

Changes in cardiac structure and function in diabetic patients with peripheral neuropathy during three types of exercise interventions

Received:

2025/03/23

Accepted:

2025/06/04

Online ISSN

3060-7078

Elaheh Piralaïy

Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Badrkhan Rashwan Ismael

Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

*Correspondence:

Elaheh Piralaïy

Email:

epiralaïy@tabrizu.ac.ir<https://orcid.org/0000-0002-9201-7170>**ABSTRACT****Introduction:**

Type 2 diabetes is a chronic disease with increased microvascular risks such as retinopathy and neuropathy. Exercise has a positive effect on the hearts of diabetic patients. Given the cardiac neuropathy in diabetic patients and the high prevalence of diabetes, the present study was designed to compare effect of three types of aerobic, resistance, and combined training on the structure and function of the heart in diabetic patients with peripheral neuropathy.

Methods:

The participants were 45 men (age: 55.24 ± 8.11 years, weight: 89.5 ± 13.4 kg, height: 171.85 ± 6.98 cm, duration of diabetes: 12.51 ± 6.46 years) that were randomly divided into four groups: aerobic training (n=11), resistance training (n=11), combined training (n=11), and control (n=12). The training groups performed 25 to 45 minutes of aerobic and resistance training 3 to 5 times weekly for 12 weeks. Resting heart rate and blood pressure were measured using a digital blood pressure monitor, and structural and functional indices of the heart were measured using a two-dimensional Doppler echocardiography. A one-way analysis of variance with Tukey's post-hoc test and a paired t-test were used for analysis of data at a significance level of $P \leq 0.05$.

Results:

One-way ANOVA showed significant differences in diastolic blood pressure ($P = 0.017$), systolic blood pressure, minimum and maximum and average resting heart rate ($P = 0.001$) between groups. Paired t-test showed a significant increase in PWTS in the aerobic training group ($P = 0.038$) and PWTD in the resistance training group ($P = 0.033$). Changes in IVSTS, IVSTD and VO_{2max} were not significant in any of the training groups ($P < 0.05$). Systolic blood pressure increased in the control group ($P = 0.008$) and decreased in the resistance ($P = 0.008$) and combined ($P = 0.001$) training groups, and diastolic blood pressure decreased in the combined training group ($P = 0.005$). The minimum resting heart rate decreased in the aerobic ($P = 0.046$) and resistance ($P = 0.036$) training groups, and the average resting heart rate decreased significantly in the aerobic training group ($P = 0.012$).

Discussion:

Based on the results of the present study, aerobic and resistance training affect the structure of the heart separately and can increase the thickness of the posterior wall of the left ventricle at the end of systole and diastole. The best type of training to reduce blood pressure is combined training. Finally, aerobic training has the greatest effect on reducing heart rate compared to resistance and combined training.

Keywords: Type 2 diabetes, resistance training, aerobic training, combined training, structure and function of heart.

Extended Abstract

Introduction:

Diabetes mellitus (DM) is one of the most common chronic diseases worldwide, making it a major public health concern (1) which can have many complications, the most common of which is peripheral neuropathy (PN) (5). Lifestyle changes, especially exercise training, have been recommended as a useful preventive strategy to prevent and even reduce the risk factors associated with cardiomyopathy in patients with diabetes. Improving cardiorespiratory fitness and vascular function through aerobic training is important for the prevention and improvement of CVD in patients with diabetes, and vigorous-intensity exercise of at least 150 minutes per week, including aerobic exercises such as walking, swimming and running, seems to have beneficial effects on vascular dysfunction due to fibrosis, arterial stiffness and endothelial dysfunction caused by diabetic complications. As a result, it can even prevent secondary CVD (24). Resistance training is as effective as aerobic training for the management of CVD and diabetic complications, as confirmed by several meta-analyses and systematic reviews. Resistance training may not have a direct effect on the cardiovascular system, but it can reduce the microvascular complications of hyperglycemia by improving glucose metabolism in skeletal muscle. In addition, resistance training has a positive effect on cardiometabolic outcomes such as insulin sensitivity, lipid profile, and blood pressure in patients with type 2 diabetes (13, 25, 26) and is a useful tool for maintaining vascular function (27). Since exercise training is considered a cornerstone of diabetes management and cardiac complications, with the potential to reduce the risks of CVD in patients with diabetes, further clinical trials and preclinical studies are needed to ensure maximum exercise efficiency (28). The present study was designed to compare the effect of three types of aerobic, resistance, and combined training on cardiac structure and function in diabetic patients with peripheral neuropathy.

Methodology:

This study was a quasi-experimental clinical trial. The statistical population of the present study consisted of type 2 diabetic men referring to Sina Educational and Medical Center in Tabriz, with an age range of 35 to 67 years. 54 diabetic men with peripheral neuropathy who were healthy in terms of exercise testing and were able to participate in sports were selected as the final subjects. The exclusion criteria were inability to perform the exercises, failure to follow the exercise programs provided in the experimental group, and irregular attendance at the exercises. This study had ethical approval from the Human Research Committee of the University of Medical Sciences (ethical code of the project IR.TBZMED.REC.1395.754), and written consent forms and voluntary participation forms were received from all patients. Then, the subjects were randomly divided into four groups: 1) aerobic training group (n = 13), 2) resistance training group (n = 13), 3) aerobic + resistance training group (n = 13), and 4) control group (n = 15). Aerobic training consisted of 3 training sessions per week for 12 weeks. The program included 15 minutes of stretching and light activity for warm-up, main activity (treadmill running) at an intensity of 70 to 75% of maximum heart rate for 25 to 45 minutes, and 10 minutes of stretching for cool-down. For strength training, dynamic movements were used including two sets of the main upper body muscles (chest press, shoulder press, rowing and front squat), three sets of the main lower body muscles (leg press, front leg press and back leg press), and two sets of the core muscles (abdominals and fillets) with 8 to 12 repetitions and 2-3 minutes rest between sets, three sessions per week. Combined training included aerobic and strength training. The subjects' resting heart rate was measured using a digital heart rate monitor. Systolic and diastolic blood pressure were measured using a digital blood pressure measuring device (Omron, Korea). Echocardiograms were performed 48 hours before and also 48 hours after the end of the exercise

training protocol to measure structural and functional indices of the heart by a cardiologist using a two-dimensional Doppler echocardiography device (Esaote Biomedica, Italy) in a special echocardiography room. To examine the normal distribution of the data, the Kolmogorov-Smirnov (K-S) test was used, for intragroup comparisons, the dependent T-test, for intergroup comparisons, the one-way analysis of variance (ANOVA), and to examine the location of paired differences, the Tukey post hoc test was used at a significance level of $P < 0.05$, using SPSS software version 27.

Results:

One-way ANOVA showed significant differences in diastolic blood pressure ($P = 0.017$), systolic blood pressure, minimum and maximum and average resting heart rate ($P = 0.001$) between groups. Paired t-test showed a significant increase in PWTS in the aerobic training group ($P = 0.038$) and PWTD in the resistance training group ($P = 0.033$). Changes in IVSTS, IVSTD and VO_{2max} were not significant in any of the training groups ($P < 0.05$). Systolic blood pressure increased in the control group ($P = 0.008$) and decreased in the resistance ($P = 0.008$) and combined ($P = 0.001$) training groups, and diastolic blood pressure decreased in the combined training group ($P = 0.005$). The minimum resting heart rate decreased in the aerobic ($P = 0.046$) and resistance ($P = 0.036$) training groups, and the average resting heart rate decreased significantly in the aerobic training group ($P = 0.012$).

Discussion:

The results of the present study showed that all three types of training had a negligible effect on IVSTS, IVSTD, and VO_{2max} . Aerobic and resistance training separately have a more significant effect on cardiac structure than combined training and can increase the thickness of the left ventricular posterior wall at the end of systole and diastole. It seems that the best type of training to increase PWTS is aerobic training, and to increase PWTD, is resistance training. Also, a decrease in systolic blood pressure was observed in the resistance and combined training groups, and a decrease in diastolic blood pressure was observed in the combined training group. Also, our results showed that the best type of training to reduce the minimum resting heart rate was aerobic and resistance training, and the best type of training to reduce resting heart rate was aerobic training. Therefore, aerobic training is more effective in reducing heart rate compared to resistance and combined training.

تغییرات در ساختار و عملکرد قلب در بیماران دیابتی مبتلا به نوروپاتی محیطی طی سه نوع مداخله ورزشی

چکیده	تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۰۱/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۴ شاپا الکترونیکی ۳۰۶۰-۷۰۷۸
مقدمه: دیابت نوع دو یک بیماری مزمن با افزایش خطرات ریز عروقی مانند رتینوپاتی و نوروپاتی است. ورزش تاثیر مثبتی بر قلب بیماران دیابتی دارد. با توجه به نوروپاتی قلبی در بیماران دیابتی و شیوع بالای دیابت، مطالعه حاضر به منظور مقایسه تاثیر سه نوع تمرین هوازی، مقاومتی و ترکیبی بر ساختار و عملکرد قلب بیماران دیابتی مبتلا به نوروپاتی محیطی طراحی شده است. روش تحقیق: شرکت کنندگان ۴۵ مرد (سن: ۵۵/۲۴±۸/۱۱ سال، وزن: ۸۹/۵±۱۳/۴ کیلوگرم، قد: ۱۷۱/۸۵±۶/۹۸ سانتی متر، مدت زمان دیابت: ۱۲/۵۱±۶/۴۶ سال) به طور تصادفی به چهار گروه تمرین هوازی (۱۱ نفر)، تمرین مقاومتی (۱۱ نفر)، تمرین ترکیبی (۱۱ نفر) و کنترل (۱۲ نفر) تقسیم شدند. گروه‌های تمرینی به مدت ۱۲ هفته روزانه ۲۵ تا ۴۵ دقیقه تمرینات هوازی و مقاومتی را ۳ تا ۵ بار در هفته انجام دادند. اندازه گیری ضربان قلب استراحت و فشار خون با استفاده از دستگاه دیجیتال اندازه گیری فشار خون و شاخص‌های ساختاری و عملکردی قلب از دستگاه اکوکاردیوگرافی دو بعدی داپلر انجام گرفت. آزمون تحلیل واریانس یک طرفه با آزمون تعقیبی توکی و آزمون تی زوجی برای آنالیز داده ها در سطح معنی داری $P \leq 0.05$ استفاده شد. یافته‌ها: آزمون تحلیل واریانس یک طرفه تفاوت‌های معنی دار در فشار خون دیاستولی ($P = 0.017$)، فشارخون سیستولی، حداقل و حداکثر و متوسط ضربان قلب استراحت ($P = 0.001$)، بین گروه‌های مختلف تمرینی و گروه کنترل نشان داد. آزمون T وابسته افزایش معنی دار در PWTS در گروه تمرین هوازی ($P = 0.038$) و PWTD در گروه تمرین مقاومتی ($P = 0.033$) نشان داد. تغییرات در IVSTS، VO_{2max} و IVSTD در هیچکدام یک از گروه‌های تمرینی معنی دار نبود ($P > 0.05$). در فشار خون سیستولی افزایش در گروه کنترل ($P = 0.008$) و کاهش در گروه‌های تمرین مقاومتی ($P = 0.008$) و ترکیبی ($P = 0.001$) و در فشار خون دیاستولی کاهش در گروه تمرین ترکیبی ($P = 0.005$) مشاهده شد. حداقل ضربان قلب استراحت در گروه‌های تمرینات هوازی ($P = 0.046$) و مقاومتی ($P = 0.036$) کاهش معنی داری داشتند. نتیجه گیری: تمرینات ورزشی هوازی و مقاومتی به طور جداگانه بر ساختار قلب تاثیر می گذارند و می توانند ضخامت دیواره پستی بطن چپ را در پایان سیستمول و دیاستول افزایش دهند. بهترین نوع تمرین برای کاهش فشار خون، تمرینات ترکیبی است. در نهایت، تمرینات هوازی در مقایسه با تمرینات مقاومتی و ترکیبی، بیشترین تاثیر را در کاهش ضربان قلب دارد. واژگان کلیدی: دیابت نوع ۲، تمرین مقاومتی، تمرین هوازی، تمرین ترکیبی، ساختار و عملکرد قلب.	الهه پیرعلایی گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. بدرخان رشوان اسماعیل گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. * نویسنده مسئول: الهه پیرعلایی ایمیل: epiralaity@tabrizu.ac.ir https://orcid.org/0000-0002-9201-7170

