

Research Paper

The Effect of Adjusting Iron Stores on Glycemic Control in Adaptation to Body Pump Training



Ajet Soleymani khezerabad<sup>1</sup>, \*Sedigheh Hosseinpour Delavar<sup>1</sup>, Homeira Rashidi<sup>2</sup>, Mehran Ghahramani<sup>1</sup>

1. Department of Physical Educatio, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.

2. Diabetes Research Center, Health Research Institute, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.



**Citation** Soleymani khezerabad A, Hosseinpour Delavar S, Rashidi H, Ghahramani M. [The Effect of Adjusting Iron Stores on Glycemic Control in Adaptation to Body Pump (Persian)]. *Jundishapur Scientific Medical Journal*. 2022; 21(3):422-435. <https://doi.org/10.32598/JSMJ.21.3.2819>

**doi** <https://doi.org/10.32598/JSMJ.21.3.2819>



**ABSTRACT**

**Background and Objectives** Iron overload is seen in various tissues, including the pancreas, liver, and muscles in type 2 diabetes. The aim of the present study was to investigate the effect of high-intensity Body Pump training on indicators related to iron stores and blood glycemic control in women with type 2 diabetes.

**Subjects and Methods** In the present quasi-experimental study, 20 women with type 2 diabetes were randomly selected and divided into two groups: Body Pump and control. Body Pump training was done for eight weeks, three sessions per week and each training session included 90-60 minutes of moderate-intensity Body Pump training (75-80% of the reserve heart rate). Fasting blood sampling was performed before and after the intervention period. For statistical analysis, the paired sample t-test and independent t-test were used at a significance level of  $P \leq 0.05$ .

**Results** The results of the present study showed that Body Pump significantly reduced glycosylated hemoglobin ( $P < 0.001$ ), insulin resistance ( $P < 0.001$ ), serum iron ( $P = 0.041$ ), and ferritin ( $P = 0.019$ ) compared to the control group.

**Conclusion** Body Pump training may reduce excess iron in pancreatic, liver, and muscle tissues by modulating iron and ferritin stores, resulting in reduced insulin resistance, which causes glycemic control in women with type 2 diabetes.

**Keywords** Type 2 diabetes, Body Pump, Glycemic control, Iron, Ferritin

Received: 11 Apr 2022

Accepted: 02 Jul 2022

Available Online: 23 July 2022

**\* Corresponding Author:**

Sedigheh Hosseinpour Delavar, PhD.

Address: Department of Exercise Physiology, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.

Tel: +98 (916) 6165642

E-Mail: [delavar2009@yahoo.com](mailto:delavar2009@yahoo.com)

## Extended Abstract

### Introduction

**D**iabetes is a chronic metabolic disorder that is rapidly increasing worldwide and affects approximately one-third of the world's population [1]. Iron overload is seen in various tissues, including the pancreas, liver, and muscles in type 2 diabetes [3, 7]. The relationship between iron metabolism and insulin resistance is based on several pathological pathways, which are influenced by oxidative stress and increased inflammatory cytokines. Considering the role of iron overload in insulin resistance, modulating iron stores can be a therapeutic target in type 2 diabetes [3]. Among all treatment options for type 2 diabetes, including several new drugs, exercise as part of lifestyle is an efficient strategy that can control blood sugar in these patients through independent and insulin-dependent molecular pathways [4, 5]. Considering the lack of research on the effect of exercise on the interaction of iron metabolism and insulin resistance in type 2 diabetes, as well as the difference in the results obtained [3, 13, 14], more research is needed in this regard. It has also been stated that high-intensity exercise can be one of the factors affecting metabolic adaptations in people with type 2 diabetes [17, 18], and on the other hand, iron metabolism is affected by the intensity of exercise [3, 19]. Considering that the intensity of exercise is important in blood sugar control and no research has been done specifically to investigate the effect of high-intensity BodyPump training as one of the new styles of exercise on iron reserves in patients with type 2 diabetes. Therefore, the aim of the present study was to determine the effect of eight weeks of high-intensity BodyPump training on variables related to iron reserves and glycemic control in women with type 2 diabetes.

### Methods

In this semi-experimental research, 20 women with diabetes were selected by random sampling from type 2 diabetes patients referring to the Ahvaz diabetes clinic and divided into two groups, including high-intensity BodyPump training and control. The training program was carried out for 24 sessions over eight weeks and in each session, every other day (three days a week), and each training session included 60-90 minutes of BodyPump training at 9-10 AM. The exercise intensity was controlled based on the target heart rate of 75-80% of the maximum reserve heart rate and using the stored heart rate of the patients [4, 23]. Considering that to increase the intensity of training in air pump exercises, you can use

variables of training load and rhythm of songs; accordingly, in the present research, both variables were used to control the intensity of exercise. Blood sampling was done while fasting 24 hours before the start of research interventions and 48 hours after the last training session. For the statistical analysis of the data obtained from the subjects, the Shapiro-Wilk test was used to check the normality of the data distribution, and Levene's test was used to check the equality of variances. An independent t-test and paired sample t-test were used to check the changes in research variables. Statistical analysis was done with SPSS software, version 26 and a significant level of  $P \geq 0.05$  was considered.

### Results

There was no significant difference in the demographic variables of the subjects, including age, weight, height, body mass index, and body fat percentage between the two training and control groups and both groups were homogeneous. According to the obtained results, there was no significant difference in the amount of calories, carbohydrates, fat, protein, and iron intake in the diet of the two training and control groups. Regarding intra-group changes, the paired sample t-test showed that there was a significant decrease in HbA1c levels ( $P < 0.001$ ), insulin resistance ( $P < 0.001$ ), red blood cell count ( $P = 0.023$ ), serum iron levels ( $P = 0.012$ ), and ferritin levels ( $P = 0.013$ ) in the BodyPump training group, but no significant difference was observed in other investigated variables in the training group. In the control group, no significant difference was observed in any of the investigated variables compared to the baseline values. Regarding inter-group changes assessed by independent t-test, the results showed that changes in HbA1c levels ( $P < 0.001$ ), insulin resistance ( $P < 0.001$ ), serum iron levels ( $P = 0.041$ ), and ferritin levels ( $P = 0.019$ ) were significant in the training group compared to the control group.

### Discussion

Regarding the effect of BodyPump training on glycemic control, eight weeks of air pump exercises caused a significant decrease in HbA1c levels by 12.4% and a significant decrease in insulin resistance (HOMA-IR) by 25.71% in women with type 2 diabetes. Regarding the chronic effect of regular exercise on glycemic control in diabetic patients, it can be said that exercise reduces hyperglycemia by increasing cell sensitivity with insulin-dependent molecular pathways that improve insulin signaling (ACC and PI3-kinase MAPKs), and pathways independent of insulin ( $\text{Akt}$  and mTOR AMP-kinase), can control glycemia in patients with type 2 diabetes [3,

4]. Concerning the effect of exercise on iron-related variables, the results of this study showed that after the exercise period, a significant decrease in serum iron (-12.40%) and serum ferritin (-23.49%) levels were observed compared to the control group. It can be said that exercise can increase insulin sensitivity in these tissues by adjusting iron reserves in the body [3], resulting in better control of blood sugar in diabetic women. According to the results of the present research, eight weeks of air pump exercises with an intensity of 75-80% of the reserve heart rate decreased insulin resistance and, as a result, glycemic control in the form of a decrease in HbA1c in women with type 2 diabetes. According to the dynamics and use of different muscles in BodyPump training, it can be said that this style of exercise by involving different muscles reduces insulin resistance in patients with type 2 diabetes. Also, BodyPump training showed a decrease in systemic inflammation in these patients by decreasing plasma ferritin iron levels as a factor related to iron reserves and also as a positive acute phase protein. It is possible that reducing ferritin and modulating iron stores is one of the adaptations associated with exercise training in reducing insulin resistance and glycemic control in women with type 2 diabetes.

## Ethical Considerations

### Compliance with ethical guidelines

All ethical principles were observed in this study. This study was approved by the ethics committee of [Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences](#) (Code: IR.AJUMS.REC.1399.064).

