین تأثیر مداخله تمرین تناوبی شدید و عسل آویشن بر شاخص مقاومت به انسولین و بیان ژن GATA4 بافت قلب رت‌های دیابتی نوع دو بود.  
**روش کار:** این مطالعه تجربی روی ۳۶ رت نر نژاد ویس-تار که پس از ۲۰ هفته تغذیه با رژیم پرچرب و با تزریق درون صفاقی ۲۵ml/kg استرپتوزوتوسین (STZ) دیابتی شدند، انجام شد. رت‌ها به‌طور تصادفی در چهار گروه کنترل دیابتی (۸ سر)، تمرین تناوبی (۱۰ سر)، عسل آویشن (۸ سر)، تمرین تناوبی و مصرف عسل آویشن (۱۰ سر) تقسیم شدند مداخله تمرینی به‌صورت هشت هفته HIIT، شامل ۲ تا ۸ تناوب دو دقیقه‌ای با شدت ۸۰ تا ۹۰ درصد  $VO_2max$  و استراحت یک دقیقه‌ای با شدت ۵۰ تا ۵۶ درصد  $VO_2max$ ، به مدت ۵ جلسه در هفته اجرا شد. علاوه بر این، ۳ گرم بر کیلوگرم عسل آویشن، ۵ روز در هفته مصرف شد. بیان ژن GATA4 تو سطر روش واکنش زنجیره‌ای پلیمر از رونویسی معکوس (RT-PCR) اندازه‌گیری شد. از آزمون تحلیل واریانس یک راه جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده گردید  
**یافته‌ها:** نتایج نشان داد HIIT بر شاخص مقاومت انسولین معنادار است ولی مصرف عسل آویشن و نیز انجام HIIT همراه مصرف عسل آویشن بر شاخص مقاومت انسولین معنادار نیست ( $p > 0.05$ ). همچنین تمرین تناوبی شدید و مصرف عسل آویشن بیان ژن GATA4 را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد درحالی که اجرای HIIT به همراه مصرف عسل نتوانسته است بر بیان ژن GATA4 اثر معناداری داشته باشد.  
**نتیجه‌گیری:** تمرین تناوبی شدید با کاهش ریسک فاکتورهای متابولیکی و شاخص مقاومت به انسولین و نیز با محافظت از قلب در برابر آپوتوز، نکروز و تحریک هایپرτροφی از طریق افزایش فاکتور رونویسی GATA4 می‌تواند به فعال شدن CSCs منجر شود.

**تعارض منافع:** گزارش نشده است.

**منبع حمایت‌کننده:** حامی مالی ندارد.

شیوه استناد به این مقاله:

Kosha M, Abednatanzi H, Gholami M, Ghazalian F. The Effect of High-Intensity Interval Training and Thyme Honey Intervention on Insulin Resistance Index and the Expression of GATA4 in the Heart Tissue of Type 2 Male Diabetic Rats. Razi J Med Sci. 2023;30(3): 23-35.

\*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.

## The Effect of High-Intensity Interval Training and Thyme Honey Intervention on Insulin Resistance Index and the Expression of GATA4 in the Heart Tissue of Type 2 Male Diabetic Rats

**Mahdie Kosha:** PhD student, Department of Physical Education and Sports Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

**Hossein Abednatanzi:** Department of Physical Education and Sports Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (\* Corresponding author) [h-abednatanzy@srbiau.ac.ir](mailto:h-abednatanzy@srbiau.ac.ir)

**Mandana Gholami:** Department of Physical Education and Sports Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

**Farshad Ghazalian:** Department of Physical Education and Sport Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

### Abstract

**Background & Aims:** Diabetes mellitus is a disease that, is affected by environment and also genetics. The pathophysiological changes of diabetes are caused by dysfunction of peripheral  $\beta$  cells and ROS-dependent inflammation produced by tissues, all of these factors underlie insulin resistance and chronic inflammation, which gradually impairs blood glucose control (1). GATA4 is a cardiac-enriched transcription factor that is essential for various physiological and adaptive responses of cardiomyocytes. Recent studies have shown that GATA4 was able to protect cardiomyocytes from DOX-induced apoptosis, indicating that GATA4 also conveys a survival signal for cardiomyocytes (4). Recent studies have shown that physical activity has a significant effect on improving type 2 diabetes, reducing the risk of insulin resistance, metabolic syndrome and type 2 diabetes, and improving insulin sensitivity (8). Many studies show that by consuming more energy and training intensities, including high-intensity intermittent exercise, there is a greater response to insulin sensitivity throughout the body. During exercise, with muscle contraction and increased AMPK activity, stimulation of insulin sensitivity increases. After exercise, an increase in Akt inactivates TCB1D4 and thus increases the transport of glucose transporter (GLUT4) to the cell membrane, resulting in increases in absorption glucose (9). In recent years, in addition to the emphasis on exercise and physical activity, attention has been paid to dietary supplements and some herbs for the treatment of diabetes, among which there is great interest in the use of honey (15). Honey is primarily rich in carbohydrates and is also abundant in flavonoids and phenolic acids; thus, it is a promising therapeutic antioxidant for various disorders. It is a promising antidiabetic agent. Although the use of honey due to its therapeutic and nutritional value has long been considered and approved in scientific texts, but its use in modern medical sciences is debatable (17). Therefore, considering the known physiological positive effects and protection of the heart, periodic exercise and thyme honey, as well as their positive role in improving cardiac function and the possibility of stimulating GATA4 gene expression in line with positive physiological adaptations of the heart, especially cardiomyocyte hypertrophy, we hypothesized that: 1- HIIT, Thyme honey and The combination of both can be effective in increasing the expression of GATA4 gene in male type 2 diabetic rats. Therefore, the aim of the present study was to investigate the effects of eight weeks of HIIT and thyme honey on GATA4 gene expression in male type 2 diabetic rats.

**Methods:** In this experimental study, 36 young male Wistar rats, as a statistical sample, were purchased from Royan Research Institute and were moved to the Razi Laboratory of Azad University of Science and Research. After two weeks of getting acquainted with the laboratory environment and reaching a weight of  $197 \pm 20$ , undergo a high-fat diet (HFD) for 20 weeks on a high-fat diet prepared by the Royan Biotechnology Research Institute, which 45% HFD was given for 3 months and 60% HFD was given for 2 months (20, 21). Then Rats were randomly divided into four groups: control (n=8), HIIT (n=10), thyme honey (n=8) and HIIT\*thyme honey (n=10) groups. At the end of the protocol, 28 rats were survived. In each group 2 rats died. To induce diabetes, a high-fat diet is used for 20 weeks and then intraperitoneal injection (25 mg / kg) of STZ solution is used. The HIIT training intervention of 8 weeks, with 2 min running at 80-90%  $VO_{2max}$  and 1 min at 50-56%  $VO_{2max}$ , was performed for 5 sessions per week including 2 to 8 intervals 16 Up to 34 minutes was done running on a treadmill, so that running time increased from 16 minutes in the first week to 34 minutes in last week. Additionally, during the 8 weeks

### Keywords

HIIT,  
Antioxidant,  
Insulin resistance,  
GATA4,  
Diabetes

Received: 08/04/2023

Published: 10/06/2023

of intervention, 3 g/kg of diluted thyme honey consumed, 5 days/week in supplement groups, honey and HIIT\* honey groups.

Cardiac tissue was isolated and transferred to a negative 80 freezer to measure the expression of genes. In the next step, the RNA is extracted by RiboEX Total RNA isolation solution (GeneAll) and finally the quantitative and qualitative study of the RNA by Nanodrop device is evaluated. After ensuring the quality of RNA, it was extracted, cDNA made using the TAKARA kit and transferred to negative 20 freezer. AMPLIQON Master Mix Cybergreen was used for real-time reverse transcription-polymerase chain reaction (real-time RT-PCR). In the present study, the GAPDH reference gene was used as a house keeping gene and the Delta Delta CT method was used to quantitatively analyze the Real Time PCR data. The expression of the GATA4 genes in heart tissue. The primers used in this study were designed by Allel ID6 software and synthesized by Sinaclon Biotechnology Company. The sequence of primers is given in Table 2. Temperature gradient was set. All samples were repeated 2 times in a real-time PCR machine. Also, the temperature and time program of Real Time PCR reaction in the present study is according to Table 3. Data were analyzed using SPSS22 software. Shapiro-Wilk test to determine the normality of data distribution and Levin test for homogeneity of variances and inferential statistics of one-way analysis of variance and tukey post hoc test were used to compare the differences between groups. Significance level in the tests was considered  $\alpha$  05 0.05.