مقدمه:

دیابت شیرین^۱ (DM) یکی از شایع‌ترین بیماری‌های مزمن در سراسر جهان است که آن را به یک نگرانی مهم برای سلامت عمومی تبدیل می‌کند (۱). پیش‌بینی می‌شد که در سال ۲۰۲۱، (۱۰/۵) درصد از افراد بین ۲۰ تا ۷۹ سال به دیابت مبتلا باشند و این رقم در سال ۲۰۴۵ به (۱۲/۲) درصد افزایش یابد (۲). طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت^۲ (WHO)، دیابت مسئول تقریباً سه میلیون مرگ در سال در سراسر جهان است (۳، ۴). بنابراین، می‌تواند عوارض زیادی به همراه داشته باشد، که شایع‌ترین نوع آن، نوروپاتی محیطی^۳ (PN) است. نوروپاتی محیطی دیابتی، می‌تواند به عوارض قابل‌توجهی دیگری نیز منجر شود (۵). این آسیب‌های بالینی به طور بالقوه با اختلال عملکرد دستگاه عصبی محیطی تظاهر می‌کنند. بیماران مبتلا به PN، اغلب با درجات مختلفی از بی‌حسی، گزگز و یا سوزش در اندام‌ها مراجعه می‌کنند. در حالی که اختلالات متابولیک علت اصلی درد اندام ناشی از آسیب‌شناسی بالینی PN را نشان می‌دهد، اختلالات بالینی دیگر از جمله فقدان حس، کاهش فعالیت، افزایش خطر آمپوتاسیون و زخم‌های فشاری نیز مستلزم انجام اقدامات درمانی است (۶). رویدادهای بیماری قلبی-عروقی^۴ (CVD) در افراد مبتلا به دیابت بین دو تا سه برابر بیشتر از افراد بدون دیابت است (۷). سایر بیماری‌های قلبی-عروقی مرتبط با نوروپاتی دیابت عبارتند از بیماری ایسکمیک قلب، نارسایی قلبی^۵ (HF)، سکته مغزی، بیماری عروق کرونر^۶ (CAD) و بیماری شریان محیطی، و این عوارض می‌تواند منجر به مرگ حداقل ۵۰ درصد از بیماران مبتلا به دیابت شود (۸). نکته مهم این است که مقاومت به انسولین ناشی از بیماری دیابت، با خطر نسبی بالاتر حوادث قلبی-عروقی مرتبط است (۹). علاوه بر این، به طور کلی CVD مرتبط با دیابت، یکی از دلایل اصلی مرگ و میر و ناتوانی در بیماران مبتلا به دیابت است (۸).

تغییرات در سبک زندگی به ویژه تمرینات ورزشی، به عنوان یک استراتژی پیشگیرانه مفید برای پیشگیری و حتی کاهش عوامل خطر مرتبط با کاردیومیوپاتی در بیماران مبتلا به دیابت توصیه شده است. ورزش برای بازیابی عملکرد میوکارد از طریق بهبود VO_{2max} ، عملکرد اندوتلیال، عملکرد سیستمولیک و دیاستولیک بطن چپ و فشار خون پیشنهاد شده است (۱۰). مدت‌هاست که مشخص شده است که فعالیت بدنی می‌تواند وقوع حوادث قلبی، از جمله حملات قلبی و سکته مغزی و نیاز به مداخله عروق کرونر را کاهش دهد (۴). ورزش باعث سازگاری با خود قلب و همچنین سیستم قلبی عروقی می‌شود. این سازگاری‌ها شامل محافظت در برابر آسیب ایسکمیک، افزایش رشد قلبی و تعدیل متابولیسم قلب، عملکرد و عرضه عروقی است (۱۱). آپوپتوز میوکارد، فیبروز میوکارد و اختلالات همودینامیک ناشی از گلوکز بالا را می‌توان با تمرینات بدنی بهبود یا حتی معکوس کرد. مطالعات نشان داده‌اند که ورزش می‌تواند متابولیسم میوکارد را بهبود بخشد، گلوکز خون را کاهش دهد، حساسیت به انسولین را افزایش دهد، فیبروز میوکارد را مهار کند، استرس اکسیداتیو را بهبود بخشد و خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی را با بهبود فیبروز میوکارد، مهار آپوپتوز، و بهبود اختلالات میکروواسکولار را کاهش دهد. در نهایت، می‌تواند عملکرد قلب را بهبود بخشد و مرگ و میر کاردیومیوپاتی متسع^۷ (DCM) را کاهش دهد (۱۲، ۱۳). از جمله مزایای قلبی عروقی ورزش، مشاهده کاهش فشار خون، برادی کاردی در حالت استراحت و کارایی بیشتر سیستم قلبی عروقی است. همچنین عوامل محافظت‌کننده قلبی با تمرینات ورزشی مانند کاهش روند التهابی، تنظیم مولکولی و همچنین کنترل هیپرتروفی پاتولوژیک قلب می‌تواند باعث کاهش شدت

¹ Diabetes mellitus² World Health Organization³ Peripheral neuropathy⁴ cardiovascular disease⁵ Heart failure⁶ Coronary artery disease⁷ Dilated cardiomyopathy

انفارکتوس میوکارد از طریق مکانیسم‌های مختلف شود (۱۴).

یکی از شیوه‌های تمرینی که در این زمینه مورد بررسی قرار گرفته، تمرینات مقاومتی و هوازی و ترکیبی می‌باشد. تمرینات مقاومتی می‌تواند یک استراتژی درمانی هنگام ترکیب با تمرینات هوازی به عنوان یک استراتژی برای پیشگیری و درمان فشار خون شریانی در کاهش خطر بیماری‌های قلبی عروقی در نظر گرفته شود. مطالعات کنونی نشان می‌دهد که کاهش فشار خون توسط تمرینات هوازی مستقیماً با شدت ارتباط دارد، بنابراین فعالیت شدیدتر ممکن است منجر به کاهش قابل توجه فشار خون شود (۱۵). ورزش با شدت متوسط و طولانی مدت باعث کاهش سفتی شریان، کاهش فشار خون و افزایش کارایی قلبی می‌شود. به طور مشابه، تمرینات مقاومتی نیز در کاهش فشار خون و همچنین بهبود عملکرد قلبی عروقی مفید است (۱۶). مطالعات قبلی نشان داده‌اند که ورزش هوازی باعث سازگاری ساختاری و عملکردی در سیستم قلبی عروقی می‌شود (۱۷). بنابراین، قلب دارای سازگاری مورفولوژیکی ضروری است که با افزایش حفره بطنی مشخص می‌شود، که برای تامین عالی تر اکسیژن و مواد مغذی ضروری است. سیستم عروقی تغییرات قابل توجهی را به دنبال تمرینات ورزشی نشان می‌دهد. مانند افزایش تراکم عروقی به دلیل تشکیل مویرگ‌های خونی جدید را نشان می‌دهد که با ظرفیت گشادکننده عروقی بالاتر همراه است (۱۸). یک مطالعه به بررسی تأثیر تمرینات ورزشی روی عملکرد دیاستولی بطن چپ در بیماران عروق کرونری پرداخته است و یافته‌های پژوهش حاکی از بهبود عملکرد دیاستولی بدون تغییر در عملکرد سیستولی می‌باشد، که با بهبود ظرفیت تمرین ارتباط معنی دار داشته است (۱۹). چاولز^۱ و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر تمرینات ورزشی را بر عملکرد قلبی و ظرفیت عملکردی بیماران مبتلا به نقص عملکرد سیستولی و دیاستولی بررسی کردند و بهبود عملکرد سیستولی، حجم پایان دیاستولی، حجم پایان سیستولی و حجم ضربه‌ای را گزارش کردند (۲۰). نتایج برخی تحقیقات نیز نشان داده است که تمرینات ورزشی به کاهش ضربان قلب استراحتی، افزایش ابعاد حجم پایان دیاستولی، افزایش حداکثر حجم ضربه‌ای و بهبود عملکرد بطنی و عملکرد انقباضی منجر می‌شود (۲۱). هو^۲ و همکاران همچنین نشان داد که سطح متوسط یا زیاد فعالیت بدنی با کاهش خطر مرگ و میر کلی و قلبی عروقی در بیماران مبتلا به دیابت مرتبط است. که بدون در نظر گرفتن سطوح شاخص توده بدنی، فشار خون، کلسترول تام و استعمال دخانیات بود (۲۲). کارجالاین^۳ و همکاران (۲۰۱۵) دریافتند که ارتباط معکوس بین فعالیت بدنی اوقات فراغت و پیامد کوتاه مدت CVD وجود دارد. با این حال، تمرینات ورزشی کنترل شده و مبتنی بر خانه اثرات جزئی بر روی نمایه خطر CVD در بیماران CAD مبتلا به دیابت داشت. این یافته‌ها اهمیت فعالیت بدنی مادام العمر را به جای یک برنامه ورزشی کوتاه مدت در پیشگیری از پیامدهای نامطلوب آینده در بیماران مبتلا به CAD برجسته می‌کند (۲۳).