### Funding

This study was extracted from the PhD thesis of Ajet Soleymani khezerabad, approved by [Islamic Azad University, Kermanshah Branch](#).

### Authors contributions

The authors contributed equally to preparing this paper.

### Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

### Acknowledgements

The authors would like to thank all participants and the Diabetes Research Center of [Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences](#).

## مقاله پژوهشی

## اثر تعدیل ذخایر آهن بر کنترل قند خون در سازگاری به بادی پامپ

آزت سلیمانی خضرآباد<sup>۱</sup>، صدیقه حسین پور دلاور<sup>۱</sup>، حمیرا رشیدی<sup>۲</sup>، مهران قهرمانی<sup>۱</sup>

۱. گروه فیزیولوژی ورزش، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران.

۲. مرکز تحقیقات دیابت، پژوهشکده سلامت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.

Use your device to scan  
and read the article online

**Citation** Soleymani khezerabad A, Hosseinpour Delavar S, Rashidi H, Ghahramani M. [The Effect of Adjusting Iron Stores on Glycemic Control in Adaptation to Body Pump (Persian)]. *Jundishapur Scientific Medical Journal*. 2022; 21(3):422-435. <https://doi.org/10.32598/JSMJ.21.3.2819>

<https://doi.org/10.32598/JSMJ.21.3.2819>

## چکیده



**زمینه و هدف:** تحقیقات علمی نشان داده است که اضافه‌بار آهن در بافت‌های مختلف از جمله پانکراس، کبد و عضله در دیابت نوع ۲ دیده می‌شود. هدف تحقیق حاضر بررسی اثر تمرینات بادی پامپ شدت بالا بر شاخص‌های مرتبط با ذخایر آهن و کنترل قند خون در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ بود.

**روش بررسی:** در تحقیق نیمه‌تجربی حاضر ۲۰ زن مبتلا به دیابت نوع ۲ به روش تصادفی انتخاب شدند و به‌طور تصادفی به ۲ گروه بادی پامپ و کنترل تقسیم شدند. تمرینات بادی پامپ به مدت ۸ هفته، ۳ جلسه در هر هفته و هر جلسه شامل ۶۰ تا ۹۰ دقیقه تمرین با شدت ۷۵ تا ۸۰ درصد ضربان قلب ذخیره بود. قبل و پس از دوره مداخله خون‌گیری به‌صورت ناشتا انجام شد. برای تجزیه و تحلیل آماری از آزمون‌های تی مستقل و وابسته در سطح معناداری  $P \leq 0.05$  استفاده شد.

**یافته‌ها:** نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تمرینات بادی پامپ موجب کاهش معناداری هموگلوبین گلیکوزیله ( $P < 0.001$ )، مقاومت به انسولین ( $P < 0.001$ )، آهن سرمی ( $P = 0.041$ ) و فریتین ( $P = 0.019$ ) نسبت به گروه کنترل شد.

**نتیجه‌گیری:** باتوجه به نتایج می‌توان گفت که احتمالاً تمرینات بادی پامپ با تعدیل ذخایر آهن و فریتین موجب کاهش آهن اضافی در بافت‌های پانکراس، کبد و عضلات و در نتیجه کاهش مقاومت به انسولین شده است که نتیجه آن کنترل گلیسمیک در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌باشد.

**کلیدواژه‌ها:** دیابت نوع ۲، بادی پامپ، کنترل قندخون، آهن، فریتین

تاریخ دریافت: ۲۲ فروردین ۱۴۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۱ تیر ۱۴۰۱

تاریخ انتشار: ۰۱ مرداد ۱۴۰۱

## \* نویسنده مسئول:

دکتر صدیقه حسین پور دلاور

نشانی: کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمانشاه، گروه فیزیولوژی ورزشی.

تلفن: +۹۸ (۹۱۶) ۶۱۶۵۶۴۲

رایانامه: [delavar2009@yahoo.com](mailto:delavar2009@yahoo.com)

## مقدمه

انجام شده است ولی نتایج به دست آمده از تحقیقات متفاوت می‌باشد؛ برای مثال ایلههان و همکاران گزارش کردند که کاهش مقاومت به انسولین متعاقب تمرینات نوردیک به علت اثر تمرین بر کاهش سطح آهن سرمی می‌باشد [۱۲]. در تحقیقات دیگر نیز که از تمرینات با شدت متوسط استفاده شده بود، گزارش کردند که تمرینات هوازی دویدن با شدت متوسط می‌تواند با اثر بر برخی پارامترهای ذخایر آهن موجب بهبود مقاومت به انسولین در بیماران مبتلا به اختلالات متابولیکی شود [۱۳، ۳]. با این وجود، بیژه و حکاک دخت پس از هشت هفته تمرین هوازی کاهش معناداری در مقادیر سرمی گلوکز و مقاومت به انسولین گزارش کردند ولی تفاوت معناداری در فریتین گزارش نکردند [۱۴]. باتوجه به تحقیقات محدود و تفاوت در نتایج به دست آمده، نیاز به تحقیقات بیشتری در این خصوص می‌باشد.

تمرین‌های بادی پامپ نوعی از تمرین ایروبیک است [۱۵]. بادی پامپ برنامه‌ای برای بهبود آمادگی جسمانی است که شامل حدود ۶۰ دقیقه تمرین در کلاس با وزنه‌های تمرین براساس تراک‌های از پیش تعیین شده است که در آن هماهنگ با آهنگ حرکات‌های مختلف ورزشی انجام می‌شود [۱۵]. سیستم اکسیداتیو هوازی برای فعالیت‌های طولانی مدت با شدت کم تا متوسط، سیستم گلیکولیتیک بی‌هوازی برای فعالیت‌های با طول مدت کوتاه تا متوسط با شدت بالاتر و سیستم فسفاژن با انرژی بالا برای فعالیت‌های کوتاه مدت با شدت زیاد استفاده می‌شود [۱۶، ۲]. باتوجه به مدت زمان تمرین در بادی پامپ، و نقش سیستم بیوانرژی در فعالیت‌های با آن شدت تمرین [۲]، سیستم غالب بیوانرژی در این گروه تمرینات سیستم هوازی می‌باشد [۱۵]. این سبک تمرینات ورزشی موجب توسعه آمادگی جسمانی به خصوص افزایش قدرت و استقامت عضلانی در گروه‌های مختلف عضلات در کنار ارتقای سیستم قلبی-تنفسی می‌باشد [۱۵]. به‌طور کلی، تمرینات بادی پامپ یک برنامه تمرین مقاومتی معمولی با تعداد تکرار زیاد با بارهای کم و متوسط می‌باشد که بر استقامت عضلانی و استقامت عمومی تمرکز دارد که می‌تواند در بعد سلامت و بهبود شرایط متابولیک در بیماری‌های مزمن از جمله دیابت نیز اثر بخش باشد [۱۵]. تحقیقات جدید نشان داده است که شدت تمرین می‌تواند از متغیرهای مؤثر بر کنترل گلیسمی در دیابت نوع ۲ باشد [۲]. در برخی تحقیقات پیشنهاد شده است که تمرینات شدت بالا در دیابت نوع ۲ ایمن و مؤثر هستند [۱۷، ۱۸]. شدت تمرین در تمرینات بادی پامپ را می‌توان با تراک‌های تمرین، بار وزنه مورد استفاده، باتوجه به سطح توانایی آزمودنی‌ها و همچنین استراحت بین تراک‌های تمرین کنترل کرد [۱۵].