**Results:** According to the results of descriptive statistics, the scores of HIIT in the insulin resistance index are lower than the other groups. Also, the GATA4 scores in the HIIT and Thym honey are higher than the other groups. ANOVA Analysis revealed that there was a significant difference between the groups in the variable of HOMA-IR ( $P = 0.001$ ) and GATA4 gene expression ( $P = 0.016$ ). The results of Tukey post hoc test showed that HOMA-IR was significantly decreased only in HIIT group when compared with other groups, whereas this finding was not repeated in other intervention groups ( $p > 0.05$ ). and expression of GATA4 gene was significantly increased in HIIT and Thym honey ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion:** The aim of this study was to evaluate the effect of HIIT and thyme honey on insulin resistance index and expression of GATA4 gene in heart tissue of type 2 male diabetic rats. The results of the present study revealed that HOMA-IR were significantly decrease on the HIIT group when compared with others groups, though, there were no significant difference on the insulin resistance index in thyme honey and HIIT\*thyme honey groups. These results were consistent with the study of Nova et al. (2017), Farazmandi and Rezaian (1399), Jelstad et al. (2021). also, Su et al. (2011) showed that exercise and physical activity can significantly reduce the insulin resistance index (34). Azimi Dokht et al. (2015) also showed in a study that eight weeks of intermittent exercise has a positive effect on fat profile and insulin resistance in type 2 diabetic men (35). Although, in concern with expression of GATA4 gene there are significantly increase in HIIT group in compared others group, there is no significant difference in the other intervention groups. These results are consistent with the findings of Hemmati et al. (2019), Xu et al. (2018), Naderi et al. (2019), Xiao et al. (2014). Xu et al. (2018) demonstrated GATA4 had a protective effect against endothelial dysfunction induced by hyperglycemia. Overexpression of GATA4 was demonstrated to lead to increased expression of NOX4 mRNA and protein. Furthermore, GATA4 overexpression resulted in increased nitric oxide (NO) production through the upregulation of endothelial NO synthase phosphorylation (38). Exercise imposes a higher cardiac workload, inducing angiogenesis and hypertrophy of cardiomyocytes, and GATA4 triggers this physiological process. However, overexpression of GATA4 is also associated with decompensated cardiac hypertrophy, as it occurs in neuroendocrine overactivation-induced HF. On the other hand, in postnatal hearts, GATA4 is essential for cardiomyocyte survival after injury or stress (38).

For years, people have believed that diabetics cannot consume honey because honey is high in sugar. Regarding honey, it should be noted that according to the standard, the acceptable limit for the ratio of fructose to glucose of honey is a minimum of 0.9 (40). Due to the fact that the glycemic index of fructose is very low. These findings show that honey causes fewer changes in blood sugar compared to glucose and can prevent the adverse effects of postprandial hypertension (41) and therefore this ability It increases the expression of GATA4 gene. Therefore, it seems that interval exercise and consumption of thyme honey can be used in type 2 diabetes.

**Conflicts of interest:** None

**Funding:** None

### Cite this article as:

Kosha M, Abednatanzi H, Gholami M, Ghazalian F. The Effect of High-Intensity Interval Training and Thyme Honey Intervention on Insulin Resistance Index and the Expression of GATA4 in the Heart Tissue of Type 2 Male Diabetic Rats. *Razi J Med Sci.* 2023;30(3): 23-35.

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

## مقدمه

دیابت میلِتوس یک بیماری است که علاوه بر محیط، ژنتیک نیز بر آن مؤثر است. تغییرات پاتوفیزیولوژیکی دیابت با اختلال در عملکرد سلول های  $\beta$  محیطی و التهاب وابسته به ROS تولید شده توسط بافت ها یا به دلیل تعامل سلول های ایمنی با گیرنده انسولین و نیز مسیرهای سیگنالینگ پایین دستی آن ها ایجاد می شود و در عدم پاسخ کافی به سطح انسولین مشخص می شود. همه این عوامل اساس مقاومت به انسولین و التهاب مزمن هستند که به تدریج کنترل گلوکز خون را مختل می کند (۱). مقاومت به انسولین، شرایطی را در بر می گیرد که سلول های بدن به انسولین پاسخ مناسبی نمی دهند و اختلال در جذب گلوکز بوجود می آید همچنین سبب بالارفتن میزان قندخون می شود و نقش پاتوفیزیولوژیکی مهمی در ایجاد دیابت دارد (۲). در بسیاری از بیماران دیابتی، جهت حفظ سطح گلوکز، میزان سطح انسولین در گردش افزایش می یابد که این موضوع خود موجب طیف وسیعی از تظاهرات از قبیل هیپرتانسیون، اختلال لیپیدی، دیابت نوع دو و بیماریهای قلبی-عروقی می گردد (۳).

در افراد دیابتی، مشخص شده است که GATA4 بافت قلب، نقش محافظتی در بسیاری از بیماری های قلبی عروقی دارد. به عنوان مثال، بیان بیش از حد GATA4 برای حمایت از پاسخ های انطباقی قلبی و بقا گزارش شده است، در حالی که کاهش GATA4 باعث آپوپتوز کاردیومیوسیت و اختلال عملکرد قلب می شود. علاوه بر این، GATA4 برای محافظت از کاردیومیوسیت ها در برابر مرگ سلولی ناشی از دوکسوروبی سین نشان داده شد (۴). GATA4 یکی از فاکتورهای رونویسی است که سلول های قلب را تشکیل می دهد و توانایی قلب را برای عملکرد صحیح تحت فشار نشان می دهد. فاکتور رونویسی GATA-4 محدود شده توسط سلول قلبی، یک عامل بقا است که می تواند چرخه معیوب نارسایی قلبی پس از MI را از طریق افزایش رگ زایی میوکارد، کاهش آپوپتوز و افزایش تولید سلول های c-kit بشکند (۵).

اخیرا فواید استفاده از فعالیت بدنی جهت درمان غیردارویی و بهبود بیماری های متابولیکی مورد تأیید قرار گرفته است؛ از اینرو از مهم ترین چالش های پیش

رو، شناسایی مکانسیم های اثرات شبه دارویی تمرین در متابولیسم بدن است (۶). مطالعات اخیر نشان داد که فعالیت بدنی در بهبود دیابت نوع ۲ تأثیر بسزایی دارد، خطر مقاومت به انسولین، سندرم متابولیک و دیابت نوع ۲ را کاهش می دهد و ورزش حساسیت به انسولین را بهبود می بخشد (۷). بسیاری از مطالعات نشان می دهند که با مصرف انرژی بیشتر و شدت های تمرینی بالاتر، از جمله تمرینات تناوبی با شدت بالا پاسخ بیشتری در حساسیت به انسولین کل بدن ایجاد می کند. در طول ورزش، با انقباض عضلانی و با افزایش فعالیت AMPK، تحریک حساسیت انسولینی افزایش می یابد که پس از تمرین، افزایش Akt باعث غیرفعال شدن TCB1D4 و در نتیجه باعث افزایش جابجایی انتقال دهنده گلوکز (GLUT4) به غشای سلولی می شود و در نتیجه جذب گلوکز را افزایش می دهد (۸).

