



تأثیر یک دوره تمرینات تناوبی هوازی با حجم کم و با شدت بالا بر پاسخ شاخص‌های ساختاری و عملکردی قلب در بیماران مبتلا به انفارکتوس میوکارد

زهرا دلفانی: دانشجوی دکتری، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران (* نویسنده مسئول) venus_delfani@yahoo.com

فرشته شهیدی: دانشیار، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
مجید کاشف: استاد، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
مهرداد نامداری: استاد، مرکز تحقیقات قلب و عروق، بیمارستان شهید رحیمی، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم‌آباد، ایران

چکیده

کلیدواژه‌ها

انفارکتوس میوکارد،
تمرین ورزشی،
توانبخشی قلبی

زمینه و هدف: انفارکتوس میوکارد از مهم‌ترین کاردیوپاتی‌های ایسکمی به شمار می‌رود. هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر یک دوره تمرین تناوبی هوازی با حجم کم و با شدت بالا بر پاسخ شاخص‌های ساختاری و عملکردی قلب در بیماران مبتلا به انفارکتوس میوکارد بود.

روش کار: در این مطالعه نیمه‌تجربی با طرح پیش-پس آزمون، ۲۰ بیمار مرد مبتلا به انفارکتوس میوکارد (بدون سابقه تمرینی منظم) به صورت تصادفی در دو گروه کنترل (۱۰ نفر) و گروه تمرین (۱۰ نفر) داوطلب شرکت در پژوهش شدند. افراد در گروه تمرینی ۳ روز در هفته به مدت ۲۰ دقیقه (یک جلسه بر روی تردمیل و جلسه دیگر بر روی دوچرخه ورزشی) برای ۱۲ هفته برنامه تمرینی را انجام دادند. شاخص‌های ساختاری و عملکردی قلب با استفاده از دستگاه اکوکاردیوگرافی در شرایط پایه و پس از ۱۲ هفته تمرین اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از آزمون تی زوجی و تی مستقل تجزیه و تحلیل شد.

یافته‌ها: قطر و حجم پایان دیاستولی، کسر تزریقی و حجم ضربه‌ای بطن چپ و اوج اکسیژن مصرفی گروه تمرینی در مقایسه با شرایط پایه و در مقایسه با گروه کنترل افزایش معناداری یافت ($P < 0.05$) و ضربان قلب استراحت، فشارخون سیستولی و دیاستولی کاهش معناداری را نشان داد ($P < 0.05$). اما تغییر معناداری در ضخامت دیواره خلفی پایان دیاستول بطن چپ مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد تمرین تناوبی هوازی با حجم کم و با شدت بالا، ساختار و عملکرد بطن چپ را بهبود می‌بخشد، اما به نظر می‌رسد برای دستیابی به تغییرات ساختاری بارزتری در بطن چپ بیماران مبتلا به MI به حجم تمرینی بیشتری نیاز است.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت‌کننده: حامی مالی ندارد.

شیوه استناد به این مقاله:

Delfani Z, Shahidi F, Kashef M, Namdari M. The Effect of A Period of Low-Volume and High-Intensity Aerobic Interval Training on the Response of Structural and Functional Indicators of the Heart in Patients with Myocardial Infarction. Razi J Med Sci. 2023;30(3): 129-140.

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



Original Article

The Effect of A Period of Low-Volume and High-Intensity Aerobic Interval Training on the Response of Structural and Functional Indicators of the Heart in Patients with Myocardial Infarction

- Zohreh Delfani:** PhD Student, Department of Sport Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran (* Corresponding Author) venus_delfani@yahoo.com
- Fershteh Shahidi:** Associate Professor, Department of Sport Physiology, Faculty of Sport Sciences, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran
- Majid Kashef:** Professor, Department of Sport Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran
- Mehrdad Namdari:** Professor, Cardiovascular Research Center, Shahid Rahimi Hospital, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran

Abstract

Background & Aims: Myocardial infarction is one of the most important ischemic cardiopathies (1). Despite progressive improvement in medical therapy and standard care, Exercise-based rehabilitation programs have been shown to improve the exercise capacity of patients with myocardial infarction through a multifactorial effect (2). In this context, high-intensity interval exercise is a growing field of research (3). Many studies have shown that High-intensity interval training (HIIT) has more protective effects on myocardial tissue than aerobic exercise (6). Therefore, this study aimed to investigate the effect of a period of low-volume, high-intensity interval aerobic exercise on heart structural and functional indicators in patients with myocardial infarction.