باتوجه به کم بودن تحقیقات انجام شده در خصوص اثر ورزش بر تعامل متابولیسم آهن و مقاومت به انسولین در دیابت نوع ۲ و همچنین تفاوت در نتایج به دست آمده [۱۳، ۳، ۱۴] نیاز

دیابت یک اختلال متابولیک مزمن است که به سرعت در سطح جهان در حال افزایش است. تقریباً یک سوم جمعیت جهان را تحت تأثیر قرار داده است [۱]. دیابت نوع ۲ که تقریباً ۹۰ درصد آمار ابتلایان به دیابت را شامل می‌شود، در ارتباط با چاقی و مقاومت به انسولین می‌باشد [۲]. توضیح ساده برای پاتوفیزیولوژی دیابت نوع ۲ این بیماری را به تعامل بین اختلال عملکرد سلول‌های بتا و مقاومت به انسولین مرتبط کرده است [۳، ۴]، اما این نقص خاص پیچیده می‌باشد و تاکنون به صورت کامل، شناخته شده نیست [۳، ۴]. مشخصه اصلی دیابت اختلال در متابولیسم کربوهیدرات است اما اختلال در متابولیسم سایر درشت مغذی‌ها و ریزمغذی‌ها در این اختلال متابولیک گزارش شده است [۵]؛ در واقع ریزمغذی‌ها شامل ویتامین‌ها و مواد معدنی نقش‌های متعددی در سلامت دارند [۶]. آهن یکی از مواد معدنی می‌باشد که به عنوان یکی از ریزمغذی‌های ضروری نقش مهمی در سلامت دارد و کمبود یا اضافه بار آن می‌تواند متابولیسم بدن را دچار اختلال کند [۳]. مشخص شده است که سطح بالای ذخایر آهن بدن و فریتین با مقاومت به انسولین در ارتباط است. این ناهنجاری متابولیک در جوامع غربی و شرقی مشاهده شده است [۷]. در افراد مبتلا به هیپرفریتینمی ریسک ابتلا به دیابت نوع ۲، به میزان ۲/۴ برابر افزایش می‌یابد [۸] و ارتباط معناداری بین هیپرفریتینمی با سندرم اضافه بار آهن و مقاومت به انسولین وجود دارد [۷]. در مطالعات دیگر نیز همبستگی بین فریتین، سندرم متابولیک و مقاومت به انسولین بود و گزارش شده که این ارتباط مستقل از التهاب می‌باشد [۹، ۱۰]. ارتباط بین متابولیسم آهن و مقاومت به انسولین مبتنی بر چند مسیر پاتولوژیک می‌باشد، که با استرس اکسیداتیو و افزایش سایتوکین‌های التهابی تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۳]. باتوجه به نقش اضافه بار آهن در مقاومت به انسولین، تعدیل ذخایر آهن می‌تواند یک هدف درمانی در دیابت نوع ۲ باشد [۳].

از بین تمام گزینه‌های درمانی دیابت نوع ۲، از جمله چندین داروی جدید، تمرینات ورزشی به عنوان بخشی از سبک زندگی، استراتژی کارآمدی است که می‌تواند از مسیرهای ملکولی مستقل و وابسته به انسولین موجب کنترل قند خون در این بیماران شود [۴، ۵]. با وجود اثرات ثابت شده ورزش بر کنترل قند خون و عوارض دیابت نوع ۲ [۲، ۴، ۵]، نیاز به تحقیقات بیشتری در خصوص مکانیسم اثرهای تمرین و فعالیت جسمانی منظم بر کنترل قند خون در این بیماران می‌باشد. اضافه بار آهن از عوامل مؤثر بر مقاومت به انسولین می‌باشد [۳] و از طرفی تمرینات ورزشی از عوامل مؤثر بر متابولیسم آهن می‌باشند [۱۱]؛ این موارد موجب توجه برخی پژوهشگران حیطه فیزیولوژی ورزش به بررسی اثر تمرینات ورزشی بر اثر تعاملی متابولیسم آهن و مقاومت به انسولین شده است. در همین خصوص، تحقیقاتی



به‌جز مداخله در نظر گرفته شده بود. تمامی مراحل تحقیق براساس کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز انجام شد (کد اخلاق: IR.AJUMS.REC.1399.064). حجم نمونه در تحقیق حاضر براساس مطالعات پیشین و فرمول شماره ۱، ۲۰ نفر در نظر گرفته شد [۲۱].

1.

$$n = \frac{(z_{1-\frac{\alpha}{2}} + z_{1-\beta})^2 (s_1^2 + s_2^2)}{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2}$$

برنامه تمرین به مدت ۲۴ جلسه طی هشت هفته و در هر جلسه به‌صورت یک روز در میان (۳ روز در هفته)، و هر جلسه تمرین شامل ۹۰-۶۰ دقیقه تمرینات بادی پامپ تحت نظارت پژوهشگر و پرستار در ساعت ۱۰-۹ صبح انجام شد. در هر جلسه قبل از شروع به تمرین ۱۰ دقیقه گرم کردن زیر نظر پژوهشگر انجام شد. زمان گرم کردن باتوجه به توصیه‌های کارشناسان ورزشی در شرایط آب‌وهوای گرم منطقه حداکثر ۱۰ دقیقه [۲۱] در نظر گرفته شد. تمرینات گرم کردن شامل تمرینات هوازی به مدت ۵ دقیقه، سپس حرکات کششی ایستا و پویا نیز به مدت ۵ دقیقه اجرا شد. پس از اتمام تمرین اصلی نیز سرد کردن به مدت ۱۰ دقیقه با حرکات کششی و تمرینات تنفسی و آرام‌سازی، انجام شد [۲۲]. برنامه اصلی تمرین که شامل تمرینات بادی پامپ [۱۵] بود نیز زیر نظر محقق انجام شد. بنابر اصل اضافه‌بار تدریجی، مدت زمان اصلی تمرین در هر جلسه تمرین از ۳۰ دقیقه شروع شد و در هفته سوم تا ششم ۴۵ دقیقه و در هفته‌های هفتم و هشتم به ۶۰ دقیقه رسید. در تحقیق حاضر، اینتروال‌های تمرین به‌صورت تراک‌های ۶ دقیقه‌ای بود (جدول شماره ۱) که استراحت تمرین در اینتروال‌های تراک براساس شدت تمرین و آمادگی جسمانی آزمودنی‌ها تنظیم شد. در دو هفته اول از برنامه ۵ تراک، در هفته‌های سوم تا ششم از برنامه ۸ تراک و در دو هفته آخر از برنامه تمرینی ۱۰ تراک استفاده شد [۱۵].

شدت تمرین براساس ضربان قلب هدف ۷۵ تا ۸۰ درصد حداکثر ضربان قلب ذخیره و با استفاده از ضربان قلب ذخیره بیماران کنترل شد [۴، ۲۳]. باتوجه به اینکه برای افزایش شدت

به تحقیقات بیشتری در این خصوص می‌باشد. همچنین عنوان شده است که تمرینات ورزشی شدت بالا می‌تواند از عوامل مؤثر بر سازگاری های متابولیک در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ باشد [۱۷، ۱۸]. از طرفی متابولیسم آهن تحت تأثیر شدت تمرین می‌باشد [۳، ۱۹]. احتمالاً تمرین با شدت بالاتر بتواند در تعدیل ذخایر آهن در دیابت نوع ۲ مؤثرتر باشد؛ با این وجود، تاکنون تحقیقی که از تمرینات شدت بالا به‌خصوص تمرینات بادی پامپ در دیابت نوع ۲ انجام نشده است که ضرورت تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.

باتوجه به اهمیت شدت تمرین در کنترل قند خون و همچنین نبودن تحقیقی که به‌صورت خاص به بررسی اثر تمرینات بادی پامپ با شدت بالا به‌عنوان یکی از سبک‌های نوین تمرین بر ذخایر آهن به‌عنوان یکی از ریزمغذی‌های مهم مرتبط با مقاومت به انسولین در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲، تحقیق حاضر، با هدف تعیین اثر هشت هفته تمرینات بادی پامپ شدت بالا بر متغیرهای مرتبط با ذخایر آهن و کنترل گلیسمیک در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ طراحی شد.