تمرین استقامتی در کنترل دیابت مؤثر است اما به علت سبک زندگی های امروزه، کمبود وقت مانع مهمی برای عدم فعالیت ورزشی است. بنابراین تمرینات پر شدت با زمان کمتر (HIIT) یک شیوه کارآمد است که تقریباً همان سازگاری های فیزیولوژیکی را در مدت زمان کمتر سبب می شود (۹). اجرای HIIT علاوه بر بهبود مقاومت به انسولین، متابولیسم چربی و گلوکز عضلانی، منجر به بهبود ظرفیت و عملکرد میتوکندریایی می شود بخشی از این سازگاری های عضله اسکلتی وابسته به فعال سازی PGC-1 $\alpha$  است که نقش محوری در سازگاری های عضلانی و فعال سازی مسیرهای سیگنالی ایفا می کند. به نظر می رسد تمرینات HIIT به عنوان یک عامل فعال کننده قوی برای بیوژنز میتوکندری باشد و این اثر می تواند با تحریک بیان ژن های مختلف رخ دهد (۱۰).

در همین راستا نادری و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی نشان دادند که تمرین ورزشی در شدت های مختلف باعث بهبود عملکرد قلب و سطح نشانگرهای سلول های بنیادی و کاردیومیوسیت و کاهش اندازه انفارکتوس شد. همچنین مشخص شد که سطوح در GATA4، در تمام گروه های تمرینیمیتلا به انفارکتوس میو کارد افزایش معنی داری داشت و گروه تمرین با شدت بالا (HIIT) نسبت به گروه تمرین با شدت کم و متوسط افزایش بیشتری در بیان ژن GATA4 داشت (۱۱). در مطالعه

همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی نشان دادند که مصرف عسل آویشن می‌تواند به کاهش آنزیمهای کبدی و بهبود عملکرد کبد در موشهای صحرایی دیابتی کمک کنند (۱۸). هرچند مصرف عسل به دلیل ارزش درمانی و غذایی آن از قدیم و در متون علمی مورد توجه و تأیید قرار گرفته است ولی استفاده از آن در علوم پزشکی جدید جای بحث و کار دارد (۱۶).

از اینرو با توجه به تاثیرات مثبت شناخته شده فیزیولوژیکی و محافظت از قلب تمرین تناوبی و عسل آویشن و همچنین نقش مثبت آنها در بهبود عملکرد قلبی و احتمال تحریک بیان ژن GATA4 در راستای سازگاری های مثبت فیزیولوژیک قلبی، بخصوص هایپرتروفی کاردیومیوسیت‌ها، ما چنین فرض کردیم که: ۱- تمرین تناوبی شدید می‌تواند در افزایش بیان ژن GATA4 در رت‌های نر دیابتی نوع دو موثر باشد. ۲- عسل آویشن می‌تواند در افزایش بیان ژن GATA4 در رت‌های نر دیابتی نوع دو مفید باشد. ۳- ترکیب مداخلات تمرین تناوبی شدید و عسل آویشن می‌تواند نقش موثرتری در بهبود بیان ژن GATA4 در رت‌های نر دیابتی نوع دو داشته باشند. بنابراین، هدف از تحقیق حاضر بررسی اثرات هشت هفته تمرین تناوبی شدید و عسل آویشن بر بیان ژن GATA4 در رت‌های نر دیابتی نوع دو بود.

### روش کار

در این پژوهش تجربی، بر اساس روش برابرسازی منابع بر اساس راهنمای اخلاقی کار با حیوانات آزمایشگاهی و رعایت بیانیه هلسینگی تعداد ۳۶ رت نر نژاد ویستار جوان که در پایان تعداد ۲۸ سر باقی ماند، به‌عنوان نمونه آماری از پژوهشگاه رویان خریداری و به حیوان خانه آزمایشگاه رازی دانشگاه آزاد علوم و تحقیقات انتقال داده شدند. رت‌ها با دامنه سنی ۳۵ تا ۴۵ روز و میانگین وزنی  $110 \pm 10$  گرم بودند. پس از دو هفته آشنایی با محیط آزمایشگاه رسیدن به وزن میانگین  $197 \pm 20$  تحت رژیم پرچرب (HFD) قرار گرفته‌ند. پس از ۲۰ هفته تغذیه با رژیم پرچرب و دسترسی آزاد به مواد غذایی و آب، به ۴ گروه کنترل

همتی نفر و همکاران (۲۰۱۹) مشخص شد که مداخله تمرین ورزشی باعث بهبود عملکرد ورزشی رت‌های مبتلا به MI می‌شود اما در گروه کنترل سالم این افزایش عملکرد معنادارتر بود. در مقادیر mRNA Gata4 در گروه تمرینی کم شدت نسبت به دو شدت دیگر تمرینی افزایش معناداری داشت ولی مقادیر mRNA Tbx5 در هیچ گروه تمرینی افزایش نیافت فقط در گروه کنترل سالم نسبت به گروه‌های مبتلا به MI افزایش معناداری یافت (۱۲). در مطالعه تبری و همکاران اثر ۱۲ هفته تمرینات تناوبی با شدت بالا (HIIT) و متوسط بر PGC-1 $\alpha$  عضله اسکلتی و مقاومت به انسولین در رت‌های نر دیابتی نوع دو نشان داد هر دو نوع تمرین باعث کاهش معنادار سطوح سرمی گلوکز، شاخص مقاومت به انسولین و افزایش انسولین در گروه‌های تمرینی نسبت به گروه کنترل دیابتی شد در حالی که تفاوت معنیداری بین دو پروتکل تمرینی وجود نداشت (۱۳).

در سال‌های اخیر علاوه بر تأکید بر ورزش و فعالیت بدنی، توجه به مکمل‌های غذایی و برخی گیاهان دارویی نیز برای درمان دیابت مورد توجه قرار گرفته است که از بین آنها علاقه زیادی به استفاده از عسل وجود دارد (۱۴). عسل فراتر از یک منبع کربوهیدرات است. عسل شامل مواد بی‌شماری از قبیل آنتی‌اکسیدان، ضد التهاب و ضد میکروبی از جمله پلی‌فنول‌ها، فلاونوئیدها، آنزیم‌ها، ویتامین‌ها و عناصر کمیاب است (۱۵). با توجه به اینکه از زمان‌های قدیم عسل به عنوان ماده شیرین و ارزش بالای غذایی و درمانی مورد توجه بیماران دیابتی بوده است؛ بنابراین، تأثیر آن بر پارامترهای قندخون، به‌ویژه برای بیماران دیابتی و کسانی که از عدم تحمل گلوکز رنج می‌برند بسیار مهم است (۱۶). عسل آویشن به عنوان یک عسل تک گل در طب سنتی جهت درمان دیابت بکار گرفته شده است و در مطالعات مختلف شاخص گلیسمی آن مورد بررسی قرار گرفته که در پژوهش شیشه بر و همکاران (۲۰۱۳) نمایه قند عسل آویشن ۶۵/۹ به دست آمده که در مقایسه با گلوکز بطور معنی‌داری کمتر است که نشان‌دهنده ارزش بسیار بالای این ماده غذایی می‌باشد (۱۷). عبدی اردکانی و

جدول ۱- ترکیب امولسیون پرچرب جهت گاوآژ به موش‌های صحرایی

ماده	غذای رایج	۴۵٪ HFD	۶۰٪ HFD
کربوهیدرات (%)	۵۰/۰۳	۴۱	۲۶
پروتئین (%)	۲۳	۲۴	۲۴
چربی (%)	۵/۱	۲۴	۳۵
چربی (Kcal%)	-	۴۵	۶۰
کالری (Kcal/g)	۳/۱	۴/۸	۵/۲

از STZ در سرم فیزیولوژیکی استفاده شد (۱۸ و ۲۱). یک هفته پس از تزریق، با ایجاد جراحی کوچک در دم رت‌ها یک قطره خون بر روی نوار گلوکومتری قرار گرفت و گلوکز خون ناشتایی توسط دستگاه گلوکومتر اندازه‌گیری گردید، قند خون بین ۱۵۰ تا ۴۰۰ میلی‌گرم/دسی‌لیتر به‌عنوان معیاری برای اطمینان از ابتلای رت‌ها به دیابت در نظر گرفته شد.