بهبود تناسب اندام قلبی تنفسی و عملکرد عروق از طریق ورزش هوازی برای پیشگیری و بهبود CVD در بیماران مبتلا به دیابت مهم است، ورزش با شدت شدید حداقل ۱۵۰ دقیقه در هفته از جمله ورزش‌های هوازی مانند پیاده‌روی، شنا و دویدن به نظر می‌رسد اثرات مفیدی بر اختلال عملکرد عروقی به دلیل فیبروز، سفتی شریانی و اختلال عملکرد اندوتلیال ناشی از مشکلات دیابتی دارند. در نتیجه حتی می‌تواند از CVD ثانویه نیز جلوگیری کند (۲۴). اما به منظور حفظ عملکرد هوازی و کنترل قند خون، ممکن است به یک روش ورزشی که قدرت عضلانی کل بدن را بهبود می‌بخشد، نیز نیاز باشد. ورزش مقاومتی به اندازه ورزش هوازی برای مدیریت CVD و عوارض دیابت موثر است، که توسط چندین متاآنالیز و مرورهای سیستماتیک تایید شده است. ورزش مقاومتی ممکن است تأثیر مستقیمی بر سیستم قلبی عروقی نداشته باشد، اما می‌تواند از طریق بهبود متابولیسم گلوکز در عضله اسکلتی، عوارض میکروواسکولار ناشی از هیپرگلیسمی را کاهش دهد. علاوه بر این، ورزش مقاومتی تأثیر مثبتی

¹ Chaveles

² Hu

³ Karjalainen

بر پیامدهای قلبی متابولیک مانند حساسیت به انسولین، پروفایل چربی خون و فشار خون در بیماران دیابتی دو دارد (۱۳، ۲۵، ۲۶) و ابزار مفیدی برای حفظ عملکرد عروقی است (۲۷).

از آنجایی که تمرینات ورزشی به عنوان سنگ بنای مدیریت دیابت و عوارض قلبی در نظر گرفته می‌شود که دارای قدرت کاهش خطرات CVD در بیماران مبتلا به دیابت است، آزمایش‌های بالینی و مطالعات پیش بالینی بیشتری برای اطمینان از حداکثر راندمان ورزشی مورد نیاز است (۲۸). مطالعه حاضر به منظور مقایسه سه نوع تمرین هوازی، مقاومتی و ترکیبی بر ساختار و عملکرد قلب بیماران دیابتی مبتلا به نوروپاتی محیطی طراحی شده است.

روش تحقیق:

این مطالعه یک کارآزمایی بالینی نیمه تجربی پیش‌آزمون با پس‌آزمون بود. جامعه آماری پژوهش حاضر را مردان دیابتی نوع دو مراجعه‌کننده به مرکز آموزشی درمانی سینا شهر تبریز با محدوده سنی ۳۵ تا ۶۷ سال تشکیل دادند. در ابتدا طی فراخوانی، ۴۱۹ بیمار دیابتی، داوطلب شرکت در پژوهش حاضر شدند. روش تصادفی‌سازی بلوکی با استفاده از اندازه بلوک‌های چهار و هشت برای تخصیص شرکت‌کنندگان به گروه‌های مورد مطالعه استفاده شد. فردی که عضو تیم تحقیقاتی نبود، توالی تخصیص را با استفاده از نرم‌افزار تخصیص تصادفی ایجاد کرد. تخصیص‌ها با استفاده از پاکت‌های مهر و موم شده مات یکسان پنهان و به ترتیب شماره‌گذاری شدند. محققان و بیماران پس از تکمیل ثبت نام از تخصیص‌ها آگاه شدند. ارزیابی پیامد و تحلیل‌گر داده تا پایان مطالعه نسبت به تخصیص کور ماندند. پس از بررسی پرونده پزشکی بیماران، تعداد ۹۱ بیمار به عنوان آزمودنی‌های اولیه وارد پژوهش شدند.

شرایط اولیه ورود به تحقیق شامل سابقه دیابت بیش از ۳ سال، عدم ابتلا به بیماری قلبی و عروقی، ریبوی، اسکلتی و عضلانی و سرطان، عدم فعالیت ورزشی روزانه، عدم منع پزشکی از ورزش و هموگلوبین گلیکوزیله (HbA1c) بین ۶/۶ تا ۱۲ درصد بیماران محرز شد، بعد از مشخص شدن ابتلای بیماران به عارضه نوروپاتی محیطی (۶۸ نفر)، آزمودنی‌ها از لحاظ سلامتی قلبی به وسیله تست ورزش مورد ارزیابی قرار گرفته و افرادی که دارای هر نوع عارضه قلبی بودند (بیماری کرونر قلبی، آریتمی و نارسایی قلبی حاد) از تحقیق حذف شدند (۱۴ نفر)، که نهایتاً ۵۴ مرد دیابتی مبتلا به نوروپاتی محیطی که از نظر تست ورزش سالم بودند و امکان شرکت در فعالیت ورزشی را داشتند، به عنوان آزمودنی‌های نهایی انتخاب شدند. معیارهای خروج از تحقیق، عدم توانایی از اجرای تمرینات، عدم پیروی از برنامه‌های ورزشی ارائه شده در گروه تجربی و حضور نامنظم در تمرینات بود. این تحقیق از کمیته تحقیقات انسانی دانشگاه علوم پزشکی دارای تاییدیه اخلاقی (IR.TBZMED.REC.1395.754) بوده و فرم رضایت‌نامه کتبی و فرم آمادگی شرکت داوطلبانه از کلیه بیماران دریافت شد. سپس آزمودنی‌ها به طور تصادفی به چهار گروه: ۱) گروه تمرین هوازی ($n=13$)، ۲) گروه تمرین مقاومتی ($n=13$)، ۳) گروه تمرین هوازی+مقاومتی ($n=13$) و ۴) گروه کنترل ($n=15$) تقسیم شدند. در نهایت آنالیز داده‌ها با ۹ نفر افت آزمودنی صورت پذیرفت.

قبل از شروع پروتکل اصلی تحقیق، به منظور آشنایی با تمرینات، آزمودنی‌ها دو هفته تمرین هوازی با شدت ۶۰ درصد ضربان قلب ذخیره را ۳ جلسه در هفته به مدت ۱۵ تا ۲۰ دقیقه انجام دادند. سپس دوره اصلی تمرینات شامل ۳ جلسه تمرین در هفته و به مدت ۱۲ هفته آغاز شد. ابتدا آزمودنی‌ها طی دو جلسه حضور در آزمایشگاه از لحاظ عوامل آنتروپومتریک (قد، وزن، شاخص توده بدن و درصد چربی) مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری قد از دستگاه قدسنج سکا مدل ۷۶۹ آلمان با تقریب یک میلی‌متر، وزن بدن آزمودنی‌ها با کاموشیتا (Kamoshita) با تقریب ۰/۱ کیلوگرم و برای اندازه‌گیری ترکیب بدن از دستگاه Inbody 230 استفاده شد.

تمرین هوازی شامل ۳ جلسه تمرین در هفته و به مدت ۱۲ هفته بود. برنامه شامل ۱۵ دقیقه حرکات کششی و فعالیت سبک برای گرم کردن، فعالیت اصلی (دویدن روی تردمیل) با شدت ۷۰ تا ۷۵ درصد ضربان قلب بیشینه به مدت ۲۵ تا ۴۵ دقیقه و ۱۰ دقیقه حرکات کششی برای سرد کردن بود. شدت تمرینات با استفاده از دستگاه ضربان سنج پلار ساخت فنلاند تنظیم شد. برای تمرین قدرتی از حرکات پویا شامل دو ست از عضلات اصلی بالا تنه (پرس سینه، پرس شانه، قایقی و زیربغل از جلو)، سه ست از عضلات اصلی پایین تنه (پرس پا، جلو پا و پشت پا) و دو ست از عضلات تنه (شکم و فیله) با ۸ تا ۱۲ تکرار، سه جلسه در هفته همراه با گرم کردن و سرد کردن و استراحت دو تا سه دقیقه‌ای بین ست‌ها استفاده شد. تمرین قدرتی نیز در ابتدا با ۱۲ تکرار انجام شد و با گذشت هفته‌های تمرینی تعداد تکرارها کم شد. هر جلسه تمرین با ۱۵ دقیقه فعالیت سبک و حرکات کششی برای گرم کردن شروع شد. در انتهای جلسه تمرینی نیز ۱۰ دقیقه حرکات کششی برای سرد کردن اجرا شد. تمرین ترکیبی شامل تمرینات هوازی و تمرینات قدرتی بود. تمرینات هوازی شامل ۳ جلسه تمرین در هفته و به مدت ۱۲ هفته با شدت ۷۰ تا ۷۵ درصد ضربان قلب بیشینه به مدت ۲۵ تا ۴۵ دقیقه بود. در ابتدای تمرینات، شدت تمرین ۷۰ درصد ضربان قلب و مدت آن نیز ۲۵ دقیقه بود که با گذشت هفته‌های تمرینی هم شدت و هم مدت زمان تمرین افزوده شد. برای تمرینات قدرتی از حرکات پویا شامل یک ست از عضلات اصلی بالا تنه (پرس سینه، پرس شانه، قایقی و زیربغل از جلو)، یک ست از عضلات اصلی پایین تنه (پرس پا، جلو پا و پشت پا) و یک ست از عضلات تنه (شکم و فیله) با ۸ تا ۱۲ تکرار، دو جلسه در هفته به همراه استراحت دو تا سه دقیقه‌ای بین ست‌ها استفاده شد. تمرین قدرتی نیز در ابتدا با ۱۲ تکرار انجام شد و با گذشت هفته‌های تمرینی تعداد تکرارها کم شد. هر جلسه تمرین با ۱۵ دقیقه فعالیت سبک و حرکات کششی برای گرم کردن شروع شد. در انتهای جلسه تمرینی نیز ۱۰ دقیقه حرکات کششی برای سرد کردن اجرا شد. از آزمودنی‌های گروه کنترل خواسته شد تا سطح فعالیت روزانه خود را همانند سطوح فعالیت قبل از مطالعه حفظ کنند (۲۹، ۳۰).



شکل ۱. پروتکل مطالعه

جدول ۱. تمرینات اجرا شده برای گروه‌های مطالعه

هفته	تمرینات هوازی			تمرینات مقاومتی			تمرینات ترکیبی							
	مدت دقیقه/روز	شدت	تکرار	تعداد ست	تکرار	حداکثر وزنه	جلسات در هفته	تمرینات هوازی	تمرینات مقاومتی	تکرار	تعداد ست	شدت	مدت دقیقه/روز	
فاز آشنایی با تمرینات														
۲-۱	۲۰-۱۵	۶۰	۳	۲-۱	۱۵	۱۵	۳	۲۰-۱۵	۶۰	۳	۲-۱	۱۵	۱۵	۲
فاز تمرینات														
۴-۳	۲۵	۷۰	۳	۳-۲	۱۲	۱۲	۳	۲۵	۷۰	۳	۱	۱۲	۱۲	۲
۶-۵	۳۰	۷۰	۳	۳-۲	۱۲	۱۲	۳	۳۰	۷۰	۳	۱	۱۲	۱۲	۲
۸-۷	۳۵	۷۰	۳	۳-۲	۱۲	۱۲	۳	۳۵	۷۰	۳	۱	۱۲	۱۲	۲
۱۰-۹	۴۰	۷۰	۳	۳-۲	۱۰	۱۰	۳	۴۰	۷۰	۳	۱	۱۰	۱۰	۲
۱۲-۱۱	۴۵	۷۰	۳	۳-۲	۸	۸	۳	۴۵	۷۰	۳	۱	۸	۸	۲
۱۴-۱۳	۴۰	۷۰	۳	۳-۲	۸	۸	۳	۴۰	۷۰	۳	۱	۸	۸	۲

اندازه‌گیری ضربان قلب استراحت و فشار خون

ضربان قلب استراحت آزمودنی‌ها پس از ۲۰ دقیقه استراحت در حالت نشسته با استفاده از ضربان سنج دیجیتالی (مدل Polar سوئد) اندازه‌گیری گردید. فشار خون سیستمی و دیاستولی از بازوی راست و با استفاده از دستگاه دیجیتال اندازه‌گیری فشار خون (مدل Omron کره) پس از ۲۵ دقیقه استراحت در حالت نشسته اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری فشار خون سه بار و با فاصله ۵ دقیقه انجام شد و میانگین سه بار اندازه‌گیری به عنوان اندازه نهایی در نظر گرفته شد.