### روش بررسی

در تحقیق حاضر پس از هماهنگی‌های لازم و کسب اجازه قانونی از دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز و اعلام فراخوان از بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ مراجعه‌کننده به کلینیک فوق تخصصی دیابت اهواز تعداد ۲۰ زن مبتلا به دیابت به روش نمونه‌گیری تصادفی انتخاب شدند. این افراد به ۲ گروه ۱۰ نفره شامل دو گروه آزمایش تمرینات بادی پامپ با شدت بالا تقسیم شدند. شرایط ورود به تحقیق شامل زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ با دامنه سنی ۳۵ تا ۵۰ سال، سبک زندگی کم تحرک (نداشتن فعالیت جسمانی در شش ماه گذشته) و قرارگیری در دامنه چاقی براساس درصد چربی بدن بود [۲۰]. شرایط خروج از تحقیق نیز شامل بارداری، مصرف داروهای مؤثر بر ضربان قلب مثل بتابلوکرها، عوارض دیابتی مانند نروپاتی و نفروپاتی، مصرف سیگار، تزریق انسولین، ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی حاد، بیماری‌های تنفسی، بیماری‌های عضلانی و اسکلتی، سابقه هیپوگلیسمی مکرر یا هنگام ورزش و انجام هرگونه مداخله دیگر

جدول ۱. پروتکل تمرین ۸ هفته‌ای

هفته	تعداد جلسات در هفته	تراک	زمان (دقیقه)	شدت ضربان قلب ذخیره (درصد)
اول و دوم		۵	۳۰	۷۵ تا ۸۰
سوم تا ششم	۳	۸	۴۵	۷۵ تا ۸۰
هفتم و هشتم		۱۰	۶۰	۷۵ تا ۸۰

جدول ۲. شاخص‌های تن‌سنجی و سن در گروه‌های مورد مطالعه

گروه	سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)	شاخص توده بدن (کیلوگرم بر مترمربع)	چربی بدن (درصد)
تمرین بادی پامپ	۴۲/۱۰±۴/۵۶	۱۵۸/۱۲±۴/۲۸	۷۰/۲۹±۵/۴۳	۲۸/۱۱±۱/۷۹	۲۶/۹۸±۲/۷۱
کنترل	۴۴/۶۰±۴/۳۵	۱۵۷/۲۲±۴/۳۲	۷۲/۴۱±۲/۳۱	۲۹/۲۶±۱/۸۴	۳۹/۲۷±۳/۴۶

مجله علمی پزشکی  
جنیدی شاپور

سپس مقدار مصرفی هر ماده غذایی ثبت شده در فرم‌های یادآمد غذایی با استفاده از مقیاس‌های خانگی به گرم تبدیل شد. غذاها و نوشیدنی‌ها کدگذاری شدند و محتوای انرژی و مواد مغذی با استفاده از نرم‌افزار نوتریشن-۴ تجزیه و تحلیل شد.

به منظور اندازه‌گیری شاخص‌های هماتولوژی در دو مرحله پیش‌آزمون (۲۴ ساعت قبل از شروع مداخلات تحقیق) و پس‌آزمون (۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین) بیماران به صورت ناشتا در صبح به آزمایشگاه پاتولوژی و تشخیص طبی کلینیک فوق تخصصی دیابت گلستان اهواز مراجعه کردند. نمونه‌های خونی آن‌ها توسط پرستار آزمایشگاه گرفته شد. جهت نمونه‌گیری خون از هر بیمار ۵ سی‌سی خون از ورید دست راست آن‌ها گرفته شد. شیشه حاوی نمونه ۲۰ دقیقه در بن ماری در دمای ۳۷ درجه قرار داده شد. سپس نمونه را در سانتیفریوژ با دور سه هزار در ثانیه جهت جداسازی سرم قرار داده شد. پس از آن ۱ سی‌سی از سرم جدا شده را در کاب‌های مخصوص دستگاه

تمرین در تمرینات بادی پامپ می‌توان از متغیرهای بار تمرینی و ریتم آهنگ‌ها استفاده کرد، در تحقیق حاضر از هر دو متغیر برای کنترل شدت تمرین استفاده شد (فرمول شماره ۲).

2.

$$HR_{max} = 220 - \text{age}$$

$$\text{Heart Reserve Rate} = [(max \text{ HR} - \text{resting HR}) \times \%Intensity] + \text{resting HR}$$

در پژوهش حاضر هیچ‌گونه مداخله تغذیه‌ای توسط پژوهشگر انجام نشد. تغذیه بیماران با استفاده از فرم یادآمد غذایی توسط کارشناس تغذیه بررسی شد. کالری مصرفی از آزمودنی‌ها با استفاده از فرم یادآمد غذایی بررسی شد؛ به همین منظور از آزمودنی‌ها خواسته شد که میزان غذای مصرفی خود را در دو روز متوالی در شروع هفته شامل یک روز تمرین و یک روز استراحت و همچنین یک روز آخر هفته در فرم یادآمد غذایی گزارش کنند.

جدول ۳. مقایسه کالری مصرفی و درشت مغذی‌ها در گروه‌های پژوهش

متغیرها	گروه	میانگین ± انحراف معیار			P
		پیش‌آزمون	پس‌آزمون	درون گروهی	
انرژی (کیلوکالری)	تمرین	۲۲۲۷/۶۵±۴۲۷/۷۶	۲۳۵۱/۱۸±۳۶۲/۴۸	۰/۸۳۶	۰/۲۲۶
	کنترل	۲۶۱۱/۳۲±۳۸۵/۵۰	۲۳۳۷/۲۸±۵۴۱/۶۳	۰/۸۱۶	
کربوهیدرات (درصد)	تمرین	۶۱/۲۳±۱۵/۴۴	۶۲/۷۰±۱۳/۲۸	۰/۸۱۲	۰/۱۳۹
	کنترل	۶۴/۸۵±۱۳/۳۷	۶۳/۳۶±۱۴/۱۸	۰/۹۲۴	
چربی (درصد)	تمرین	۲۰/۹۳±۶/۶۱	۲۱/۱۶±۵/۸۳	۰/۴۷۴	۰/۱۶۸
	کنترل	۱۹/۵۳±۷/۵۷	۲۰/۶۲±۷/۳۶	۰/۶۱۸	
پروتئین (درصد)	تمرین	۱۷/۸۴±۱۰/۶۳	۱۶/۱۴±۹/۷۴	۰/۷۴۸	۰/۱۷۱
	کنترل	۱۵/۶۲±۱۱/۳۷	۱۶/۰۲±۱۲/۱۸	۰/۹۲۵	
آهن (مگرم)	تمرین	۱۸/۴۱±۴/۴۸	۱۹/۷۲±۵/۶۸	۰/۵۲۷	۰/۴۸۱
	کنترل	۱۸/۸۵±۵/۱۲	۱۷/۶۲±۴/۳۲	۰/۶۱۹	