**آماده‌سازی و مصرف عسل آویشن:** به میزان ۳ کیلوگرم گیاه آویشن شیرازی در آب مقطر ریخته شد. این ترکیب ۴۸ ساعت در دستگاه شیکر ماند سپس از طریق غربال، دوبار از صافی رد شد. در نهایت این عصاره فیلتر شده از طریق تبخیر در دمای ۳۵۸ درجه سانتی‌گراد به یک خمیر غلیظ تبدیل شد. عصاره آبی آویشن در آب حل شد و در اختیار کلنی زنبورستانی واقع در طالقان که پوشش عمده آن منطقه نیز گیاه آویشن بود قرار داده شد که عسل آویشن خالص استحصال گردد. سپس عسل آویشن بصورت گاوآژ طبق پروتکل زیر به رت‌ها داده شد (۲۲ و ۲۳). طی دوره آزمایش به رت‌های گروه عسل آویشن و گروه عسل آویشن-تمرین تناوبی، عسل آویشن با دوز ۳ گرم بر کیلوگرم رقیق شده در آب مقطر، به روش گاوآژ خوراندن شد (۲۴ و ۲۵).

**آزمون تمرین دویدن با سرعت حداکثر برای تعیین شدت تمرین (Maximal Exercise Running Test) (MERT):** برای تعیین سرعت حداکثر از پروتکل رودریگز و همکاران (۲۰۰۷) استفاده شد. برای اندازه‌گیری حداکثر اکسیژن مصرفی (VO<sub>2</sub>max) به دلیل عدم دسترسی به ابزار مستقیم (مانند دستگاه آنالیز گازهای تنفسی) و با توجه به پژوهش‌های انجام شده، پروتکل غیرمستقیم با دقت زیاد اجرا شد. به این

دیابتی (۸ سر)، تمرین تناوبی (۱۰ سر)، عسل آویشن (۸ سر)، تمرین تناوبی و عسل آویشن (۱۰ سر) تقسیم شدند که در پایان پروتکل ۲۸ سر در ۴ گروه کنترل دیابتی (۶ سر)، تمرین تناوبی (۸ سر)، عسل آویشن (۶ سر)، تمرین تناوبی و عسل آویشن (۸ سر) باقی ماندند.

**شیوه نگهداری موش‌های صحرایی:** برای نگهداری موش‌های صحرایی از قفس‌های جنس پلی‌کربنات شفاف با قابلیت اتوکلاو استفاده شد. دمای مطلوب محل نگهداری حیوانات ۲۰ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی حدود ۵۵ تا ۶۵ در صد بود. چرخه روشنایی نیز هر ۱۲ ساعت یک بار به طور دقیق توسط تنظیم‌کننده الکترونیکی نور سالن نگهداری حیوانات آزمایشگاهی رعایت شد. جهت تغذیه رت‌ها از رژیم پرچرب استاندارد استفاده شد (۱۹). دسترسی آن‌ها به غذا به‌صورت نامحدود بود و آب در بطری‌های ۵۰۰ میلی‌لیتری در تمامی قفس‌ها وجود داشت.

**روش چاق کردن رت‌ها با رژیم پرچرب:** بدین منظور، پس از آشنا سازی و سازگاری با محیط جدید، تمامی رت‌ها به مدت ۲۰ هفته تحت رژیم غذایی پرچرب تهیه شده توسط پژوهشکده زیست فناوری رویان قرار گرفتند که شامل ۴۵ درصد انرژی کل از چربی مشتق شده از روغن حیوانی (حاوی ۲۴ گرم چربی، ۲۴ گرم پروتئین و ۴۱ گرم کربوهیدرات در هر ۱۰۰ گرم می‌باشد). رژیم پرچرب ۴۵ درصد به مدت ۳ ماه و رژیم پرچرب ۶۰ درصد به مدت ۲ ماه داده شد (۲۰).

**روش دیابتی کردن رت‌ها از طریق تزریق استرپتوزتوسین (STZ):** برای القای دیابت از رژیم غذایی پرچرب به مدت ۲۰ هفته و سپس تزریق داخل صفاقی (۲۵ میلی‌گرم/کیلوگرم) محلول تازه تهیه شده

جدول ۲- پروتکل تمرین تناوبی

هفته	شدت گرم کردن ۵ دقیقه	تعداد تناوب شدید	زمان تناوب شدید (دقیقه)	سرعت تناوب شدید (سرعت بیشینه)	زمان تناوب استراحت	شدت تناوب استراحت	شدت سرگردن ۵ دقیقه	زمان کل (دقیقه)
۱ و ۲	۱۰ متر در دقیقه	۲	۲	۸۰٪ (۳۰ متر در دقیقه)	۱	۵۰٪ (۱۶ متر در دقیقه)	۱۰ متر در دقیقه	۱۶
۳ و ۴	۱۰ متر در دقیقه	۴	۲	۸۵٪ (۳۲ متر در دقیقه)	۱	۵۲٪ (۱۸ متر در دقیقه)	۱۰ متر در دقیقه	۲۲
۵ و ۶	۱۰ متر در دقیقه	۶	۲	۹۰٪ (۳۴ متر در دقیقه)	۱	۵۴٪ (۲۰ متر در دقیقه)	۱۰ متر در دقیقه	۲۸
۷ و ۸	۱۰ متر در دقیقه	۸	۲	۹۵٪ (۳۶ متر در دقیقه)	۱	۵۶٪ (۲۲ متر در دقیقه)	۱۰ متر در دقیقه	۳۴

از ۱۲ ساعت ناشتایی رت‌ها توسط ترکیب داروی زایلازین (۱۰ mg/kg) و کتامین (۷۵ mg/kg) مح‌صول شرکت آلفاسان هلند به‌صورت تزریق درون صفاقی بی‌هوش و قر‌بانی شدند. نمونه‌های خون از طریق خون‌گیری از قلب جمع‌آوری شد و در دمای ۲۰- نگهداری شد. مقادیر گلوکز خون با استفاده از کیت ویژه گلوکز ساخت شرکت پارس‌آزمون ایران با حساسیت ۵ میلی‌گرم در دسی‌لیتر، با استفاده از دستگاه اتو آنالایزر سنجیده شد (۲۷).

#### روش بیان ژن GATA4 بافت قلب از طریق R-T

**PCR:** بافت قلب به‌منظور اندازه‌گیری بیان ژن جدا و همراه یخ به فریزر منفی ۸۰ منتقل شد. در مرحله بعد RNA با استفاده از محلول Total RNA RiboEX (GeneAll) isolation solution استخراج شد و در نهایت بررسی کمی و کیفی RNA با استفاده از دستگاه نانودارپ سنجیده شد. پس از اطمینان از خلوص و کیفیت RNA استخراج شده، cdNA با استفاده از کیت TAKARA ساخته شد و به فریزر منفی ۲۰ انتقال داده شد. برای انجام Realtime PCR از مستر میکس سایبرگرین AMPLIQON استفاده شد. در پژوهش حاضر از ژن مرجع GAPDH به عنوان ژن خانه‌دار استفاده شد و همچنین برای آنالیز کمی داده‌های Real Time PCR، از روش دلتا دلتا سی تی استفاده شد (۲۸). سپس برای بررسی بیان ژن GATA4 بافت قلب، پرایمرهای مورد استفاده در این پژوهش توسط نرم‌افزار Allel ID6 طراحی شد و توسط شرکت

ترتیب که هر دو هفته یک‌بار رت‌ها در یک وهله تمرینی پس از پنج دقیقه گرم‌کردن با سرعت ۱۰ متر در دقیقه سپس با سرعت ۱۵ متر در دقیقه به مدت دو دقیقه شروع به دویدن کردند و هر سه دقیقه سه متر در دقیقه به‌سرعت افزوده شد تا اینکه هر کدام از رت‌ها که نتوانستند ادامه دهند و روی شوکر باقی ماندند و به واماندگی رسیدند، آن سرعت به‌عنوان سرعت حداکثر آنان در نظر گرفته شد و سرعت حداکثر برای شدت تمرین بین ۸۰ تا ۹۵ در صد MERT در نظر گرفته شد که حداکثر اکسیژن مصرفی از این روش به دست آمد. (۲۶).