Methods: In this semi-experimental study with pretest–A post test design, 20 patients with documented MI (without regular exercise history) volunteered to participate in the research randomly in two control groups (n=10) and exercise group (n=10). The subjects trained for 3 d/week for 12 weeks (one session on a treadmill and another session on an exercise bike), under the supervision of an expert physician and exercise physiologists specialists. We asked the control group patients not to engage in any other leisure exercise during the study. The rationale for mixing bike and treadmill was to avoid the osteoarticular effects of two treadmill days by considering the HIIT program. We calculated the optimized exercise zone using the Karvonen formula, which calculates the exercise heart rate as a percentage of the heart rate reserve, added to the resting heart rate (11). The training intensity was adjusted by constantly changing the treadmill's speed and incline or the bike's power and speed to ensure that we performed all training sessions with the target heart rate (HR) (9). Training intensity was controlled by monitoring participants' heart rate (HR) using a Polar HR monitor (Polar Electro OY, Finland). Heart rate, blood pressure, and perceived exertion were evaluated using the Borg Scale (6 to 20 points) before, during, and after each session (12). We measured the structural and functional indices of the heart using an echocardiography device in baseline conditions and after 12 weeks of training. We performed all examinations at rest in the left lateral decubitus position according to the guidelines of the American Society of Echocardiography (16). We analyzed data using paired t-test and independent t-test. All statistical tests were performed with SPSS software version 28.0 (IBM SPSS, Inc, Armonk, NY). Values of $p < 0.05$ were considered statistically significant.

Results: End-diastolic diameter, end-diastolic volume, ejection fraction, left ventricular stroke volume, and peak oxygen consumption of the training group were significantly increased compared to the baseline conditions and compared to the control group ($P < 0.05$) and Resting heart rate, systolic and diastolic blood pressure showed a significant decrease ($P < 0.05$). But

Keywords

Myocardial infarction,
Exercise training,
Cardiac rehabilitation

Received: 08/04/2023

Published: 10/06/2023

there was no significant change in the thickness of the posterior wall at the end of the diastole of the left ventricle.

Conclusion: The main results of this study showed that the HIIT training protocol with the low volume produced positive and significant changes in systolic blood pressure, diastolic blood pressure, resting heart rate and VO₂ peak, which shows a positive training response in these patients. But we found no improvement in the control group and only systolic and diastolic blood pressure remained unchanged. Also, in the parameters of resting heart rate, systolic and diastolic blood pressure and VO₂ peak, a significant difference was found between the HIIT group and the control group, which is related to the improvement of physical activity level and functional capacity. These findings show the effectiveness of a low-volume HIIT program in improving clinically important parameters. The results of the present study showed that left ventricular end-diastolic volume, left ventricular ejection fraction (EF) and stroke volume (SV) increased significantly after HIIT exercises compared to the control group. Recent studies have shown that physiological adaptations of the left ventricle following exercise are divided into three general sections: 1) physiological hypertrophy of existing myocytes, which is associated with increased production of specific growth factors; 2) activation of cardiac stem cells, which increase the number and their differentiation leads to myocytes and vascular cells and 3) accumulation of new heart cells called new myocytes and vascular cells (32, 33). These cellular changes depend on the intensity and duration of exercise, which is associated with increased contractile muscle mass, cardiac function, and decreased wall tension. Therefore, since the results of the present study show an improvement in left ventricular function index in patients with MI following low volumes of HIIT training, it is likely that low volume of HIIT volumes could be stimulated the above mechanisms and play an important role in improving cardiovascular function. The results of the present study showed that the end-diastolic diameter of the left ventricle increased significantly in the HIIT group compared to the control group. Therefore, it can be said that 12 weeks of low-volume HIIT training has led to an increase in blood volume and venous return (because of skeletal muscle pumping and venous contraction), which according to Frank-Starling's law, increases ventricular stretch and ventricular contractility. It has led to an increase in injection fraction, which ultimately causes an increase in stroke volume and a decrease in resting heart rate, and one reason for the significant increase in VO₂ peak after 12 weeks of low-volume HIIT training may be the increase in blood volume and ventricular end-diastolic diameter. Be left, because these two mechanisms cause an increase in the number of mitochondria and their enzyme contents, capillary density and better blood flow in active muscles and heart muscles (38). Also, the results showed that the average thickness of the posterior wall of the left ventricle at the end of diastole in the HIIT group had a slight and non-significant increase. Reports show that aerobic activity causes a volume load on the heart, an increase in the heart chambers, especially the left ventricle, and a relative increase in the ventricular walls of the heart (39). Perhaps the reason for the non-significant changes in the thickness of the posterior wall at the end of left ventricular diastole in this study was the rapid filling of the left ventricle during ventricular diastole or the small volume of the exercise program, because the volume of the exercise program was not enough to cause obvious structural changes. In summary, interval aerobic training with low volume and high intensity improves the structure and function of the left ventricle, but we need more training volume to achieve more obvious structural changes in the left ventricle of patients with MI.

Conflicts of interest: None

Funding: None

Cite this article as:

Delfani Z, Shahidi F, Kashef M, Namdari M. The Effect of A Period of Low-Volume and High-Intensity Aerobic Interval Training on the Response of Structural and Functional Indicators of the Heart in Patients with Myocardial Infarction. *Razi J Med Sci.* 2023;30(3): 129-140.