مجله علمی پزشکی  
جنیدی شاپور

جدول ۴. نتایج تغییرات درون گروهی و بین گروهی متغیرهای تحقیق

متغیرها	گروه	میانگین $\pm$ انحراف معیار		t	P*	P**
		پیش آزمون	پس آزمون			
هموگلوبین گلیکوزیله (درصد)	تمرین	۷/۶۶ $\pm$ ۰/۵۶	۶/۷۱ $\pm$ ۰/۵۴	۱۱/۷۸۳	< ۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱
	کنترل	۷/۷۷ $\pm$ ۰/۸۱	۷/۷۰ $\pm$ ۰/۸۳	-۰/۲۵۲	۰/۸۰۷	
مقاومت به انسولین (HOMA-IR)	تمرین	۳/۱۵ $\pm$ ۰/۸۶	۲/۳۳ $\pm$ ۰/۵۴	۵/۹۳۴	< ۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱
	کنترل	۳/۱۱ $\pm$ ۰/۷۰	۳/۲۱ $\pm$ ۰/۶۵	-۱/۲۰۷	۰/۲۵۸	
گلبول قرمز (mcL)	تمرین	۴/۳۷ $\pm$ ۰/۳۵	۴/۳۴ $\pm$ ۰/۳۲	۴/۳۷۱	۰/۰۲۳	۰/۲۳۴
	کنترل	۴/۳۶ $\pm$ ۰/۲۸	۴/۳۸ $\pm$ ۰/۲۷	-۰/۳۴۶	۰/۹۰۲	
هموگلوبین (g/dl)	تمرین	۱۲/۴۵ $\pm$ ۳/۰۸	۱۲/۳۴ $\pm$ ۲/۷۳	۲/۲۵۹	۰/۲۱۸	۰/۱۱۴
	کنترل	۱۲/۱۳ $\pm$ ۲/۴۶	۱۲/۱۴ $\pm$ ۲/۵۱	-۰/۱۰۷	۰/۹۶۱	
آهن ( $\mu$ g/dL)	تمرین	۷۱/۲۷ $\pm$ ۲۴/۴۹	۶۲/۴۳ $\pm$ ۲۰/۶۸	۲/۲۵۹	۰/۰۱۲	۰/۰۴۱
	کنترل	۶۵/۷۶ $\pm$ ۲۰/۹۰	۶۵/۳۷ $\pm$ ۲۳/۸۷	-۰/۵۲۲	۰/۶۳۸	
فریتین (ng/mL)	تمرین	۴۹/۸۰ $\pm$ ۳۰/۰۸	۳۸/۱۰ $\pm$ ۲۴/۶۰	۳/۰۷۰	۰/۰۱۳	۰/۰۱۹
	کنترل	۴۴/۰۰ $\pm$ ۲۵/۳۳	۴۴/۶۰ $\pm$ ۲۷/۰۲	-۰/۷۰۹	۰/۴۹۶	
ترانسفرین (mg/dl)	تمرین	۲۱۳/۳۲ $\pm$ ۸۷/۰۷	۲۱۸/۵۳ $\pm$ ۷۴/۷۳	-۰/۶۴۰	۰/۵۳۸	۰/۵۳۷
	کنترل	۲۲۳/۱۴ $\pm$ ۵۵/۲۷	۲۲۴/۶۰ $\pm$ ۵۳/۹۷	-۰/۴۳۳	۰/۶۶۸	
ظرفیت کل اتصال به آهن ( $\mu$ g/dL)	تمرین	۳۶۵/۴۰ $\pm$ ۷۰/۳۶	۳۸۰/۳۰ $\pm$ ۷۲/۴۱	-۲/۰۸۱	۰/۰۶۷	۰/۲۳۱
	کنترل	۳۳۵/۲۰ $\pm$ ۷۴/۶۳	۳۳۲/۷۰ $\pm$ ۶۹/۶۳	-۰/۴۶۶	۰/۶۵۳	

مجله علمی پزشکی  
جندی شاپور

P\*: تغییرات درون گروهی؛ P\*\*: تغییرات بین گروهی

آزمون شاپیرو ویلک<sup>۲</sup> برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها، آزمون لون برای بررسی تجانس واریانس‌ها و از آزمون‌های تی مستقل و تی وابسته برای بررسی تغییرات درون گروهی و بین گروهی استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری با نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد و سطح معناداری ( $P \leq 0/05$ ) در نظر گرفته شد.

### یافته‌ها

**جدول شماره ۲** مربوط به سن و مشخصات آنتروپومتریک گروه‌ها در پیش آزمون می‌باشد.

**جدول شماره ۳** نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل کالری مصرفی در گروه‌های تحقیق می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده تفاوت معناداری در میزان کالری دریافتی، کربوهیدرات، چربی، پروتئین و آهن دریافتی در برنامه غذایی دو گروه تمرین و کنترل مشاهده نشد.

در بررسی تغییرات درون گروهی (**جدول شماره ۴**) آزمون

اتوانالایزر ریخته و به دستگاه اتوانالایزر هیتاچی وارد و تست خوانش شد.

جهت چک هموگلوبین، نمونه گرفته شده در ظرف مخصوص CBC به دستگاه Cell counter (sysmex kx-21n) وارد و تست خوانش انجام شد. آهن و TIBC سرم با استفاده از دستگاه اتوانالایزر Hitachi 911 اندازه گیری شد. تجزیه و تحلیل بیوشیمی با دستگاه لیازون روش کمی، دستگاه توسو روش گروماتوگرافی، هیتاچی ۹۱۱ روش رنگ سنجی، سیسمکس مدل KX21n ساخت کشور آلمان توسط کارشناس آزمایشگاه انجام شد. برای سنجش مقاومت به انسولین از متد HOMA-IR<sup>۱</sup> و فرمول فرمول شماره ۳ استفاده شد.

3.

Insulin (microunit/lit)/22/5×HOMA-IR=FBS(mmol/lit)

برای تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات به دست آمده از آزمودنی‌ها از

2. Shapiro-Wilk Test

1. Homeostasis model assessment of insulin resistance



با شدت بالا ممکن است برتر از تمرینات هوازی تناوبی در بزرگسالان مبتلا به دیابت باشد [۲۵].

در پژوهش حاضر نیز از حرکات تمرینی بادی پامپ که در اصل شامل تمرینات با وزنه‌های سبک می‌باشد که به صورت اینتروال‌های با شدت بالا استفاده می‌شود. به خوبی شناخته شده است که حتی یک دوره ورزش نیز تأثیر متقابل بر متابولیسم افراد مبتلا به دیابت نوع ۲، از جمله افزایش برداشت گلوکز ناشی از انسولین در کبد و بافت ماهیچه‌ای و بهبود تحمل گلوکز دارد [۲۵]. در شرایط کلینیکی با کنترل ضعیف قند خون سطح HbA1c افزایش می‌یابد و باعث افزایش عوارض و خطر مرگ و میر در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود. غلظت بالای HbA1c با افزایش خطر ابتلا به نروپاتی محیطی دیابتی، رتینوپاتی دیابتی و نفروپاتی در درازمدت می‌باشد [۴].

در بررسی اثر تمرین بر متغیرهای مرتبط با آهن، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که پس از دوره تمرین کاهش معناداری در سطح آهن سرمی (۱۲/۴۰- درصد) و فریتین سرمی (۲۳/۴۹- درصد) نسبت به گروه کنترل مشاهده شد. ایلهان و همکاران نیز گزارش کردند که تمرینات نوردیک موجب کاهش سطح آهن سرمی شد [۱۲]. طهان و همکاران نیز بهبود مقاومت به انسولین متعاقب تمرینات اینتروال هوازی را به کاهش آهن و فریتین سرمی نسبت دادند [۳]. نتایج این تحقیقات با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارند.

با توجه به اینکه وضعیت آهن با تعدیل رونویسی و بیان غشایی و میل بیان گیرنده انسولین در سلول‌های کبدی و تأثیر بر بیان ژن وابسته به انسولین، بر حساسیت انسولین تأثیر می‌گذارد [۲۶]؛ می‌توان کاهش مقاومت به انسولین در تحقیق حاضر را به اثر ورزش بادی پامپ بر تعدیل ذخایر آهن نسبت داد. با این وجود، در تحقیق بیژه و حکاک دخت پس از هشت هفته تمرین هوازی کاهش معناداری در مقادیر سرمی گلوکز و مقاومت به انسولین گزارش کردند ولی تفاوت معناداری در فریتین مشاهده نشد [۱۴]؛ در حالی که در تحقیق ما کاهش مقاومت به انسولین در ارتباط با کاهش آهن و فریتین سرمی بود؛ ناهم‌خوانی ممکن است به علت تفاوت در نوع تمرینات به کار رفته در دو تحقیق و همچنین تفاوت در شدت‌های تمرین باشد؛ چون در تحقیق بیژه از تمرین هوازی با شدت متوسط استفاده شده بود، در حالی که تمرینات مورد استفاده در تحقیق حاضر از تمرینات بادی پامپ بود که با شدت بالاتر انجام شد؛ همچنین تمرینات بادی پامپ ولی باتوجه به شکل و شیوه تمرینی موجب تحریک سیستم هوازی می‌شوند [۲] و زیرگروه تمرینات ایروبیک محسوب می‌شوند [۱۵].