اکوکاردیوگرافی

اکوکاردیوگرام ۴۸ ساعت قبل از شروع پروتکل تمرین ورزشی و همچنین ۴۸ ساعت پس از پایان پروتکل تمرین ورزشی جهت اندازه‌گیری شاخص‌های ساختاری و عملکردی قلب، توسط متخصص قلب و عروق و با استفاده از دستگاه اکوکاردیوگرافی دو بعدی داپلر (Esaote Biomedica ساخت کشور ایتالیا) در اتاق مخصوص اکوکاردیوگرافی انجام گرفت.

ملاحظات اخلاقی

این تحقیق از کمیته تحقیقات انسانی دانشگاه علوم پزشکی دارای تاییدیه اخلاقی (IR.TBZMED.REC.1395.754) بوده و فرم رضایت‌نامه کتبی و فرم آمادگی شرکت داوطلبانه از کلیه بیماران دریافت شد.

روش آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها

بعد از جمع‌آوری داده‌های حاصل از پژوهش، از آمار توصیفی (میانگین و انحراف استاندارد) برای توصیف داده‌ها استفاده شد. برای بررسی توزیع طبیعی داده‌ها از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف (K-S) برای مقایسه‌های درون گروهی از آزمون T وابسته، و برای مقایسه‌های بین گروهی از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA)، و برای بررسی محل تفاوت‌های زوجی از آزمون تعقیبی توکی در سطح معنی‌داری $P < 0.05$ و با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۷ صورت گرفت.

یافته‌ها:

جدول ۲ مشخصات آنترپومتریکی، دموگرافیک و هماتولوژی و بیوشیمی خون آزمودنی‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مشخصات آنترپومتریکی، دموگرافیک و هماتولوژی و بیوشیمی خون آزمودنی‌ها

متغیرها	گروه تمرین هوازی		گروه تمرین مقاومتی		گروه تمرین ترکیبی		گروه کنترل
	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پس‌آزمون
سن (سال)	۵۷/۵۴ ± ۵/۴۳	-	۵۸/۶۴ ± ۵/۸۴	-	۵۱/۸۲ ± ۹/۳۷	-	۵۳/۱۷ ± ۹/۶۳
قد (سانتی‌متر)	۱۷۴/۵ ± ۶/۴۰	-	۱۷۲/۵۰ ± ۶/۲۰	-	۱۷۰/۵۱ ± ۸/۴۸	-	۱۷۰/۳۸ ± ۶/۹۰
وزن (کیلوگرم)	۹۱/۷۵ ± ۱۳/۸۹	۸۹/۱۲ ± ۶۹/۸۰*	۸۵/۸۸ ± ۸۶/۶۰	۸۴/۶۰ ± ۸۸/۰۹	۸۸/۷۶ ± ۱۴/۳۱	۸۷/۰۳ ± ۱۳/۹۱	۹۱/۵۴ ± ۱۷/۲
درصد چربی	۳۳/۴۸ ± ۴/۲۶	۳۶/۲۵ ± ۶/۳۳*	۳۲/۴۶ ± ۳/۸۱	۳۵/۹۸ ± ۸/۱۰*	۳۳/۶۹ ± ۵/۶۸	۳۰/۰۱ ± ۵/۹۸*	۳۰/۳۰ ± ۶/۶۷
شاخص توده بدنی	۳۰/۳۹ ± ۳/۳۶	۲۹/۴۵ ± ۳/۲۱*	۲۸/۷۹ ± ۲/۵۹	۲۸/۴۲ ± ۲/۵۰	۳۰/۳۶ ± ۳/۰۲	۲/۸۱ ± ۲/۵۶	۳۱/۲۹ ± ۵/۳۲
نسبت دور کمر به دور باسن	۰/۹۶ ± ۰/۰۳	۰/۹۴ ± ۰/۰۴*	۰/۹۵ ± ۰/۰۳	۰/۹۵ ± ۰/۰۳	۰/۹۵ ± ۰/۰۲	۰/۹۳ ± ۰/۰۲*	۰/۹۴ ± ۰/۰۳
گلوکز خون ناشتا (میلی گرم بر دسی لیتر)	۱۴۲/۶ ± ۳۹/۴۸	۱۴۸ ± ۴۰/۷۶	۱۲۹/۳۶ ± ۳۷/۴	۱۲۱/۹۱ ± ۳۱/۵	۱۵۵/۷ ± ۹۴/۱۸	۱۵۵/۷ ± ۶۴/۳۸	۱۴۹/۷۵ ± ۶/۱۵
گلوکز خون دوساعتی (OGTT) (میلی گرم بر دسی لیتر)	۳۹۲/۶ ± ۷۲/۴۷	۳۷۴/۷۳ ± ۹۲/۷	۳۰۹/۷۳ ± ۶۷/۱	۲۹۱/۶۴ ± ۴۱/۲	۳۳۲ ± ۱۰۶/۹۳	۳۱۱/۶ ± ۶۸/۴۴	۲۸۳/۵۰ ± ۹۲/۲
HbA1C (درصد)	۷/۱۲ ± ۱/۱۷	۶/۲۹ ± ۰/۷۹*	۶/۹۵ ± ۰/۷۷	۶/۳۳ ± ۰/۵۹*	۷/۱۵ ± ۱/۱۱	۶/۸۴ ± ۰/۹۶	۷/۲۶ ± ۱/۰۱
کلسترول (میلی گرم بر دسی لیتر)	۱۳۶/۲ ± ۴۱/۸۵	۱۵۴/۹۱ ± ۵۲/۲	۱۶۶/۳۶ ± ۳۹/۵	۱۶۲/۶۴ ± ۲۵/۳	۱۳۸/۸ ± ۲۸/۲۷	۱۳۹/۹ ± ۲۵/۳۲	۱۳۷/۲۳ ± ۳۴/۱
تری گلیسرید (میلی گرم بر دسی لیتر)	۱۷۰/۶ ± ۸۱/۵۶	۲۱۰/۶ ± ۱۲۵/۲	۱۳۱/۷۳ ± ۷۳/۹	۱۳۲/۱۸ ± ۴۷/۳	۱۲۷/۵ ± ۵۰/۷۷	۱۳۰/۹ ± ۵۵/۹۸	۳۰۵/۴۲ ± ۱۸۵/۰
LDL (میلی گرم بر دسی لیتر)	۶۹/۵۴ ± ۳۹	۷۵/۸۷ ± ۳۷/۰	۹۶/۵۳ ± ۳۲/۴۰	۸۳/۰۹ ± ۱۵/۶۲*	۷۸/۰۹ ± ۱۶/۵۴	۷۱/۹۱ ± ۱۹/۰۸	۷۶/۲۷ ± ۳۳/۱۹
HDL (میلی گرم بر دسی لیتر)	۳۸/۳۶ ± ۶/۶۸	۳۸/۱۸ ± ۵/۶۹	۴۶/۸۲ ± ۱۱/۵	۴۳/۳۶ ± ۷/۹۸	۳۶/۴۵ ± ۷/۱۰	۳۶/۷۳ ± ۸/۷۳	۳۳/۸۳ ± ۹/۷۹

*معناداری تغییرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون $P < ۰/۰۵$ مقادیر بصورت انحراف استاندارد $\pm$ میانگین می‌باشند.

تحلیل واریانس یک‌طرفه تفاوت‌های غیر معنی‌داری را در IVSTS ($P = ۰/۶۵۹$)، IVSTD ($P = ۰/۹۹۰$)، PWTS ($P = ۰/۶۶۲$)، PWTD ($P = ۰/۱۰۶$)، VO2max ($P = ۰/۱۴۸$) و تفاوت‌های معنی‌دار در فشارخون دیاستولی ($P = ۰/۰۱۷$)، فشارخون سیستولی، حداقل ضربان قلب استراحت، حداکثر ضربان قلب استراحت و متوسط ضربان قلب استراحت ($P = ۰/۰۰۱$) بین گروه‌های مختلف تمرینی و گروه کنترل نشان داد.

آزمون T وابسته افزایش معنی‌داری در PWTS در گروه تمرین هوازی ($P = ۰/۰۳۸$)، PWTD در گروه تمرین مقاومتی ($P = ۰/۰۳۳$)، IVSTD، IVSTS و VO2max در هیچ‌کدام یک از گروه‌های تمرینی معنی‌دار نبود ($P > ۰/۰۵$). در فشار خون سیستولی افزایش در گروه کنترل ($P = ۰/۰۰۸$) و کاهش در گروه‌های تمرین مقاومتی ($P = ۰/۰۰۸$)، ترکیبی ($P = ۰/۰۰۱$)، فشار خون دیاستولی در گروه تمرین ترکیبی ($P = ۰/۰۰۵$)، حداقل ضربان قلب استراحت در گروه‌های تمرینات هوازی ($P = ۰/۰۴۶$) و مقاومتی ($P = ۰/۰۳۶$)، حداکثر ضربان قلب استراحت در گروه کنترل ($P = ۰/۰۰۱$) و متوسط ضربان قلب استراحت در گروه تمرین هوازی ($P = ۰/۰۱۲$)، تفاوت معنی‌داری داشتند. در سایر موارد تفاوت بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون معنی‌دار نبود ($P > ۰/۰۵$).