#### پروتکل تمرین تناوبی: برنامه هشت هفته تمرین

تناوبی، پنج جلسه در هفته با افزایش تدریجی تناوب شدید از سرعت ۳۰ الی ۳۶ متر بر دقیقه (۸۰ تا ۹۵ درصد  $VO_2max$ ) و تناوب استراحت با سرعت ۱۶ تا ۲۲ متر در دقیقه (۵۰ تا ۵۶ درصد  $VO_2max$ ) زمان ۱۶ الی ۳۴ دقیقه به‌صورت دویدن روی تردمیل انجام شد، به طوری که زمان دویدن از ۱۶ دقیقه در هفته اول، به ۳۴ دقیقه در هفته هشتم افزایش یافت. رت‌ها یک هفته قبل از شروع پروتکل به‌منظور آشنایی با تردمیل سه روز در هفته با سرعت پنج متر در دقیقه با شیب صفر درصد با زمان ۱۰ و ۱۲ و ۱۵ دقیقه روی تردمیل راه رفتند. گروه کنترل نیز در طول اجرای پروتکل آشنایی به همین ترتیب روی تردمیل راه رفتند (۲۶).

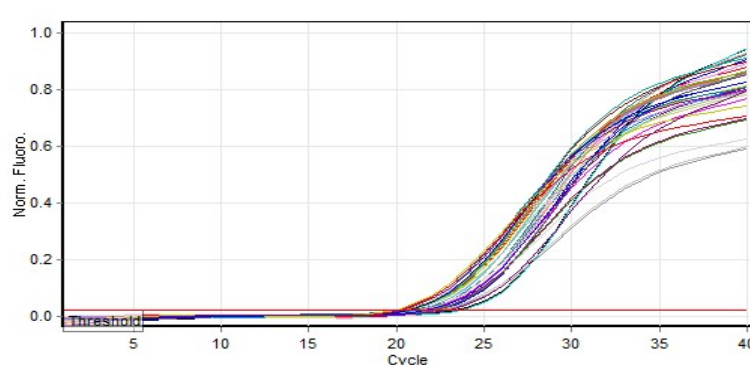
**نمونه‌گیری:** با خاتمه دوره تمرینی و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین گروه‌های تجربی تمرینی و پس

**جدول ۳- توالی پرایمرهای ژن‌های هدف و مرجع**

نام ژن	توالی پرایمر مستقیم 5'-3'	توالی پرایمر معکوس 3'-5'	اندازه ژن (bp)
GATA4	AGACTACCACCACCACACTG	TCAGATTCTTGGGCTTCCGT	۱۵۳
GAPDH	ATCACTGCCACTCAGAAGAC	ACATTGGGGGTAGGAACAC	۱۲۵

**جدول ۴- برنامه دمایی و زمانی R-T PCR ژن GATA4**

مرحله	دما	مدت چرخه	تعداد تکرار
Hold	۹۵°C	۱۰ دقیقه	۱
Denaturation annealing, and extension melting curve	۹۵°C	۳۰ ثانیه	۴۰
	۵۹°C	۳۰ ثانیه	
	۷۲°C	۳۰ ثانیه	



**شکل ۱- سیکل دمایی CT ژن GATA4**

تجزیه و تحلیل شدند.

### یافته‌ها

نتایج مربوط به میانگین و انحراف معیار متغیرهای تحقیق (شاخص مقاومت به انسولین و GATA4) در جدول شماره ۵ آورده شده است. مطابق با نتایج جدول ۵ نمرات گروه تمرین تناوبی شدید (HIIT) در شاخص مقاومت به انسولین نسبت به دیگر گروه‌ها پایین‌تر است. همچنین نمرات متغیر GATA4 در گروه تمرین تناوبی (HIIT) و گروه غسل آویشن نسبت به دیگر گروه‌ها بالاتر می‌باشد. جهت مقایسه بین گروه‌ها در متغیرهای تحقیق (شاخص مقاومت به انسولین و GATA4) از آزمون تحلیل واریانس یک راهه (آنووا) استفاده شد که نتایج آن در جدول شماره ۶ آورده شده است. نتایج جدول شماره ۶ نشان داد که در متغیر شاخص

بیوتکنولوژی سیناکلون سنتز گردید. توالی پرایمرهای مورد استفاده در جدول ۳ آورده شده است. گرادینت دمایی گذاشته شد، دمای ۶۰ درجه مناسب‌ترین دما بوده است. در شکل ۱ سیکل ژن GATA4 نشان داده شده است. همه‌ی نمونه‌ها به صورت ۲ مرتبه تکرار در دستگاه ریل تایم پی سی آر گذاشته شد. همچنین بر نام‌د مایی و زمانی واکنش Real Time PCR در پژوهش حاضر مطابق جدول ۴ است.

**روش تجزیه و تحلیل داده‌ها:** برای توصیف داده‌ها از آمار توصیفی (میانگین و انحراف استاندارد) استفاده شد. آزمون شاپیرو ویلک جهت تعیین طبیعی بودن توزیع داده‌ها و آزمون لوین برای تجانس واریانس‌ها و از آمار استنباطی تحلیل واریانس یک راهه (آنووا) و آزمون تعقیبی توکی جهت مقایسه تفاوت بین گروه‌ها استفاده گردید. سطح معناداری در آزمون‌ها  $p < 0.05$  در نظر گرفته شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS22



**جدول ۵- نتایج آمار توصیفی مربوط به شاخص مقاومت به انسولین و GATA4**

GATA4		شاخص مقاومت به انسولین		تعداد نهایی	گروه
انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین		
۱	۱	۰/۳۳	۳/۱۸	۶	کنترل دیابتی
۰/۶۶	۱/۸۸	۰/۳۵	۲/۰۴	۸	HIIT
۱/۳۷	۱/۸۹	۰/۷۱	۳/۸۱	۶	غسل آویشن
۰/۴۹	۰/۹۹	۰/۵۰	۳/۴۱	۸	HIIT + غسل آویشن

**جدول ۶- نتایج آزمون تحلیل واریانس یک راهه (آنووا) بر شاخص مقاومت انسولین و بیان ژن GATA4**

شاخص	منبع	مجموع مجزورات	df	میانگین مجزورات	F	سطح معناداری
شاخص	بین گروهی	۱۲/۶۲	۳	۴/۲۰	۱۷/۶۲	۰/۰۰۱
مقاومت به	درون گروهی	۵/۷۲	۲۴	۰/۲۳		
انسولین	کل	۱۸/۳۵	۲۷			
بیان ژن	بین گروهی	۵/۵۶	۳	۱/۸۵	۳/۰۹	۰/۰۱۶
GATA4	درون گروهی	۱۴/۳۶	۲۴	۰/۵۹		
	کل	۱۹/۹۲	۲۷			

**جدول ۷- نتایج آزمون تعقیبی توکی جهت مقایسه شاخص مقاومت به انسولین و بیان ژن GATA4 در رت‌ها**

متغیر/شاخص آماری	گروه	تفاوت میانگین‌ها	سطح معنی‌داری
شاخص مقاومت به انسولین	کنترل	تمرین	۰/۰۰۱*
		غسل	۰/۱۴۳
		تمرین*غسل	۰/۸۱۹
	تمرین	غسل	۰/۰۰۱*
بیان ژن GATA4		تمرین*غسل	۰/۰۰۱*
	غسل	تمرین*غسل	۰/۴۴۴
	کنترل	تمرین	۰/۰۱۵*
		غسل	۰/۰۱۶*
	تمرین	تمرین*غسل	۰/۹۹۰
		غسل	۰/۹۷۷
		تمرین*غسل	۰/۰۱۳*
	غسل	تمرین*غسل	۰/۰۱۱*

مقاومت به انسولین ( $P=0/001$ ) و همچنین بیان ژن GATA4 ( $P=0/016$ ) بین گروه‌ها تفاوت معنادار وجود دارد ( $P<0/05$ ). در ادامه جهت مشخص نمودن جایگاه تفاوت بین گروه‌ها از آزمون تعقیبی توکی (جهت کنترل خطای نوع یک) استفاده شد که نتایج آن در جدول شماره ۷ آورده شده است.