باؤ و همکاران نیز در تحقیقشان شدت تمرین را به عنوان

تی وابسته نشان داد که کاهش معناداری در سطح HbA1c ( $P < 0.001$ )، مقاومت به انسولین ( $P < 0.001$ )، تعداد گلیبول قرمز ( $P = 0.023$ )، آهن سرمی ( $P = 0.012$ ) و فریتین ( $P = 0.013$ ) در گروه تمرین بادی پامپ مشاهده شد ولی تفاوت معناداری در سایر متغیرهای مورد بررسی در گروه تمرین مشاهده نشد. در گروه کنترل تفاوت معناداری در هیچ‌کدام از متغیرهای مورد بررسی نسبت به مقادیر پایه مشاهده نشد. در بررسی تغییرات بین گروهی (جدول شماره ۳) نیز نتایج نشان داد که تغییرات HbA1c ( $P < 0.001$ )، مقاومت به انسولین ( $P < 0.001$ )، آهن سرمی ( $P = 0.041$ ) و فریتین ( $P = 0.019$ ) در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل معنادار بود.

## بحث

در بررسی اثر تمرینات بادی پامپ بر کنترل گلیسمی نتایج نشان داد که هشت هفته تمرینات بادی پامپ موجب کاهش معنادار ۱۲/۴ درصدی HbA1c و کاهش معنادار ۲۵/۷۱ درصدی مقاومت به انسولین (HOMA-IR) در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ شد. اسجورز و همکاران در تحقیقی نشان دادند که حتی یک جلسه تمرین اینتروال سرعتی موجب افزایش جذب گلوکز از طریق افزایش حساسیت به انسولین موجب افزایش برداشت گلوکز در عضلات اسکلتی می‌شود [۲۴]. در تحقیق حاضر نیز کاهش معنادار مقاومت به انسولین حاکی از بهبود عملکرد انسولین می‌باشد، که نتیجه درازمدت آن به صورت کاهش HbA1c قابل مشاهده می‌باشد [۲۴]. در خصوص اثر تمرینات ورزشی بر جذب گلوکز می‌توان گفت که یک جلسه فعالیت بدنی، جذب گلوکز را از طریق تنظیم افزایشی ورزش بر سطوح انتقال دهنده گلوکز نوع ۴ در غشای عضلات اسکلتی تحریک می‌کند. این اثر مستقل از انسولین است و جذب گلوکز در عرض چند ساعت پس از پایان فعالیت بدنی نیز ادامه دارد. همچنین فعالیت بدنی باعث افزایش حساسیت به انسولین در عضلات اسکلتی می‌شود. این اثر پس از پایان فعالیت بدنی به مدت چند ساعت باقی می‌ماند و به وضوح وابسته به انسولین و عملکرد انسولین است در خصوص اثر مزمن تمرینات ورزشی منظم بر کنترل گلیسمی در بیماران دیابتی می‌توان گفت که تمرینات ورزشی موجب کاهش هیپرگلیسمی از طریق افزایش حساسیت سلولی با مسیرهای ملکولی وابسته به انسولین که سیگنالینگ انسولین را بهبود می‌بخشند (ACC / and MAPKs PI3-kinase) و مسیرهای مستقل از انسولین (Akt and mTOR AMP-kinase)، موجب کنترل گلیسمی در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شوند [۳، ۴].

تمرینات هوازی منظم باعث افزایش حساسیت به انسولین عضلاتی در افراد مبتلا به پیش دیابت و دیابت نوع ۲ به نسبت حجم ورزش می‌شود؛ ترکیبی از تمرینات استقامتی با تمرینات مقاومتی ممکن است سود بیشتری داشته باشد و تمرینات تناوبی

افزایش سطح آهن با افزایش سنتز هپسیدین، پیتیدی که از ترشح آهن از سلول‌های انتروسیتی و انتشار آن به پلازما از مونوسیت‌ها و ماکروفاژها جلوگیری می‌کند، همراه است [۳۲]. مطالعات اخیر نشان داده است که هپسیدین در تنظیم هموستاز آهن و کاهش انتقال و جذب آن نقش محوری دارد. این فرآیند احتمالاً با وجود همولیز افزایش یافته و پاسخ فاز حاد هدایت می‌شود. مورد اخیر با افزایش سطح سیتوکین‌های پیش التهابی در هنگام تمرین ورزشی همراه است که به نوبه خود سنتز هپسیدین را تحریک می‌کنند [۳۳] که می‌تواند توجیه‌کننده کاهش آهن پس از تمرینات باشد؛ البته در پژوهش حاضر سطح هپسیدین و همچنین سطوح سیتوکین‌های پیش التهابی و ضدالتهابی اندازه‌گیری نشد که از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌باشد. تحقیقات نشان داده که استرس اکسیداتیو و التهاب مزمن با مقاومت انسولینی نقش مهمی در سندرم متابولیک ایفا می‌کنند [۴]. تحت استرس اکسیداتیو، افزایش فریتین سرم ممکن است از طریق سلولی یا بافتی باعث تخریب عملکرد انسولین شامل مقاومت انسولینی و غیرطبیعی شدن سلول‌های بتای پانکراس شود [۳۴]. افزایش آهن در ارتباط با تشکیل رادیکال‌های آزاد می‌باشد و در ارتباط با مقاومت به انسولین در بیماران دیابتی می‌باشد [۷، ۱۰]. با توجه به این که فریتین سرم یک پروتئین مثبت فاز حاد است و در شرایط التهابی افزایش می‌یابد، ممکن است تغییرات فریتین در تحقیق حاضر به علت تغییرات فاکتورهای التهابی باشد که در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ وجود دارد [۳۵، ۳۶].

در تحقیق حاضر نیز کاهش فریتین هم‌راستا با کاهش مقاومت به انسولین و کنترل گلیسمیک پس از دوره تمرینات بادی پامپ می‌باشد؛ بنابراین می‌توان گفت که احتمالاً تمرینات بادی پامپ با کاهش سطح آهن منجر به بهبود مقاومت به انسولین و کنترل گلیسمی در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ شده است. کنترل گلیسمیک نیز منجر به کاهش استرس اکسیداتیو و فاکتورهای التهابی شده است که نتیجه آن کاهش فریتین به عنوان یکی از شاخص‌های التهابی می‌باشد.

از جمله محدودیت‌های تحقیق می‌توان به حجم نمونه پایین اشاره کرد. همچنین در تحقیق حاضر از زنان دیابتی نوع ۲ با دامنه سنی ۳۵-۵۰ بود، در حالی که با افزایش سن ابتلا به دیابت و مقاومت به انسولین افزایش می‌یابد؛ و ممکن است قابل تعمیم به همه بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ نباشد. همچنین با توجه به اینکه اضافه بار سلولی بخصوص در بافت پانکراس و کبد در ارتباط با مقاومت به انسولین می‌باشد، به علت تهاجمی بودن روش‌های اندازه‌گیری امکان اندازه‌گیری سطوح ملکولی این بافت‌ها وجود نداشت، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده به خصوص تحقیقات آزمایشگاهی تغییرات بافتی آهن در این بافت‌ها در شرایط اثرات حاد و مزمن تمرینات ورزشی بررسی شود.

یک عامل مؤثر بر کاهش آهن معرفی کرده‌اند [۲۷]. آهن برای ترشح طبیعی انسولین تحریک شده با گلوکز مهم است؛ با این حال، اضافه‌بار آهن باعث استرس اکسیداتیو و افزایش آپوپتوز در سلول‌های  $\beta$  می‌شود. در حالی که پیامدهای اضافه‌بار آهن در عملکرد و بقای سلول‌های  $\beta$  مشخص شده است [۲۸]. ژائو و همکاران در تحقیقشان برای بررسی اثر اضافه‌بار آهن بر متابولیسم گلوکز و مکانیسم اساسی، موش *Irp2* ناک اوت شده (مدل اضافه‌بار آهن درون‌زا) استفاده کردند و عنوان کردند که در این موش‌های مدل هیپرگلیسمی و اضافه‌بار آهن در کبد و عضلات اسکلتی دیده شد. افزایش مالون دی‌آلدهید، کاهش سطح سوپراکسید دیسموتاز و افزایش آپوپتوز سلولی نیز در کبد و عضلات موش‌های مدل یافت شد. غلظت گلوکز در تست های تحمل انسولین به طور معناداری بالاتر بود. با این حال، ترشح انسولین در فاز اولیه در موش *Irp2* تغییر نکرد. بیان *IRS2* کبدی و انتقال دهنده گلوکز نوع ۴ عضلانی در موش مدل در هر دو سطح mRNA و پروتئین در مقایسه با گروه کنترل نوع وحشی کاهش یافت [۲۹]. با توجه به نقش بافت عضلانی و کبدی در برداشت گلوکز خون به عنوان بافت‌های حساس به انسولین [۲۳]، می‌توان گفت که تمرینات ورزشی توانسته با تعدیل ذخایر آهن در بدن موجب افزایش حساسیت به انسولین در این بافت‌ها شود [۳] که نتیجه آن کنترل بهتر قند خون در زنان دیابتی می‌باشد.