جدول ۳. نتایج آزمون‌های تحلیل واریانس یک‌طرفه و تی وابسته در متغیرهای ساختار و عملکرد قلبی گروه‌های مورد مطالعه

متغیر	انحراف استاندارد $\pm$ میانگین		تحلیل واریانس	t وابسته		درصد تغییرات	T	df	Sig
	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	F	اندازه اثر	Sig				
ضخامت سپتوم بین بطنی سیستولیک (IVSTS) (میلی‌متر)									
تمرین هوازی	۱۴/۷۳ ± ۲/۴۹	۱۴/۶۴ ± ۳/۴۴	۰/۵۳۸	۰/۶۵۹	۰/۰۳	۰/۶۲	-۰/۰۸	۱۱	۰/۹۳۷
تمرین مقاومتی	۱۵/۹۱ ± ۲/۳۰	۱۵ ± ۲/۶۴			۰/۳۷	۶/۰۷	-۱/۰۶	۱۱	۰/۳۱۴
تمرین ترکیبی	۱۶/۳۶ ± ۳/۵۶	۱۵/۰۹ ± ۲/۲۶			۰/۴۲	۸/۴۲	-۱/۱۴	۱۱	۰/۲۷۹
کنترل	۱۴/۰۸ ± ۲/۱۹	۱۴/۲۵ ± ۱/۸۲			-۰/۰۸	-۱/۱۹	۰/۳۰	۱۲	۰/۷۶۷

ضخامت سپتوم بین بطنی دیاستولیک (IVSTD) (میلی‌متر)									
تمرین هوازی	۱۱/۹۷ ± ۱/۴۵	۱۱/۵۴ ± ۱/۵۱	۰/۳۸ ± ۰/۹۹۰	۰/۵ ± ۰/۷۹	۰/۱۸ ± ۰/۸۶۳	۱۱	۰/۸۶۳		
تمرین مقاومتی	۱۱/۶۴ ± ۱/۶۳	۱۱/۷۳ ± ۱/۱۹		۰/۰۶ ± ۰/۷۷	۰/۱۷۱ ± ۰/۸۶۷	۱۱	۰/۸۶۷		
تمرین ترکیبی	۱۱/۴۵ ± ۲/۱۱	۱۱/۵۴ ± ۱/۸۶		۰/۰۴ ± ۰/۷۹	۰/۲۳ ± ۰/۸۲۱	۱۱	۰/۸۲۱		
کنترل	۱۱ ± ۱/۴۱	۱۰/۹۲ ± ۱/۵۶		۰/۰۵ ± ۰/۷۳	۰/۲۲ ± ۰/۸۳۰	۱۲	۰/۸۳۰		
ضخامت دیواره پشتی بطن چپ در پایان سیستول (PWTS) (میلی‌متر)									
تمرین هوازی	۱۴/۲۷ ± ۲/۲۴	۱۵/۳۶ ± ۱/۸۰	۰/۵۳۳ ± ۰/۶۶۲	۰/۵۳ ± ۷/۶۴	۰/۳۹ ± ۰/۸۷۸	۱۱	۰/۸۷۸		
تمرین مقاومتی	۱۵/۵۴ ± ۱/۷۵	۱۵/۶۴ ± ۱/۸۰		۰/۰۶ ± ۰/۶۴	۰/۱۶ ± ۰/۸۷۸	۱۱	۰/۸۷۸		
تمرین ترکیبی	۱۵/۳۶ ± ۱/۵۷	۱۵/۹۱ ± ۲/۵۵		۰/۲۶ ± ۳/۵۸	۰/۵۵ ± ۰/۸۹۵	۱۱	۰/۸۹۵		
کنترل	۱۴/۶۷ ± ۱/۸۲	۱۴/۵۸ ± ۲/۶۴		۰/۰۴ ± ۰/۶۱	۰/۱۱ ± ۰/۹۱۲	۱۲	۰/۹۱۲		
ضخامت دیواره پشتی بطن چپ در پایان دیاستول (PWTD) (میلی‌متر)									
تمرین هوازی	۱۰/۷۳ ± ۲/۳۷	۱۰/۸۲ ± ۲/۲۳	۲/۱۷ ± ۰/۱۰۶	۰/۰۴ ± ۰/۸۴	۰/۱۵ ± ۰/۸۸۲	۱۱	۰/۸۸۲		
تمرین مقاومتی	۱۰/۰۹ ± ۱/۷۶	۱۱/۷۳ ± ۱/۱۹		۱/۰۹ ± ۱۶/۲۵	۰/۳۳ ± ۰/۸۷۸	۱۱	۰/۸۷۸		
تمرین ترکیبی	۱۰/۶۴ ± ۱/۸۰	۱۱/۱۸ ± ۱/۷۲		۰/۳۱ ± ۵/۰۷	۰/۵۰ ± ۰/۸۷۸	۱۱	۰/۸۷۸		
کنترل	۱۱/۲۵ ± ۱/۴۲	۱۰/۷۵ ± ۱/۹۶		۰/۲۹ ± ۴/۴۴	۰/۲۳ ± ۰/۸۲۶	۱۲	۰/۸۲۶		
حداکثر اکسیژن مصرفی (VO2max) (میلی‌لیتر بر کیلوگرم بر دقیقه)									
تمرین هوازی	۲۷/۹۱ ± ۶/۰۹	۲۸/۹۱ ± ۵/۰۱	۲/۰۵ ± ۰/۱۴۸	۰/۲۳ ± ۱/۰۰	۰/۷۵ ± ۰/۴۷۲	۱۱	۰/۴۷۲		
تمرین مقاومتی	۳۰/۴۵ ± ۷/۲۲	۲۹/۸۲ ± ۵/۷۲		۰/۱۴ ± ۰/۶۳	۰/۴۷ ± ۰/۶۴۸	۱۱	۰/۶۴۸		
تمرین ترکیبی	۲۹/۹۱ ± ۴/۸۳	۳۰/۸۲ ± ۴/۱۷		۰/۲۱ ± ۰/۹۱	۰/۶۸ ± ۰/۵۱۲	۱۱	۰/۵۱۲		
کنترل									
فشار خون سیستولی (میلی‌متر جیوه)									
تمرین هوازی	۱۲۴/۹۱ ± ۱۲/۱	۱۱۸/۹۱ ± ۸/۷۳	۱۲/۹۶ ± ۰/۰۰۱	۰/۵۴ ± ۶/۰۰	۱/۸۱ ± ۰/۰۹۹	۱۱	۰/۰۹۹		
تمرین مقاومتی	۱۲۴/۹۱ ± ۹/۶۱	۱۱۴/۳۶ ± ۱۱/۲		۰/۹۹ ± ۱۰/۵۴	۳/۳۰ ± ۰/۰۰۸	۱۱	۰/۰۰۸		
تمرین ترکیبی	۱۲۶/۹۱ ± ۱۱/۹	۱۱۶/۹۱ ± ۷/۶۱		۱/۵۲ ± ۱۰/۰۰	۵/۰۴ ± ۰/۰۰۱	۱۱	۰/۰۰۱		
کنترل	۱۱۹ ± ۶/۸۳	۱۳۴/۸۲ ± ۱۴/۰ # @ ۵		۰/۹۱ ± ۱۵/۸۲	۳/۲۸ ± ۰/۰۰۸	۱۲	۰/۰۰۸		
فشار خون دیاستولی (میلی‌متر جیوه)									
تمرین هوازی	۷۱/۶۴ ± ۷/۸۹	۶۹/۸۲ ± ۷/۷۲	۳/۸۴ ± ۰/۰۱۷	۰/۱۵ ± ۱/۸۱	۰/۵۲ ± ۰/۶۱۳	۱۱	۰/۶۱۳		
تمرین مقاومتی	۷۲/۲۷ ± ۵/۷۶	۶۷/۲۷ ± ۱۱/۳۹		۰/۴۵ ± ۵/۰۰	۱/۵۰ ± ۰/۱۶۴	۱۱	۰/۱۶۴		
تمرین ترکیبی	۷۶/۷۲ ± ۷/۶۰	۶۷/۹۱ ± ۹/۲۱		۱/۰۸ ± ۸/۸۱	۳/۶۰ ± ۰/۰۰۵	۱۱	۰/۰۰۵		
کنترل	۷۱/۳۶ ± ۵/۷۶	۷۵/۹۰ ± ۸/۸۶ #		۰/۶۷ ± ۴/۵۴	۲/۲۲ ± ۰/۰۵۰	۱۲	۰/۰۵۰		
حداقل ضربان قلب استراحت (تعداد در دقیقه)									
تمرین هوازی	۵۹/۳۶ ± ۷/۹۵	۵۶/۲۷ ± ۶/۹۶	۲۴/۸۲ ± ۰/۰۰۱	۰/۷۳ ± ۳/۰۹	۲/۳۱ ± ۰/۰۴۶	۱۱	۰/۰۴۶		
تمرین مقاومتی	۶۲/۶۴ ± ۵/۹۷	۵۹/۳۶ ± ۵/۷۱ ۵		۰/۷۷ ± ۳/۲۸	۲/۴۶ ± ۰/۰۳۶	۱۱	۰/۰۳۶		
تمرین ترکیبی	۶۲/۸۲ ± ۱۰/۹۹	۶۰/۱۸ ± ۱۱/۷۱ ۵		۰/۶۲ ± ۲/۶۲	۱/۹۸ ± ۰/۰۷۹	۱۱	۰/۰۷۹		
کنترل	۶۳/۵۰ ± ۶/۶۴	۶۴/۳۳ ± ۸/۹۰ ۵ @ #		۰/۱۹ ± ۰/۸۳	۰/۶۲ ± ۰/۵۴۹	۱۲	۰/۵۴۹		
حداکثر ضربان قلب استراحت (تعداد در دقیقه)									
تمرین هوازی	۷۷/۰۹ ± ۹/۱۹	۷۴/۸۲ ± ۸/۵۷	۲۷/۶۲ ± ۰/۰۰۱	۰/۵۳ ± ۲/۲۷	۱/۷۰ ± ۰/۱۲۳	۱۱	۰/۱۲۳		
تمرین مقاومتی	۸۰ ± ۷/۲۵	۷۸/۱۸ ± ۸/۴۲ ۵		۰/۴۳ ± ۱/۸۲	۱/۳۶ ± ۰/۲۰۵	۱۱	۰/۲۰۵		
تمرین ترکیبی	۸۳/۳۶ ± ۱۴/۵۴	۸۱/۰۹ ± ۱۵/۵۴ @		۰/۵۳ ± ۲/۲۷	۱/۷۰ ± ۰/۱۲۳	۱۱	۰/۱۲۳		
کنترل	۸۰/۱۷ ± ۹/۱۰	۷۳/۲۵ ± ۲۱/۷۸ @ #		۱/۶۴ ± ۶/۹۲	۵/۱۹ ± ۰/۰۰۱	۱۲	۰/۰۰۱		
متوسط ضربان قلب استراحت (تعداد در دقیقه)									
تمرین هوازی	۶۷/۴۵ ± ۷/۸۰	۶۳/۲۷ ± ۶/۹۶	۲۹/۶۶ ± ۰/۰۰۱	۰/۹۹ ± ۴/۱۸	۳/۱۳ ± ۰/۰۱۲	۱۱	۰/۰۱۲		
تمرین مقاومتی	۶۹/۴۵ ± ۵/۶۳	۶۶/۶۴ ± ۶/۴۲ ۵		۰/۶۶ ± ۲/۸۱	۲/۱۰ ± ۰/۰۶۴	۱۱	۰/۰۶۴		
تمرین ترکیبی	۷۳/۱۸ ± ۱۳/۰۸	۶۹/۴۵ ± ۱۳/۵۱ @		۰/۶۴ ± ۲/۷۳	۲/۰۴ ± ۰/۰۷۱	۱۱	۰/۰۷۱		
کنترل	۷۱/۴۲ ± ۶/۹۷	۷۱/۶۷ ± ۷/۷۳ @		۰/۰۵ ± ۰/۲۵	۰/۱۸ ± ۰/۸۵۵	۱۲	۰/۸۵۵		

مقادیر بصورت انحراف استاندارد ± میانگین می‌باشند.