مطابق با نتایج جدول ۷ مشخص شد که در شاخص مقاومت به انسولین، بین گروه تمرین تناوبی (HIIT) با گروه کنترل ( $P=0/001$ )، بین گروه تمرین با غسل ( $P=0/001$ ) و همچنین بین گروه تمرین با تمرین\*غسل ( $P=0/001$ )، تفاوت معنادار وجود دارد ( $P<0/05$ ). ولی بین گروه کنترل با تمرین\*غسل ( $P=0/013$ )، و

مقاومت به انسولین ( $P=0/001$ ) و همچنین بیان ژن GATA4 ( $P=0/016$ ) بین گروه‌ها تفاوت معنادار وجود دارد ( $P<0/05$ ). در ادامه جهت مشخص نمودن جایگاه تفاوت بین گروه‌ها از آزمون تعقیبی توکی (جهت کنترل خطای نوع یک) استفاده شد که نتایج آن در جدول شماره ۷ آورده شده است.

مطابق با نتایج جدول ۷ مشخص شد که در شاخص مقاومت به انسولین، بین گروه تمرین تناوبی (HIIT) با گروه کنترل ( $P=0/001$ )، بین گروه تمرین با غسل ( $P=0/001$ ) و همچنین بین گروه تمرین با تمرین\*غسل ( $P=0/001$ )، تفاوت معنادار وجود دارد ( $P<0/05$ ). ولی بین گروه کنترل با تمرین\*غسل ( $P=0/013$ )، و

همچنین تمرین با غسل ( $P=0/997$ )، تفاوت معنادار وجود ندارد ( $p>0/05$ ).

## بحث

هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر تمرین تناوبی شدید و غسل آویشن بر شاخص مقاومت به انسولین و بیان ژن GATA4 در بافت قلب رت‌های دیابتی نوع ۲ بود. نتایج مطالعات حاضر نشان داد که HIIT بر شاخص مقاومت به انسولین گروه‌های مورد مطالعه معنادار است ولی مصرف آویشن به تنهایی و نیز انجام HIIT به همراه مصرف غسل آویشن بر شاخص مقاومت انسولین گروه‌های مورد مطالعه معنادار نیست. این نتایج با مطالعه نووا و همکاران (۲۰۱۷)، فرازندی و رضاییان (۱۳۹۹)، جلستاد و همکاران (۲۰۲۱) همسو بود. نووا و همکاران (۲۰۱۷) بررسی کردند که آیا HIIT می‌تواند سازگاری‌های بدن ناشی از دیابت را معکوس کند؟ نتایج تحقیق آنها نشان دادند که در رت‌های دیابتی، وزن گروه دیابتی بی‌تحرک و دیابتی تمرین کرده کمی کاهش یافت. همچنین در گروه دیابتی ورزش کرده در مقایسه با دیابتی بی‌تحرک گلوکز پلاسما کاهش یافت (۲۹). در مطالعه فرازندی و رضاییان (۱۳۹۹) مشخص شد که ۸ هفته تمرین تناوبی شدید باعث کاهش معنادار سطوح سرمی پروگرانولین، وزن، شاخص توده بدن، درصد چربی، و نیز کاهش غیرمعنادار گلوکز خون، انسولین و شاخص مقاومت به انسولین در زنان تمرین نکرده چاق شده است (۳۰). جلستاد نشان داد که دوچرخه سواری با شدت ۸۳ درصد ضربان قلب بیشینه، ۳ جلسه در هفته به مدت ۶۰ دقیقه بر مردان ۴۴-۴۶ سال با BMI بالا، باعث بهبود هموستاز گلوکز شد و گلوکز خون ناشتا کاهش یافت (۳۱).

در چند دهه اخیر در کنار تغذیه و دارو، فعالیت ورزشی نیز به عنوان یک راهکار مناسب جهت کنترل دیابت و کاهش مقاومت به انسولین مورد توجه قرار گرفته است. شاخص مقاومت به انسولین به کاهش در عملکرد مطلوب سلول عضلانی برای جذب گلوکز در پاسخ به انسولین تعریف می‌شود و بطور بالقوه ممکن است به واسطه تغییر در عملکرد چندین واسطه

پپتیدی ترشح شده از آدیپوسیتها از قبیل آدیپونکتین و عامل نکروزدهنده تومورآلفا میانجی‌گری شود (۳۲). بطور کلی می‌توان گفت که تجمع چربی اضافی از طریق آسید یا مرگ سلول‌های بتای پانکراس در اثر تجمع اسیدهای چرب آزاد و نیز دگرگون شدن سیگنالینگ از سلولین با سایتوکاین‌های ترشح شده از بافت چربی موجب مقاومت به انسولین می‌شود، اما تمرینات ورزشی از قبیل HIIT با کاهش تجمع چربی، احتمالاً ضمن کاهش تجمع اسیدهای چرب و تغییر در میزان برخی از آدیپوکاینها، از مقاومت به انسولین پیشگیری کرده و موجب بهبود شاخص حساسیت به انسولین می‌شود (۳۳).

در راستای نتایج این قسمت از تحقیق سو و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که تمرینات ورزشی و انجام فعالیت بدنی می‌تواند موجب کاهش معنادار شاخص مقاومت به انسولین گردد (۳۴). همچنین عظیمی دخت و همکاران (۲۰۱۵) نیز در تحقیقی نشان دادند که هشت هفته تمرین تناوبی بر نیمرخ چربی و مقاومت به انسولین در مردان دیابتی نوع ۲ تأثیر مثبت دارد (۳۵).

دیگر نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تمرین تناوبی بر بیان ژن GATA4 بافت قلبی گروه‌های مورد مطالعه معنادار و بیان این ژن را بطور معناداری افزایش می‌دهد. این نتایج با یافته‌های همتی نفر و همکاران (۲۰۱۹)، زو و همکاران (۲۰۱۸)، نادری و همکاران (۲۰۱۹) ژائو و همکاران (۲۰۱۴) همخوان می‌باشد. همتی نفر و همکاران (۱۲) در طی تحقیقی که بر روی رت‌های نر مبتلا به آنفراکتوس میوکاردا انجام دادند بدین نتیجه رسیدند که ۳۰ جلسه مداخله تمرین ورزشی می‌تواند موجب افزایش مقادیر GATA4 گردد که این نتایج در راستای نتایج تحقیق حاضر می‌باشد. ژو و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی نشان دادند که GATA4، اختلال عملکرد اندوتلیال ناشی از هیپرگلیسمی را در مدل موش دیابت مهار کرد. همچنین مشخص شد که بیان بیش از حد GATA4 منجر به افزایش بیان mRNA و پروتئین NOX4 می‌شود. علاوه بر این، بیان بیش از حد GATA4 منجر به افزایش تولید اکسید نیتریک (NO) از طریق افزایش در فسفوریلاسیون NO سنتاز

باشد؛ به نحوی که در مطالعه حاضر از رت‌های مبتلا به دیابت نوع ۲ استفاده شد در حالی که آزمودنی‌های مطالعه واریتگ رت‌های سالم بودند (۳۹). در توجیه این ناهم‌خوانی باید به این مطلب اشاره کرد که اعتقاد بر این است که تمرین ورزشی از نوع HIIT در رت‌های مبتلا به دیابت نوع ۲ احتمالاً می‌تواند موجب تحریک بهتر مسیر پیام‌رسانی نوزایی قلبی از قبیل ژن Gata4 گردد. از طرفی دیگر در تحقیق حاضر از تمرین HIIT استفاده شد در حالی که در تحقیق واریتگ از تمرینات تداومی استفاده شده بود که این موضوع نیز می‌تواند دلیلی بر ناهم‌خوانی نتایج تحقیق حاضر با تحقیق واریتگ باشد.