در خصوص اثر تمرینات ورزشی بر ذخایر آهن نتایج پژوهش‌ها نشان داده که فعالیت‌های ورزشی شدید، مانند مسابقات یا تمرینات شدید در یک جلسه تمرینی، بر طول عمر گلبول‌های قرمز این افراد اثر دارد. تمرینات ورزشی به علت افزایش متابولیسم بدن موجب افزایش دمای بدن و افزایش PH خون به علت مسیره‌های متابولیک بی‌هوازی می‌شود که می‌تواند موجب تغییراتی در غشای اریتروسیت‌ها داشته باشد؛ همچنین به علت کاهش قند خون و غلظت خون، که در حین فعالیت ورزشی ایجاد می‌شود، مقاومت اسمزی گلبول‌های قرمز کاهش می‌یابد [۳۱]. در هنگام تمرینات ورزشی این اثرگذاری آسیب در گلبول‌های قرمز پیر که انعطاف‌پذیری کمتری دارند و بنابراین در معرض آسیب قرار دارند بیشتر است [۳۱]؛ در پژوهش حاضر اگرچه پس از تمرینات ورزشی کاهش اریتروسیت‌ها دیده شد ولی این تغییرات نسبت به گروه کنترل معنادار نبود؛ کاهش اریتروسیت‌ها بیشتر به علت تغییرات هماتوکریت می‌باشد که به عنوان یکی از سازگاری‌های نسبت به تمرین هوازی ایجاد می‌شود. آهن آزاد شده از سلول‌ها می‌تواند در مولکول‌های فریتین ذخیره شود، یا به لیگاندهای سیتوپلاسمی با وزن مولکولی پایین متصل شود و به اصطلاح استخر آهن حساس (LIP) را تشکیل دهد. آهن موجود در LIP بیشتر برای بازسازی آنزیم‌های وابسته به آهن استفاده می‌شود یا در تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر دخیل است [۱۹].

## نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج تحقیق حاضر ۸ هفته تمرینات بادی پامپ با شدت ۷۵-۸۰ درصد ضربان قلب ذخیره موجب کاهش مقاومت به انسولین و در نتیجه کنترل قند خون به صورت کاهش هموگلوبین گلیکوزیله در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ شد. باتوجه به پویایی و کاربرد عضلات مختلف در تمرینات بادی پامپ می‌توان گفت که این سبک تمرینات با درگیر کردن عضلات مختلف موجب کاهش مقاومت به انسولین در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌شود. از طرفی تمرینات بادی پامپ با کاهش سطح آهن فریتین پلاسما به عنوان یک فاکتور مرتبط با ذخایر آهن و همچنین به عنوان یک پروتئین مثبت فاز حاد، حاکی از کاهش التهاب سیستمی در این بیماران بود. احتمالاً کاهش فریتین و تعدیل ذخایر آهن یکی از سازگاری‌های مرتبط با تمرینات ورزشی در کاهش مقاومت به انسولین و کنترل قند خون در زنان مبتلا به دیابت نوع ۲ باشد.

## ملاحظات اخلاقی

## پیروی از اصول اخلاق پژوهش

تحقیق حاضر براساس رعایت اصول اخلاقی انجام شد و تمامی مراحل تحقیق توسط کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز تأیید شده است (کد اخلاق: IR.AJUMS.REC.1399.064).

## حامی مالی

مقاله حاضر بخشی از رساله دکتری آژت سلیمانی خضراباد ثبت شده در دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه می‌باشد.

## مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده‌سازی این مقاله مشارکت داشتند.

## تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان از تمامی کسانی که در انجام این پژوهش همکاری کرده‌اند به خصوص بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ و همچنین مرکز تحقیقات دیابت دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز قدردانی می‌کنند.