*معناداری تغییرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون $P < ۰/۰۵$

@ تفاوت معنی‌دار با گروه مقاومتی

۵ تفاوت معنی‌دار با گروه هوازی

تفاوت معنی‌دار با گروه ترکیبی

بحث:

نتایج تعقیبی توکی در فشار خون سیستولی و حداقل ضربان قلب استراحت بین گروه کنترل با سایر گروه‌های تمرین ($P = 0/001$)، در فشار خون دیاستولی بین گروه تمرینی ترکیبی با گروه کنترل ($P = 0/011$)، تفاوتی معنی‌داری نشان داد. در حداقل ضربان قلب استراحت، بین گروه تمرین هوازی با گروه‌های تمرین مقاومتی ($P = 0/012$)، و ترکیبی ($P = 0/001$)، و در حداکثر ضربان قلب استراحت بین گروه کنترل با گروه‌های مقاومتی و ترکیبی ($P = 0/001$)، و بین گروه تمرین هوازی با گروه‌های تمرین مقاومتی ($P = 0/006$)، و ترکیبی ($P = 0/001$)، و گروه مقاومتی با ترکیبی ($P = 0/019$)، و در متوسط ضربان قلب استراحت بین گروه کنترل با گروه‌های هوازی و مقاومتی ($P = 0/001$)، و بین گروه تمرین هوازی با گروه‌های تمرین مقاومتی ($P = 0/005$)، و ترکیبی ($P = 0/001$)، و گروه مقاومتی با ترکیبی ($P = 0/025$)، در بین گروه‌ها تفاوت معنی‌دار بود.

مطالعه حاضر با هدف مقایسه سه نوع تمرین هوازی، مقاومتی و ترکیبی بر ساختار و عملکرد قلب بیماران دیابتی مبتلا به نوروپاتی محیطی پرداخت. تحلیل واریانس یک‌طرفه تفاوت‌های معنی‌دار در فشارخون دیاستولی و سیستولی، حداقل و حداکثر و متوسط ضربان قلب استراحت در بین گروه‌های مختلف تمرینی و گروه کنترل نشان داد. تغییرات در $IVSTD$ ، $IVSTS$ و $VO2max$ در هیچ‌کدام یک از گروه‌های تمرینی معنی‌دار نبود ($P > 0/05$). آزمون T وابسته افزایش معنی‌داری در $PWTS$ در گروه تمرین هوازی ($P = 0/038$)، $PWTD$ در گروه تمرین مقاومتی ($P = 0/033$) نشان داد. در فشار خون سیستولی افزایش در گروه کنترل ($P = 0/008$) و کاهش در گروه‌های تمرین مقاومتی ($P = 0/008$)، ترکیبی ($P = 0/001$)، فشار خون دیاستولی در گروه تمرین ترکیبی ($P = 0/005$)، حداقل ضربان قلب استراحت در گروه‌های تمرینات هوازی ($P = 0/046$) و مقاومتی ($P = 0/036$)، حداکثر ضربان قلب استراحت در گروه کنترل ($P = 0/001$) و متوسط ضربان قلب استراحت در گروه تمرین هوازی ($P = 0/012$)، تفاوت معنی‌داری داشتند.

ما نشان دادیم که مقادیر $PWTS$ ، $IVSTD$ ، $IVSTS$ و $PWTD$ (ساختار قلب) در گروه‌های مختلف تمرینی با یکدیگر و مقادیر گروه کنترل تفاوت معناداری ندارند. در راستای مطالعه حاضر، ترتیبیان و همکاران (۲۰۱۹)، تفاوت معنی‌داری در ساختار قلب بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون پس از هشت هفته تمرین هوازی نشان نداد (۳۱). همچنین، ولف و همکاران عدم تغییر در شاخص‌های ساختاری قلب را در زنان غیر فعال در یک برنامه ۱۱ هفته‌ای دوییدن با شدت ۸۰-۸۵ حداکثر ضربان قلب ذخیره گزارش کردند (۳۲). همچنین، نتایج این مطالعه همسو با نتایج مطالعه هالک و همکاران (۲۰۱۱) می‌باشد، که عدم تغییر در شاخص‌های ساختاری قلب را بدنبال ۱۲ هفته تمرین هوازی دوییدن در زنان و مردان گزارش کردند (۳۳). با این حال، نتایج مطالعه حاضر با نتایج دیگر مطالعات انجام شده در این خصوص همسو نمی‌باشد. به عنوان مثال، سیک و همکاران (۲۰۱۷)، گزارش کردند که در زنان دارای اضافه وزن ۱۶ هفته تمرین هوازی با شدت ۶۰ تا ۷۰ ضربان قلب منجر به تغییرات معنی‌دار در شاخص‌های ساختاری قلب ابعاد پایان دیاستولی بطن چپ ضخامت دیواره بین دو بطن و ضخامت دیواره خلفی بطن چپ گردید (۳۴). از دلایل ناهمسو بودن، می‌توان به نوع آزمودنی‌ها و طول پروتکل تمرین هوازی اشاره کرد. در این مطالعه، ۱۶ هفته تمرین هوازی انجام شده بود. همچنین، ربال و همکاران تغییرات معنی‌دار در شاخص‌های ساختاری قلب ابعاد پایان دیاستولی و ضخامت دیواره خلفی بطن چپ را به بدنبال ۱۰ هفته تمرین دوییدن در زنان گزارش کردند (۳۵). از آنجایی که ثابت شده است تغییرات ساختاری قلب به بدنبال ورزش به عواملی مانند نوع، شدت و مدت ورزش و همچنین، ژنتیک، جنسیت و سابقه آمادگی جسمانی

¹ Wolfe² Hulke³ Cicek⁴ Rubal

قبلی فرد بستگی دارد و عامل نوع ورزش در همه تحقیقات انجام شده مشابه و از نوع هوازی بوده است، به نظر می‌رسد که محتمل‌ترین علت عدم تغییرات ساختاری در قلب آزمودنی‌های تحقیق ما می‌تواند مدت و شدت ناکافی ورزش باشد. لذا به نظر می‌رسد که هر چه دوره تمرینی کوتاه‌تر باشد. برای ایجاد تغییرات مورفولوژیک در قلب، شدت ورزش بایستی بالاتر باشد. از طرفی تحقیقات مشخص کرده‌اند که سازگاری‌های قلبی به تمرینات ورزشی در افراد غیر فعال، کمتر واضح است. لذا از آنجایی که افراد مبتلا به دیابت به دلیل تحرک کمتری نسبت به افراد سالم، این سابقه کم‌تحرکی نیز می‌تواند عاملی برای عدم تغییر در شاخص‌های ساختاری قلب در پاسخ به ۱۲ هفته تمرین باشد. با این حال، با توجه به موارد مطرح شده می‌توان نتیجه گرفت که برنامه تمرینی اعمال شده در تحقیق ما به لحاظ شدت و مدت توانایی لازم جهت تغییر در ساختار قلب را نداشته است.

در مطالعه حاضر، در هر دو PWTS در گروه تمرین هوازی ($P = 0.038$) و PWTD در گروه تمرین مقاومتی ($P = 0.033$)، تفاوت معنی‌داری در پیش‌آزمون نسبت به پس‌آزمون مشاهده شد. با این حال، تفاوت معنی‌داری در ۱۲ هفته تمرین هوازی در مقایسه با گروه کنترل در PWTD وجود نداشت. نتایج ما با نتایج تربییان و همکارانش مطابقت داشت، که دریافتند تفاوت معنی‌داری در پیش‌آزمون نسبت به پس‌آزمون در هشت هفته تمرین هوازی در PWTD وجود ندارد (۳۱). بررسی درصد تغییرات درون‌گروهی PWTS نشان می‌دهد که بیشترین درصد تغییر مربوط به تمرین هوازی با $7/64$ درصد و کمترین درصد تغییر مربوط به گروه کنترل با منفی $0/61$ درصد و در PWTD بیشترین درصد تغییر مربوط به تمرین مقاومتی با 16 درصد و کمترین درصد تغییر مربوط به گروه کنترل با منفی $4/4$ درصد می‌باشد. تاثیر تمرینات هوازی بر دیواره‌های قلب (ضخامت دیواره پشتی بطن چپ در پایان سیستول) نشان می‌دهد. این گونه تمرینات موجب اعمال بار حجمی بر قلب، افزایش حفره‌های قلبی به ویژه بطن چپ و توام با آن افزایش نسبی دیواره‌های قلبی می‌شوند. همچنین، تغییرات ضخامت دیواره‌های قلب احتمالاً به علت افزایش شاخص توده بطن چپ می‌باشد (۳۶، ۳۷).

در مطالعه حاضر، در پیش‌آزمون نسبت به پس‌آزمون، تغییرات در $IVSTD$ ، $IVSTS$ و $VO2max$ در هیچکدام یک از گروه‌های مختلف تمرینی با یکدیگر و مقادیر گروه کنترل تفاوت معناداری مشاهده نشد. نتایج ما با مطالعه گائینی و همکاران (۲۰۱۲)، که نشان دادند هشت هفته تمرین تناوبی به طور قابل‌توجهی ضخامت سپتوم بین بطنی را نسبت به قبل از تمرین تغییر داد، ناهمسو است (۳۸). از جمله دلایل، نوع آزمودنی‌ها است. زیرا آزمودنی‌ها افراد سالم و ورزشکار بودن. بررسی درصد تغییرات درون‌گروهی $IVSTS$ نشان می‌دهد که بیشترین درصد تغییر درون‌گروهی مربوط به تمرینات ترکیبی با 8 درصد و کمترین درصد تغییر مربوط به گروه کنترل با منفی یک درصد و در $IVSTD$ بیشترین درصد تغییر مربوط به تمرینات هوازی و ترکیبی با $0/79$ درصد و کمترین درصد تغییر مربوط به گروه کنترل با منفی $0/73$ درصد و در $VO2max$ بیشترین درصد تغییر مربوط به تمرینات هوازی با یک درصد و کمترین درصد تغییر مربوط به تمرینات مقاومتی با منفی $0/63$ درصد می‌باشد. تغییرات سبک زندگی به ویژه تمرین ورزشی، به عنوان یک استراتژی پیشگیرانه مفید برای پیشگیری و حتی کاهش عوامل خطر مرتبط با کاردیومیوپاتی در بیماران مبتلا به دیابت توصیه شده است. ورزش برای بازیابی عملکرد میوکارد از طریق بهبود $VO2max$ پیشنهاد شده است (۱۰).