دیگر نتایج تحقیق ما نشان داد که مصرف عسل نیز می‌تواند باعث افزایش بیان ژن GATA4 شود. عبدی اردکانی و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی همخوان نشان دادند که مصرف عسل به تنهایی می‌تواند بر روی آنزیم‌های کبدی ALT و AST در موش‌های صحرایی دیابتی نوع ۲ تأثیر مثبت داشته باشد (۱۸). سال‌هاست که مردم معتقد بودند که بیماران دیابتی نمی‌توانند عسل مصرف کنند به دلیل اینکه عسل قند بالایی دارد. در خصوص عسل بایستی اشاره کرد که بر اساس استاندارد حد قابل قبول برای نسبت فروکتوز به گلوکز عسل کمینه ۰/۹ می‌باشد (۴۰). با توجه به این که شاخص گلیسمی فروکتوز بسیار پایین است. هر چه این نسبت بیشتر باشد نمایه‌ی قند خون عسل کمتر خواهد بود. زیرا فروکتوز از راه انتشار تسهیل شده در روده جذب می‌شود و باید قبل از ورود به جریان خون، در کبد به گلوکز تبدیل شود. بنابراین انتظار می‌رود هر چه نسبت فروکتوز به گلوکز عسل بیشتر باشد، نمایه‌ی قند خون آن کمتر است. این یافته‌ها نشان می‌دهد عسل در مقایسه با گلوکز تغییرات کمتری در قند خون ایجاد می‌کند و می‌تواند از اثرات نامطلوب افزایش قند خون پس از غذا پیش‌گیری کند (۴۱) و از این رو این توانایی را دارد که موجب افزایش بیان ژن GATA4 گردد.

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر

اندوتلیال شد (۳۶). ژبائو و همکاران نیز در طی تحقیقی نشان دادند که تمرین ورزشی ۲۱ روزه بر روی موش‌های می‌تواند موجب افزایش GATA4 گردد (۳۷). همچنین نادری و همکاران در تحقیقی نشان دادند که تمرین ورزشی در شدت‌های مختلف باعث بهبود عملکرد قلب و سطح نشانگرهای سلول‌های بنیادی و کاردیومیوسیت و کاهش اندازه انفارکتوس شد. همچنین مشخص شد که سطوح GATA4، در تمام گروه‌های تمرینی مبتلا به انفارکتوس میوکارد افزایش معنی‌داری داشت و گروه تمرین با شدت بالا (HIIT) نسبت به گروه تمرین با شدت کم و متوسط افزایش بیشتری در بیان ژن GATA4 داشت (۱۱) که این نتایج همخوان با نتایج تحقیق حاضر می‌باشد.

GATA4 بیشتر به عنوان ژن مارکر خاص قلب عمل می‌کند و به عنوان فاکتور رونویسی برای عملکرد مناسب سلول حیاتی می‌باشد. این پروتئین بخشی از یک شبکه از فاکتورهای رونویسی می‌باشد که برای عملکرد سلول‌های قلبی با فاکتورهای دیگر تعامل نزدیکی دارد (۱۹). در توجیه این نتایج می‌توان گفت که تمرین ورزشی به قلب بار بیشتری وارد می‌کند که این موضوع باعث رگ‌زایی و هیپرتروفی قلب می‌شود و GATA4 این فرآیند فیزیولوژیکی را تحریک می‌کند. با این حال، بیان بیش از حد GATA4 با هیپرتروفی غیر جبران شده قلبی همراه است، که در نارسایی قلبی ناشی از فعالیت بیش از حد نرواندوکراین رخ می‌دهد (۳۸). از طرفی پس از تولد، GATA4 در قلب برای بقای قلب پس از آسیب یا استرس ضروری است و نیز اثرات محافظتی قلب با استفاده از تمرینات ورزشی به صورت کاهش بازسازی پاتولوژیک، تنظیم مثبت نیتریک اکسید سنتز (iNOS) اندوتلیال، کاهش سطح گونه‌های فعال اکسیژن و بهبود کارایی انرژی مکانیکی ثبت شده است (۳۸). همانگونه که در تحقیق حاضر نیز اثرات مثبت تمرینات HIIT در بهبود بیان ژن GATA4 مشخص گردید.

از طرفی نتایج این قسمت از تحقیق در مطالعه ما، با یافته‌های تحقیق واریتگ (۲۰۱۲) ناهم‌خوان می‌باشد. شاید یکی از دلایل این ناهم‌خوانی در نوع آزمودنی‌ها

6. Timmons JA, Baar K, Davidsen PK, Atherton PJ. Is irisin a human exercise gene? *Nature*. 2012 Aug;488(7413):E9-10.

7. Jeon CY, Lokken RP, Hu FB, Van Dam RM. Physical activity of moderate intensity and risk of type 2 diabetes: a systematic review. *Diabetes Care*. 2007 Mar 1;30(3):744-52.

8. Bird SR, Hawley JA. Update on the effects of physical activity on insulin sensitivity in humans. *BMJ Open*. 2017;2(1):e000143.

9. 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 Obes Metab*. 2018 May;20(5):1131-9.

10. Tabari E, Mohebbi H, Karimi P, Moghaddami K, Khalafi M. The effects of interval training intensity on skeletal muscle pgc-1 $\alpha$  in type2 diabetic male rats. *Iran J Diabetes Metab*. 2019;18(4):179-88

11. Naderi N, Hemmatinafar M, Gaeini AA, Bahramian A, Ghardashi-Afousi A, Kordi MR, Darbandi-Azar A, Karimzade F, Mohebbi H, Barati M. High-intensity interval training increase GATA4, CITED4 and c-Kit and decreases C/EBP $\beta$  in rats after myocardial infarction. *Life Sci*. 2019 Mar 15;221:319-26.

12. Hemati Nafar M, Gaeini A, Choobineh S, Karimzade F. The Effect of Exercise Training Intensity on Cardiac Regeneration Capacity in Rats with Myocardial Infarction. *J Sport Biosci*. 2019;11(1):17-34.

13. Tabari E, Mohebbi H, Karimi P, Moghaddami K, Khalafi M. The effects of interval training intensity on skeletal muscle pgc-1 $\alpha$  in type2 diabetic male rats. *IJDLD*. 2019;18(4):179-188. (Persian)

14. Erejuwa OO. Effect of honey in diabetes mellitus: matters arising. *J Diabetes Metab Disord*. 2014 Dec;13(1):1-4.

15. El-Soud NHA, Helmy N. Honey between traditional uses and recent medicine. *Macedonian J Med Sci*. 2012;5(2):205-14.

16. Meo SA, Ansari MJ, Sattar K, Chaudhary HU, Hajjar W, Alasiri S. Honey and diabetes mellitus: obstacles and challenges—road to be repaired. *Saudi J Biol Sci*. 2017 Jul 1;24(5):1030-3.

17. Shishehbor F, Tehrani M, TAHA JM, Latifi M. Comparison of glycemic indices of two varieties of Iranian honey with different fructose to glucose ratios. *Iran J Endocrinol Metab*. 2013;14(5):479-83.

18. Abdi Ardekani M, Banaeifar A, Arshadi S, Abed Natanzi H. Effect of High-Intensity Interval Training and Thyme honey on liver enzymes of type II diabetic rats. *J Diabetes Nurs*. 2020 Aug 10;8(3):1160-74.

می‌توان نتیجه‌گیری کرد که انجام هشت هفته تمرین تناوبی شدید (HIIT) می‌تواند بر شاخص مقاومت به انسولین تأثیر مثبت داشته باشد و همچنین تمرین تناوبی شدید (HIIT) و مصرف عسل آویشن نیز می‌تواند بر روی بیان ژن GATA4 در دیابت نوع ۲ تأثیر مثبت داشته باشد. از این رو به نظر می‌رسد که احتمالاً می‌توان از تمرین تناوبی و مصرف عسل آویشن در بیماری دیابت نوع دو بهره گرفت. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر تعدادی از موش‌ها در طی فرایند تحقیق از بین رفتند پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی از تعداد نمونه‌های بیشتری استفاده شود. و نیز شدت های متفاوت از تمرینات اینتروال و مقادیر مختلف عسل در بیماران مختلف قلبی، جهت بررسی تأثیر آنها بر بهبود عملکرد قلب استفاده گردد.

### تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از رساله دکتری بود و با کد اخلاق *IR.SSRC.REC.1399.080* در کمیته اخلاق پزشکی پژوهشگاه تربیت بدنی تایید شد لذا از تمام همکاران پژوهشی و پرسنل آزمایشگاهی تقدیر و تشکر می‌شود.

### References

1. Pasupuleti VR, Arigela CS, Gan SH, Salam SKN, Krishnan KT, Rahman NA, et al. A review on oxidative stress, diabetic complications, and the roles of honey polyphenols. *Oxid Med Cell Long*. 2020;2020.
2. Singh B, Saxena A. Surrogate markers of insulin resistance: A review. *World J Diabetes*. 2010 May 15;1(2):36.
3. Bonakdaran S, Barazandeh Ahmadabadi F. Assessment of insulin resistance in idiopathic hirsutism in comparison with polycystic ovary syndrome (PCOS) patients and healthy individuals. *Med J Mashhad Univ Med Sci*. 2014;56(6):340-346.
4. Kobayashi S, Lackey T, Huang Y, Bisping E, Pu WT, Boxer LM, et al. Transcription factor gata4 regulates cardiac BCL2 gene expression in vitro and in vivo. *FASEB J*. 2006;20(6):800-2.
5. Zhou P, He A, Pu WT. Regulation of GATA4 transcriptional activity in cardiovascular development and disease. *Curr Topics Dev Biol*. 2012 Jan 1;100:143-69.

19. Carrasco M, Delgado I, Soria B, Martín F, Rojas A. GATA4 and GATA6 control mouse pancreas organogenesis. *J Clin Invest*. 2012;122(10):3504-15.
20. Kobayashi S, Lackey T, Huang Y, Bisping E, Pu WT, Boxer LM, et al. Transcription factor gata4 regulates cardiac BCL2 gene expression in vitro and in vivo. *FASEB J*. 2006;20(6):800-2.
21. Srinivasan K, Viswanad B, Asrat L, Kaul CL, Ramarao P. Combination of highfat diet-fed and low-dose streptozotocintreated rat: a model for type 2 diabetes and pharmacological screening. *Pharmacol Res*. 2005; 52(4): 313-20.
22. Yaghmaie P, Heydarian E, Poorbahman N. The regenerative effects of Thymus vulgaris extract on beta cells of pancreas of streptozotocin induced diabetic Wistar rats. *Med Sci J*. 2011;21(3):162-7.
23. Mehran M, Hoseini H, Hatami A, Taghizade M. Investigation of components of seven Species of Thyme Essential oils and comparison of their antioxidant properties. *J Med Plants*. 2016;15(58):134-40.
24. Erejuwa OO, Sulaiman SA, Wahab MSA, Sirajudeen KN, Salleh MSM, Gurtu S. Differential responses to blood pressure and oxidative stress in streptozotocin-induced diabetic wistar-kyoto rats and spontaneously hypertensive rats: effects of antioxidant (Honey) treatment. *Int J Mol Sci*. 2011;12(3):1888-907.
25. Eimen-Shahidi M, Hosseinzadeh H. Animal models of diabetes. *Iran J Diabetes Lipid Disord*. 2003;2(1):1-10.
26. Rezaei R, Norshahi M, Bigdeli M, Khodagoli F, Haghparast A. Effect of eight weeks of continuous and interval intense aerobic exercise on VEGFR-2 and VEGF-A values in the brain tissue of wistar rats. *J Exerc Physiol Physic Act*. 2015;8(2 ):1213-21.
27. Yeylaghi Ashrafi MR, Abednatanzi H, Ghazalian F. The effect of eight weeks of high intensity interval training and n-chromosomal royal jelly on G6Pase gene expression in hepatocytes, glucose levels and insulin resistance in type 2 diabetic rats. *Razi J Med Sci*. 2020;27(4):0-0.
28. Peinnequin A, Mouret C, Birot O, Alonso A, Mathieu J, Clarençon D, et al. Rat pro-inflammatory cytokine and cytokine related mRNA quantification by real-time polymerase chain reaction using SYBR green. *BMC Immunol*. 2004;5(1):1-10.
29. Novoa U, Arauna D, Moran M, Nuñez M, Zagmutt S, Saldivia S, Valdes C, Villaseñor J, Zambrano CG, Gonzalez DR. High-intensity exercise reduces cardiac fibrosis and hypertrophy but does not restore the nitroso-redox imbalance in diabetic cardiomyopathy. *Oxid Med Cell Long*. 2017 Jun 18;2017.
30. Farazmandi A, Rezaeian N. Effect of High Intensity Interval Training on Serum Levels of Progranulin and Insulin Resistance Index in Young Sedentary Overweight and Obese Women. *J Appl Exerc Physiol*. 2020;16(31):167-79.
31. Jelstad S, Ditta Valsdottir T, Johansen EI, Jensen Jr. Eight sessions of endurance training decrease fasting glucose and improve glucose tolerance in middle-aged overweight males. *Arch Physiol Biochem*. 2021;127(1):12-9.
32. Souri R, Khosravi N. A comparison of moderate intensity continuous training and high intensity interval training on serum levels of resistin and insulin resistance in type-2 diabetic obese women. *J Sport Biosci*. 2016 Oct 22;8(3):365-80.
33. Kim ES, Im JA, Kim KC, Park JH, Suh SH, Kang ES, Kim SH, Jekal Y, Lee CW, Yoon YJ, Lee HC. Improved insulin sensitivity and adiponectin level after exercise training in obese Korean youth. *Obesity*. 2007 Dec;15(12):3023-30.
34. Suh S, Jeong I, Kim M, Kim Y, Shin S, Kim S, et al. Effects of Resistance Training and Aerobic Exercise on Insulin Sensitivity in Overweight Korean Adolescents: A Controlled Randomized Trial. *Diabetes Metab J*. 2011;35(4):418-426.
35. Azimidokht S, Mogharnasi M, Kargar shouroki M, Zarezade mehrizi A. The effect of 8 weeks interval training on insulin resistance and lipid profiles in type 2 diabetic men treated with metformin. *J Sport Biosci*. 2015;7(3):461-476.
36. Xu H, Wang Z, Sun Z, Ni Y, Zheng L. GATA4 protects against hyperglycemia-induced endothelial dysfunction by regulating NOX4 transcription. *Mol Med Rep*. 2018;17(1):1485-92.
37. Xiao J, Xu T, Li J, Lv D, Chen P, Zhou Q, et al. Exercise-induced physiological hypertrophy initiates activation of cardiac progenitor cells. *Int J Clin Experim Pathol*. 2014;7(2):663.
38. Gomes-Santos IL, Jordão CP, Passos CS, Brum PC, Oliveira EM, Chammas R, et al. Exercise Training Preserves Myocardial Strain and Improves Exercise Tolerance in Doxorubicin-Induced Cardiotoxicity. *Front Cardiovasc Med*. 2021;8(200).
39. Waring CD, Vicinanza C, Papalamprou A, Smith AJ, Purushothaman S, Goldspink DF, et al. The adult heart responds to increased workload with physiologic hypertrophy, cardiac stem cell activation, and new myocyte formation. *Eur Heart J*. 2012;35(39):2722-31.
40. Atkinson FS, Foster-Powell K, Brand-Miller JC. International tables of glycemic index and glycemic load values: 2008. *Diabetes Care*. 2008;31(12):2281-3.
41. Galarregui C, Zulet MÁ, Cantero I, Marín-Alejandro BA, Monreal JI, Elorz M, et al. Interplay of glycemic index, glycemic load, and dietary antioxidant capacity with insulin resistance in subjects with a cardiometabolic risk profile. *Int J Mol Sci*. 2018;19(11):3662.