### References

- [1] Ghalavand A, Saki H, Nazem F, Khademitab N, Behzadinezhad H, Behbodi M, et al. [The effect of ganoderma supplementation and selected exercise training on glycemic control in boys with type 1 diabetes (Persian)]. *Jundishapur J Med Sci.* 2021; 20(4):356-65. [DOI:10.32598/JSMJ.20.4.2426]
- [2] Jokar M, Ghalavand A. [Improving endothelial function following regular pyramid aerobic training in patients with type 2 diabetes (Persian)]. *Razi J Med Sci.* 2021; 28(6):60-9. [Link]
- [3] Tahan P, Ghalavand A, Heydarzadi S, Maleki E, Delaram nasab M. [Effects of aerobic interval training on iron stores and glycemic control in men with type 2 diabetes (Persian)]. *Razi J Med Sci.* 2020; 27(8):105-14. [Link]
- [4] Hosseinpour Delavar S, Boyerahmadi A, Soleymani A, Ghalavand A. [Effect of eight weeks of aerobic interval training and urtica dioica supplement on some inflammatory indicators and glycemic control in men with type 2 diabetes (Persian)]. *Jundishapur Sci Med J.* 2020; 19(2):123-35. [DOI:10.22118/JSMJ.2020.200813.1814]
- [5] Ghalavand A, Motamedi P, Rajabi H, Khaledi N. [Effect of diabetes induction and exercisetraining on the level of ascorbic acid and muscle SVCT2 in male wistar rats (Persian)]. *J Shahid Sadoughi Univ Med Sci.* 2019; 27(12):2149-58. [DOI:10.18502/ssu.v27i12.2831]
- [6] Ghalavand A, Motamedi P, Rajabi H, Khaledi N. [The effect of six weeks of aerobic training on serum and muscle levels of ascorbic acid and svct2 of soleus muscle tissue in wistar rats (Persian)]. *Jundishapur Sci Med J.* 2019; 17(5):481-90. [Link]
- [7] Jehn M, Clark JM, Guallar E. Serum ferritin and risk of the metabolic syndrome in U.S. adults. *Diabetes Care.* 2004; 27(10):2422-8. [DOI:10.2337/diacare.27.10.2422] [PMID]
- [8] Salonen JT, Tuomainen TP, Salonen R, Lakka TA, Nyssönen K. Donation of blood is associated with reduced risk of myocardial infarction. The Kuopio ischaemic heart disease risk factor study. *Am J Epidemiol.* 1998; 148(5):445-51. [DOI:10.1093/oxfordjournals.aje.a009669] [PMID]
- [9] Bozzini C, Girelli D, Olivieri O, Martinelli N, Bassi A, De Matteis G, et al. Prevalence of body iron excess in the metabolic syndrome. *Diabetes Care.* 2005; 28(8):2061-3. [DOI:10.2337/diacare.28.8.2061] [PMID]
- [10] Wrede CE, Buettner R, Bollheimer LC, Schölmerich J, Palitzsch KD, Hellerbrand C. Association between serum ferritin and the insulin resistance syndrome in a representative population. *Eur J Endocrinol.* 2006; 154(2):333-40. [DOI:10.1530/eje.1.02083] [PMID]
- [11] McKay AKA, Pyne DB, Burke LM, Peeling P. Iron metabolism: Interactions with energy and carbohydrate availability. *Nutrients.* 2020; 12(12):3692. [DOI:10.3390/nu12123692] [PMID] [PMCID]
- [12] İlhan B, Tufan F, Bahat G, Karan MA. Possible effect of decreased insulin resistance on ferritin levels after Nordic Walking training. *Clin Interv Aging.* 2016; 11:149. [DOI:10.2147/CLIA.S103634] [PMID] [PMCID]
- [13] Oh S, Maruyama T, Eguchi K, Shida T, Arai E, Isobe T, et al. Therapeutic effect of hybrid training of voluntary and electrical muscle contractions in middle-aged obese women with non-alcoholic fatty liver disease: A pilot trial. *Ther Clin Risk Manag.* 2015; 11:371-80. [DOI:10.2147/TCRM.S75109] [PMID] [PMCID]
- [14] Bijeh N, Hejazi K. The effect of aerobic exercise on serum ferritin levels in untrained middle-aged women. *Int J Sport Stud.* 2012; 2(8):379-84. [https://profdoc.um.ac.ir/articles/a/1031004.pdf]
- [15] Greco CC, Oliveira AS, Pereira MP, Figueira TR, Ruas VD, Gonçalves M, et al. Improvements in metabolic and neuromuscular fitness after 12-week bodypump® training. *J Strength Cond Res.* 2011; 25(12):3422-31. [DOI:10.1519/JSC.0b013e3182160053] [PMID]
- [16] Mahmoodinezhad S, Shakerian S, Ghalavand A, Motamedi P, Delaramnasab M. The effect of acute training and circadian rhythm on blood hemostasis in female athletes. *Int J Basic Sci Med.* 2016; 1(1):8-12. [DOI:10.15171/ijbsm.2016.03]
- [17] Wormgoor SG, Dalleck LC, Zinn C, Harris NK. Effects of high-intensity interval training on people living with type 2 diabetes: A narrative review. *Can J Diabetes.* 2017; 41(5):536-47. [DOI:10.1016/j.cjcd.2016.12.004] [PMID]
- [18] Francois ME, Little JP. Effectiveness and safety of high-intensity interval training in patients with type 2 diabetes. *Diabetes Spectr.* 2015; 28(1):39-44. [DOI:10.2337/diaspect.28.1.39] [PMID] [PMCID]
- [19] Skarpańska-Stejnborn A, Basta P, Trzeciak J, Szcześniak-Pilaczyńska Ł. Effect of intense physical exercise on hepcidin levels and selected parameters of iron metabolism in rowing athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2015; 115(2):345-51. [DOI:10.1007/s00421-014-3018-3] [PMID] [PMCID]
- [20] Kim JY, Han SH, Yang BM. Implication of high-body-fat percentage on cardiometabolic risk in middle-aged, healthy, normal-weight adults. *Obesity.* 2013; 21(8):1571-7. [DOI:10.1002/oby.20020] [PMID]
- [21] Ghalavand A, Shakerian S, Zakerkish M, Shahbazian H, Monazam N. [The effect of resistance training on anthropometric characteristics and lipid profile in men with type 2 diabetes referred to Golestan Hospital (Persian)]. *Jundishapur Sci Med J.* 2015; 13(6):709-20. [Link]
- [22] Ghalavand A, Delaramnasab M, Afshounpour M, Zare A. [Effects of continuous aerobic exercise and circuit resistance training on fasting blood glucose control and plasma lipid profile in male patients with type II diabetes mellitus (Persian)]. *J Diab nurs.* 2016; 4(1):8-19. [Link]
- [23] Jokar M, Ghalavand A. [The effect of twelve weeks of aerobic interval training on liver complications and cardiovascular risk factors in men with type 2 diabetes (Persian)]. *Razi J Med Sci.* 2022; 29(3):26-36. [Link]
- [24] Sjöros TJ, Heiskanen MA, Motiani KK, Löyttyniemi E, Eskelinen JJ, Virtanen KA, et al. Increased insulin-stimulated glucose uptake in both leg and arm muscles after sprint interval and moderate-intensity training in subjects with type 2 diabetes or prediabetes. *Scand J Med Sci Sports.* 2018; 28(1):77-87. [DOI:10.1111/sms.12875] [PMID]

- [25] Doupis J, Karras K, Avramidis K. The role of individualized exercise prescription in type 2 diabetes mellitus management. *touchREV Endocrinol.* 2021; 17(1):2-4. [DOI:10.17925/EE.2021.17.1.2] [PMID] [PMCID]
- [26] Fargion S, Dongiovanni P, Guzzo A, Colombo S, Valenti L, Fracanzani AL. Iron and insulin resistance. *Aliment Pharmacol Ther.* 2005; 22 (Suppl 2):61-3. [DOI:10.1111/j.1365-2036.2005.02599.x] [PMID]
- [27] Bauer P, Zeissler S, Walscheid R, Frech T, Hillebrecht A. Acute effects of high-intensity exercise on hematological and iron metabolic parameters in elite male and female dragon boating athletes. *Phys Sportsmed.* 2018; 46(3):335-41. [DOI:10.1080/00913847.2018.1482187] [PMID]
- [28] Santos MCFD, Anderson CP, Neschen S, Zumbrennen-Bullough KB, Romney SJ, Kahle-Stephan M, et al. Irf2 regulates insulin production through iron-mediated Cdkal1-catalyzed tRNA modification. *Nat Commun.* 2020; 11(1):296. [DOI:10.1038/s41467-019-14004-5] [PMID] [PMCID]
- [29] Zhou Y, Wu W, Xu Z, Liu Y, Chang H, Yu P, et al. Iron regulatory protein 2 deficiency may correlate with insulin resistance. *Biochem Biophys Res Commun.* 2019; 510(2):191-7. [DOI:10.1016/j.bbrc.2019.01.022] [PMID]
- [30] Mohammadi F, Ghalavand A, Delaramnasab M. Effect of circuit resistance training and L-carnitine supplementation on body composition and liver function in men with non-alcoholic fatty liver disease. *Jundishapur J Chronic Dis Care.* 2019; 8(4):e90213. [DOI:10.5812/jjcdc.90213]
- [31] Yusof A, Leithauser RM, Roth HJ, Finkernagel H, Wilson MT, Beneke R. Exercise-induced hemolysis is caused by protein modification and most evident during the early phase of an ultraendurance race. *J Appl Physiol (1985).* 2007; 102(2):582-6. [DOI:10.1152/jappphysiol.00580.2006] [PMID]
- [32] Deicher R, Hörl WH. New insights into the regulation of iron homeostasis. *Eur J Clin Invest.* 2006; 36(5):301-9. [DOI:10.1111/j.1365-2362.2006.01633.x] [PMID]
- [33] van Deuren M, Kroot JJ, Swinkels DW. Time-course analysis of serum hepcidin, iron and cytokines in a C282Y homozygous patient with Schnitzler's syndrome treated with IL-1 receptor antagonist. *Haematologica.* 2009; 94(9):1297-300. [DOI:10.3324/haematol.2009.005975] [PMID] [PMCID]
- [34] Le TD, Bae S, Ed Hsu C, Singh KP, Blair SN, Shang N. Effects of cardiorespiratory fitness on serum ferritin concentration and incidence of type 2 diabetes: Evidence from the aerobics center longitudinal study (ACLS). *Rev Diabet Stud.* 2008; 5(4):245-52. [DOI:10.1900/RDS.2008.5.245] [PMID] [PMCID]
- [35] González AS, Guerrero DB, Soto MB, Díaz SP, Martínez-Olmos M, Vidal O. Metabolic syndrome, insulin resistance and the inflammation markers C-reactive protein and ferritin. *Eur J Clin Nutr.* 2006; 60(6):802-9. [DOI:10.1038/sj.ejcn.1602384] [PMID]
- [36] Forouhi NG, Harding AH, Allison M, Sandhu MS, Welch A, Luben R, et al. Elevated serum ferritin levels predict new-onset type 2 diabetes: Results from the EPIC-Norfolk prospective study. *Diabetologia.* 2007; 50(5):949-56. [DOI:10.1007/s00125-007-0604-5] [PMID]

This Page Intentionally Left Blank