ما تفاوت‌های معنی‌داری در (فشار خون دیاستولی ($P = 0.017$)، فشار خون سیستولی ($P = 0.001$) در بین گروه‌های مختلف تمرینی با یکدیگر و مقادیر گروه کنترل نشان دادیم. در فشار خون سیستولی افزایش در گروه کنترل ($P = 0.008$) و کاهش در گروه‌های تمرین مقاومتی ($P = 0.008$)، ترکیبی ($P = 0.001$)، فشار خون دیاستولی در گروه تمرین ترکیبی ($P = 0.005$)، تفاوت معنی‌دار در پیش‌آزمون نسبت به پس‌آزمون مشاهده شد. نتایج تعقیبی توکی در فشار خون سیستولی و بین گروه کنترل با سایر گروه‌های تمرین ($P = 0.001$)، در فشار خون دیاستولی بین گروه تمرینی ترکیبی با گروه کنترل ($P = 0.011$)، تفاوتی

معنی‌داری نشان داد. همسو با مطالعه حاضر، امیر ساسان و همکاران (۲۰۲۰)، نشان دادند که تمرین در آب که ماهیت تمرینات هوازی و مقاومتی دارد، در زنان دیابتی باعث کاهش فشار خون سیستولی در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل شد (۳۹). نا همسو با مطالعه گائینی و همکاران که نشان دادند هشت هفته تمرین در فشار خون دیاستولی و فشار خون سیستولی تفاوت معنی‌داری ندارد (۳۸). عدم تغییر در مطالعه گائینی و همکاران بر متغیرهای فشار خون دیاستولی و سیستولی، می‌توان به نوع آزمودنی‌ها توصیه کرد. زیرا آزمودنی‌ها افراد سالم و ورزشکار بودند. بررسی درصد تغییرات درون‌گروهی فشار خون سیستولی نشان می‌دهد که بیشترین درصد تغییر درون‌گروهی مربوط به تمرینات مقاومتی و ترکیبی با ۱۰ درصد و کمترین درصد تغییر مربوط به گروه کنترل با منفی ۱۵/۸۲ درصد و در فشار خون دیاستولی بیشترین درصد تغییر مربوط به تمرینات ترکیبی با ۸/۸۱ درصد و کمترین درصد تغییر مربوط به گروه کنترل با منفی ۴/۵۴ درصد می‌باشد. در این راستا، سون و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند که تمرینات ورزشی برای بازیابی عملکرد میوکارد از طریق بهبود VO_{2max} ، عملکرد اندوتلیال، عملکرد سیستولیک و دیاستولیک بطن چپ و فشار خون پیشنهاد شده است (۱۰). ما بیشترین درصد تغییر مربوط به تمرینات مقاومتی و ترکیبی با ۱۰ درصد بیان کردیم، در این راستا، تمرین مقاومتی به عنوان ابزاری مؤثر برای کاهش فشار خون و همچنین افزایش قدرت عضلانی، قدرت، هیپرتروفی، استقامت موضعی، عملکرد حرکتی، و تراکم استخوانی کمی در نظر گرفته می‌شود (۱۵). در این راستا، بریتو و همکاران (۲۰۱۴)، تأثیر دو جلسه تمرین مقاومتی را بر فشار خون در افراد مسن پرفشاری خون ارزیابی کردند. نتایج نشان کاهش فشار خون با تمرین بود (۴۰). فقدان پاسخدهی به فشار خون به برنامه تمرین مقاومتی ممکن است تحت تأثیر عوامل خارجی مانند وضعیت تغذیه باشد (۴۱). افزایش فشار خون با افزایش سن در ایجاد فشار خون بالا و بیماری‌های قلبی عروقی نقش دارد، این مطالعه، از تمرینات مقاومتی به عنوان یک درمان غیردارویی در مدیریت و کاهش فشار خون، پشتیبانی می‌کند. همچنین، مارتنز و همکاران بیان کردند که ورزش با شدت متوسط و طولانی مدت باعث کاهش سفتی شریان، کاهش فشار خون و افزایش کارایی قلبی می‌شود. به طور مشابه، تمرینات مقاومتی نیز در کاهش فشار خون و همچنین بهبود عملکرد قلبی عروقی مفید است (۱۶).

ما تفاوت‌های معنی‌داری در حداقل ضربان قلب استراحت، حداکثر ضربان قلب استراحت و متوسط ضربان قلب استراحت (۰/۰۰۱) بین گروه‌های مختلف تمرینی و گروه کنترل مشاهده کردیم. ضربان قلب استراحت در گروه تمرین هوازی ($P = ۰/۰۱۲$)، کاهش معنی‌داری در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون مشاهده شد. همچنین، بیشترین درصد تغییرات درون‌گروهی مربوط به تمرینات هوازی بود. نتایج برخی تحقیقات نشان داده است که تمرینات ورزشی به کاهش ضربان قلب استراحتی منجر می‌شود (۲۱). در این راستا، ترتیبیان و همکاران در هشت هفته تمرین هوازی کاهش معنی‌داری در ضربان قلب استراحت در دختران چاق نشان دادند (۳۱). امیر ساسان و همکاران نشان دادند که تمرین در آب که ماهیت تمرینات هوازی و مقاومتی دارد در زنان دیابتی باعث کاهش ضربان قلب استراحت در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل می‌شود (۳۹). در این راستا، کانگ و همکاران (۲۰۱۶)، تمرینات هوازی را با ۶۰ تا ۸۰ درصد حداکثر ضربان قلب به مدت ۴۰ دقیقه، ۵ بار در هفته به مدت ۱۲ هفته بررسی کردند. در مقایسه با گروه کنترل، عوامل خطر سندرم متابولیک (وزن، درصد چربی بدن، دور کمر، فشار خون سیستولیک، فشار خون دیاستولیک و کلسترول HDL) به طور قابل‌توجهی در تمرین بهبود یافتند، و ضربان قلب در حالت استراحت به طور قابل‌توجهی کاهش یافت (۴۲). نا همسو با مطالعه حاضر، گائینی و همکاران نشان دادند هشت هفته تمرین در ضربان قلب تفاوت معنی‌داری ندارد (۳۸). عدم تغییر در مطالعه گائینی و همکاران بر متغیرهای ضربان قلب، می‌توان به نوع آزمودنی‌ها توصیه کرد

¹ Brito² Kang

چرا که آزمودنی‌ها افراد سالم و ورزشکار بودند.

در مطالعه حاضر، ضربان قلب استراحتی آزمودنی‌های تجربی کاهش یافته بود. در تحقیقات زیادی بر نقش ضربان قلب به عنوان یک فاکتور مهم در عملکرد دیاستولی بطن چپ تاکید شده است. کاهش ضربان قلب در حالت استراحت در نتیجه فعالیت ورزشی باعث افزایش زمان ریلکسیشن می‌شود (۴۳). ورزش‌های استقامتی هم‌چون تمرین هوازی باعث افزایش میزان برداشت کلسیم توسط پمپ کلسیم شبکه سارکوپلازمی در طی اولین مرحله دیاستول و افزایش ریلکسیشن می‌شود (۴۴).

در مطالعه حاضر، گروه کنترل بالاترین میزان فشار خون و ضربان قلب استراحت را نسبت به گروه تجربی داشتن. افزایش ضربان قلب در حالت استراحت که فعالیت‌های سیستم عصبی خودمختار، فعالیت‌های هورمون‌های در گردش و آمادگی قلبی ریوی را تعیین می‌کند، می‌تواند منجر به افزایش خطر CVD و سندرم متابولیک شود (۴۵-۴۷). افزایش ضربان قلب استراحت می‌تواند برای قلب مضر باشد، زیرا می‌تواند دوره دیاستولیک در چرخه قلبی را کوتاه کند، بار کاری قلب را به دلیل کاهش جریان کرونری افزایش دهد و باعث ایجاد پلاک آترواسکلروتیک شود (۴۸). بنابراین، ورزش هوازی می‌تواند به بهبود اختلالات متابولیک و کاهش وزن کمک کند، که نقش اساسی در شروع سندرم متابولیک دارد. ورزش هوازی نقش اصلی را در پیشگیری و درمان اولیه CVD ایفا می‌کند، که یک بیماری همراه در بسیاری از موارد سندرم متابولیک است. علاوه بر این، مطالعات آینده‌نگر نشان داده‌اند که ضربان قلب استراحت یک عامل پیش‌بینی‌کننده مستقل برای CVD است و نشان داده شده است که ضربان قلب استراحت بالا خطر شروع سندرم متابولیک را افزایش می‌دهد. بنابراین، اقدامات برای کنترل ضربان قلب استراحت، که با پیش آگهی CVD مرتبط است، مهم شده است. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که ورزش هوازی ضربان قلب استراحت را کاهش می‌دهد. این نتیجه با نتایج مطالعات قلبی مطابقت دارد و احتمالاً به دلیل مهار فعال شدن سیستم عصبی سمپاتیک و افزایش فعال شدن سیستم عصبی پاراسمپاتیک به دلیل تأثیرات سازگاری قلبی عروقی ناشی از تمرینات هوازی است (۴۹، ۵۰). بنابراین، ورزش هوازی می‌تواند به عنوان یک استراتژی مداخله‌ای مهم برای کاهش خطر ابتلا به CVD در بیماران مبتلا به سندرم متابولیک در نظر گرفته شود.

نتیجه‌گیری:

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که هر سه نوع تمرین تأثیر ناچیزی بر IVSTD، IVSTS و VO2max داشتند. تمرینات ورزشی هوازی و مقاومتی به طور جداگانه نسبت به تمرینات ترکیبی تأثیر بیشتری بر ساختار قلب دارند و می‌توانند ضخامت دیواره پشتی بطن چپ را در پایان سیستم دیاستول و دیاستول افزایش دهند. ما نشان دادیم که بهترین نوع تمرین برای افزایش PWTS، تمرین هوازی و برای PWTD، تمرین مقاومتی است. همچنین، کاهش فشار خون سیستمیک در گروه‌های تمرینات مقاومتی و ترکیبی و همچنین، کاهش فشار خون دیاستولیک در گروه تمرین ترکیبی مشاهده شد. همچنین، نتایج ما نشان داد که بهترین نوع تمرین برای کاهش حداقل ضربان قلب استراحت، تمرینات هوازی و مقاومتی و بهترین نوع تمرین برای کاهش ضربان قلب استراحت، تمرین هوازی بود. بنابراین، تمرینات هوازی در مقایسه با تمرینات مقاومتی و ترکیبی، در کاهش ضربان قلب موثرتر است.

تضاد منافع:

مؤلفان اعلام می‌کنند که این اثر، حاصل یک پژوهش مستقل بوده و هیچ تضاد منافی با سازمان‌ها و اشخاص دیگر ندارد.

تشکر و قدردانی:

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر و قدردانی خود را از کلیه آزمودنی‌های شرکت‌کننده در تحقیق اعلام دارند.

مشارکت نویسندگان: هر دو نویسنده در نگارش، ویرایش و بازبینی مقاله مشارکت داشتند.

منابع:

1. Lovic D, Piperidou A, Zografou I, Grassos H, Pittaras A, Manolis A. The growing epidemic of diabetes mellitus. *Current vascular pharmacology*. 2020;18(2):104-9.
2. Sun H, Saeedi P, Karuranga S, Pinkepank M, Ogurtsova K, Duncan BB, et al. IDF Diabetes Atlas: Global, regional and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045. *Diabetes research and clinical practice*. 2022;183:109119.
3. Nasiri R, Behjat A, Amouei M, Emami P, NikAein F, Torknejad MR, et al. Evaluating Exercise Capacity and Heart Rate Recovery in Diabetic Type II Patients. *Canon Journal of Medicine*. 2022;3(1):11-4.
4. Wood G, Taylor E, Ng V, Murrell A, Patil A, van der Touw T, et al. Determining the effect size of aerobic exercise training on the standard lipid profile in sedentary adults with three or more metabolic syndrome factors: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *British Journal of Sports Medicine*. 2022;56(18):1032-41.
5. Bodman MA, Varacallo M. Peripheral diabetic neuropathy. *StatPearls [Internet]: StatPearls Publishing*; 2021.
6. Duque A, Mediano MFF, De Lorenzo A, Rodrigues LF, Jr. Cardiovascular autonomic neuropathy in diabetes: Pathophysiology, clinical assessment and implications. *World journal of diabetes*. 2021;12(6):855-67.
7. Chowdhury M, Nevitt S, Eleftheriadou A, Kanagala P, Esa H, Cuthbertson DJ, et al. Cardiac autonomic neuropathy and risk of cardiovascular disease and mortality in type 1 and type 2 diabetes: a meta-analysis. *BMJ Open Diabetes Research & Care*. 2021;9(2):e002480.
8. Ma C-X, Ma X-N, Guan C-H, Li Y-D, Mauricio D, Fu S-B. Cardiovascular disease in type 2 diabetes mellitus: progress toward personalized management. *Cardiovascular Diabetology*. 2022;21(1):74.
9. Zhang L, Yang H, Yang P. The Correlation between Type 2 Diabetes Mellitus and Cardiovascular Disease Risk Factors in the Elderly. *Applied Bionics and Biomechanics*. 2022;2022:4154426.
10. Sun D, Wang H, Su Y, Lin J, Zhang M, Man W, et al. Exercise alleviates cardiac remodelling in diabetic cardiomyopathy via the miR-486a-5p-Mst1 pathway. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*. 2021;24(2):150.
11. Pelliccia A, Sharma S, Gati S, Bäck M, Börjesson M, Caselli S, et al. 2020 ESC Guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease: the Task Force on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease of the European Society of Cardiology (ESC). *European heart journal*. 2021;42(1):17-96.
12. Deligiannis A, D'Alessandro C, Cupisti A. Exercise training in dialysis patients: impact on cardiovascular and skeletal muscle health. *Clinical kidney journal*. 2021;14(Supplement_2):ii25-ii33.
13. Bowman PR, Smith GL, Gould GW. Run for your life: can exercise be used to effectively target GLUT4 in diabetic cardiac disease? *PeerJ*. 2021;9:e11485.
14. Chowdhury MA, Sholl HK, Sharrett MS, Haller ST, Cooper CC, Gupta R, et al. Exercise and Cardioprotection: A Natural Defense Against Lethal Myocardial Ischemia-Reperfusion Injury and Potential Guide to Cardiovascular Prophylaxis. *Journal of cardiovascular pharmacology and therapeutics*. 2019;24(1):18-30.
15. Nascimento DDC, da Silva CR, Valduga R, Saraiva B, de Sousa Neto IV, Vieira A, et al. Blood pressure response to resistance training in hypertensive and normotensive older women. *Clinical interventions in aging*. 2018;13:541-53.

16. Martinez MW, Kim JH, Shah AB, Phelan D, Emery MS, Wasfy MM, et al. Exercise-Induced Cardiovascular Adaptations and Approach to Exercise and Cardiovascular Disease: JACC State-of-the-Art Review. *Journal of the American College of Cardiology*. 2021;78(14):1453-70.
17. Gunadi JW, Tarawan VM, Setiawan I, Lesmana R, Wahyudianingsih R, Supratman U. Cardiac hypertrophy is stimulated by altered training intensity and correlates with autophagy modulation in male Wistar rats. *BMC sports science, medicine & rehabilitation*. 2019;11:9.
18. Nystoriak MA, Bhatnagar A. Cardiovascular Effects and Benefits of Exercise. *Frontiers in cardiovascular medicine*. 2018;5:135.
19. Lee JH, Kim J, Sun BJ, Jee SJ, Park JH. Effect of Cardiac Rehabilitation on Left Ventricular Diastolic Function in Patients with Acute Myocardial Infarction. 2021;10(10).
20. Chaveles I, Papazachou O, Shamari MA, Delis D, Ntalianis A, Panagopoulou N, et al. Effects of exercise training on diastolic and systolic dysfunction in patients with chronic heart failure. *World journal of cardiology*. 2021;13(9):514-25.
21. Mgbemena O, Zhang Y, Velarde G. Role of Diabetes Mellitus in Heart Failure With Preserved Ejection Fraction: A Review Article. *Cureus*. 2021;13(11):e19398.
22. Hu G, Jousilahti P, Barengo NC, Qiao Q, Lakka TA, Tuomilehto J. Physical activity, cardiovascular risk factors, and mortality among Finnish adults with diabetes. *Diabetes care*. 2005;28(4):799-805.
23. Karjalainen JJ, Kiviniemi AM, Hautala AJ, Piira O-P, Lepojärvi ES, Perkiömäki JS, et al. Effects of physical activity and exercise training on cardiovascular risk in coronary artery disease patients with and without type 2 diabetes. *Diabetes Care*. 2015;38(4):706-15.
24. Jung I, Kwon H, Park SE, Han KD, Park YG, Rhee EJ, et al. Changes in Patterns of Physical Activity and Risk of Heart Failure in Newly Diagnosed Diabetes Mellitus Patients. *Diabetes & metabolism journal*. 2022;46(2):327-36.
25. Chowdhury MA, Sholl HK, Sharrett MS, Haller ST, Cooper CC, Gupta R, et al. Exercise and cardioprotection: a natural defense against lethal myocardial ischemia-reperfusion injury and potential guide to cardiovascular prophylaxis. *Journal of cardiovascular pharmacology and therapeutics*. 2019;24(1):18-30.
26. Nascimento DdC, da Silva CR, Valduga R, Saraiva B, de Sousa Neto IV, Vieira A, et al. Blood pressure response to resistance training in hypertensive and normotensive older women. *Clinical interventions in aging*. 2018;541-53.
27. Wu N, Bredin SSD, Jamnik VK, Koehle MS, Guan Y, Shellington EM, et al. Association between physical activity level and cardiovascular risk factors in adolescents living with type 1 diabetes mellitus: a cross-sectional study. *Cardiovascular Diabetology*. 2021;20(1):62.
28. Hur KY, Moon MK, Park JS, Kim S-K, Lee S-H, Yun J-S, et al. 2021 Clinical Practice Guidelines for Diabetes Mellitus in Korea. *Diabetes & metabolism journal*. 2021;45(4):461-81.
29. Sigal RJ, Kenny GP, Boulé NG, Wells GA, Prud'homme D, Fortier M, et al. Effects of aerobic training, resistance training, or both on glycemic control in type 2 diabetes: a randomized trial. *Annals of internal medicine*. 2007;147(6):357-69.
30. Ts C. Effects of aerobic and resistance training on hemoglobin A1c levels in patients with type 2 diabetes: A randomized controlled trial. *JAMA*. 2010;304:2253-62.
31. Tartibian B, Ejlali M. Impact of moderate-intensity aerobic exercise training on sleep quality and cardiac structure and function in inactive obese girls. *Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences*. 2019;24(4):41-55.
32. Wolfe L, Laprade A, Burggraf G, Norman R. Cardiac responses of young women to conditioning for a 10 kilometer race. *International journal of sports medicine*. 1992;13(05):384-9.
33. Hulke S, Phatak M. Cardiac adaptation to endurance training in young adult. *Chronicles of Young Scientists*. 2011;2(2):103-.
34. Cicek G, Imamoglu O, Gullu A, Celik O, Ozcan O, Gullu E, et al. The effect of exercises on left ventricular systolic and diastolic heart function in sedentary women: Step-aerobic vs core exercises. *Journal of Exercise Science & Fitness*. 2017;15(2):70-5.

35. Rubal BJ, Al-Muhailani A, Rosentswieg J. Effects of physical conditioning on the heart size and wall thickness of college women. *Med Sci Sports Exerc.* 1987;19(5):423-9.
36. Rawlins J, Bhan A, Sharma S. Left ventricular hypertrophy in athletes. *European Journal of Echocardiography.* 2009;10(3):350-6.
37. Hildick-Smith DJR, Shapiro LM. Echocardiographic differentiation of pathological and physiological left ventricular hypertrophy. *Heart.* 2001;85(6):615-9.
38. Gaeini A, Kazemi F, Mehdiabadi J, Shafiei-Neek L. The effect of 8-week aerobic interval training and a detraining period on left ventricular structure and function in non-athlete healthy men. *Zahedan Journal of Research in Medical Sciences.* 2012;13(9).
39. Amirsasan R, Vakili J, Salehi R, Akbari M. Effect of 12 weeks aquatic aerobic exercises on myocardial structure and function in type 2 diabetic women with heart failure. *Medical Journal of Tabriz University of Medical Sciences.* 2020;42(1):15-23.
40. Brito AdF, de Oliveira CVC, Brasileiro-Santos MdS, Santos AdC. Resistance exercise with different volumes: blood pressure response and forearm blood flow in the hypertensive elderly. *Clinical interventions in aging.* 2014:2151-8.
41. Mann TN, Lamberts RP, Lambert MI. High responders and low responders: factors associated with individual variation in response to standardized training. *Sports medicine.* 2014;44:1113-24.
42. Kang S-J, Kim E-h, Ko K-J. Effects of aerobic exercise on the resting heart rate, physical fitness, and arterial stiffness of female patients with metabolic syndrome. *Journal of physical therapy science.* 2016;28(6):1764-8.
43. Galderisi M, Petrocelli A, Alfieri A, Garofalo M, de Divitiis O. Impact of ambulatory blood pressure on left ventricular diastolic dysfunction in uncomplicated arterial systemic hypertension. *The American journal of cardiology.* 1996;77(8):597-601.
44. Douglas PS, O'Toole M. Aging and physical activity determine cardiac structure and function in the older athlete. *Journal of applied physiology.* 1992;72(5):1969-73.
45. Fox K, Borer JS, Camm AJ, Danchin N, Ferrari R, Lopez Sendon JL, et al. Resting heart rate in cardiovascular disease. *Journal of the American College of Cardiology.* 2007;50(9):823-30.
46. Oda E, Aizawa Y. Resting heart rate predicts metabolic syndrome in apparently healthy non-obese Japanese men. *Acta diabetologica.* 2014;51:85-90.
47. Verrier RL, Tan A. Heart rate, autonomic markers, and cardiac mortality. *Heart rhythm.* 2009;6(11):S68-S75.
48. Perski A, Hamsten A, Lindvall K, Theorell T. Heart rate correlates with severity of coronary atherosclerosis in young postinfarction patients. *American heart journal.* 1988;116(5):1369-73.
49. Goldsmith RL, Bloomfield DM, Rosenwinkel ET. Exercise and autonomic function. *Coronary artery disease.* 2000;11(2):129-35.
50. Carter JB, Banister EW, Blaber AP. Effect of endurance exercise on autonomic control of heart rate. *Sports medicine.* 2003;33:33-46.