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

مقدمه

قلبی عروقی پیاده‌سازی کرد (۱۲). مطالعات متعدد و متاآنالیز بیماری عروق کرونر در دهه‌های گذشته نشان می‌دهد که HIIT برای بهبود حداکثر VO_2 نسبت به MICT برتری دارد (۱۶-۱۳). علیرغم شواهد رو به رشدی که از HIIT حمایت می‌کند، انجمن اروپایی قلب و عروق پیشگیرانه HIIT را فقط برای بیماران کم خطر با ثبات تایید کرد (۱۷). بنابراین، اگرچه محبوبیت HIIT در زمینه‌های مختلف مانند توانبخشی قلبی، سلامت و تناسب اندام رو به افزایش است اما، نگرانی‌هایی مربوط به ایمنی HIIT، به دلیل تقاضای قلبی بالا، وجود دارد. علاوه بر این، هنوز به درستی مشخص نیست که آیا HIIT با حجم کم می‌تواند منجر به بهبود پاسخ شاخص‌های ساختاری و عملکردی قلب در بیماران مبتلا به MI شود یا خیر. بنابراین، ارزیابی تغییرات شاخص‌های ساختاری و عملکردی قلب با حجم‌ها و شدت‌های مختلف HIIT به طور بالقوه می‌تواند در تصمیم‌گیری بالینی مفید باشد و به فیزیولوژیست‌های بالینی در تهیه برنامه‌های ورزشی درمانی موثرتر و ایمن کمک کند. از این رو، هدف از پژوهش حاضر بررسی تاثیر ۱۲ هفته تمرین HIIT با حجم کم بر شاخص‌های ساختاری قطر پایان دیاستولی بطن چپ (LVIDd)، ضخامت دیواره خلفی بطن چپ یا پان دیاستول (LVPWd)، حجم ضربه‌ای (SV)، حجم پایان دیاستولی بطن چپ (LVEDV)، کسر تزریقی (LVEF)، فشارخون سیستولی و دیاستولی، ضربان قلب استراحت و حداکثر جذب اکسیژن ($peak\ VO_2$) بیماران مبتلا به MI بود.

روش کار

مطالعه حاضر از نوع نیمه تجربی (پیش‌آزمون و پس‌آزمون) و به صورت میدانی است. پروتکل مطالعه توسط کمیته اخلاق تحقیق انسانی دانشگاه علوم پزشکی لرستان (IR.LUMS.REC.1398.254) تایید شد و کلیه مرا حل مطابق با اعلامیه انجمن پزشکی جهانی هلسینکی در مورد اخلاق در تحقیقات پزشکی انجام شد. این مطالعه دارای کد ثبت در کارآزمایی IRCT20201022049111N1 از مرکز ثبت کارآزمایی بالینی ایران است. جامعه هدف این پژوهش شامل کلیه افراد با تشخیص MI نوع ۱، بر اساس معیارهای

بر اساس گزارش انجمن قلب آمریکا، بیماری‌های قلبی عروقی، به ویژه انفارکتوس میوکارد (MI) (Myocardial Infarction) که پیامد انسداد عروق کرونر است، علت اصلی مرگ و میر و ناتوانی در سراسر جهان است (۱). بر اساس بررسی‌های اخیر، تقریباً سه تا چهار میلیون نفر در هر سال دچار MI می‌شوند و تخمین زده شده حدود ۲۳ میلیون نفر تا سال ۲۰۳۰ به MI دچار شوند (۲). شواهد مستند ثابت کرده‌اند که تمرین ورزشی مناسب می‌تواند یک راهبرد درمانی برای عوارض MI باشد (۳). ورزشی کم داخله غیر دارویی موثر است که سلامت و عملکرد قلب و عروق را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، ورزش عوامل خطر بیماری‌های قلبی عروقی و مرگ و میر ناشی از همه علل را در بیماران قلبی عروقی کاهش می‌دهد (۴). مشخص شده است که ورزش باعث بهبود عملکرد بطن چپ ساز MI می‌شود (۵). با توجه به رابطه دوز-پاسخ بین شدت و / یا مدت تمرین و فواید کلی قلبی عروقی، انتخاب صحیح حالت توانبخشی ورزشی به ویژه برای بیماران مبتلا به MI مهم است (۶). تمرین مداوم با شدت متوسط (MICT) (Moderate intensity continuous training) به دلیل ایمنی و اثربخشی بالا روش تمرینی ترجیحی برای توانبخشی قلبی است (۷). با این حال، اخیراً مشخص شده است که تمرینات تناوبی با شدت بالا (HIIT) نسبت به MICT در توانبخشی قلبی بیماران مبتلا به بیماری قلبی عروقی مؤثرتر است (۸). HIIT شامل دوره‌های متناوب تمرین هوازی شدید با دوره‌های استراحت غیرفعال یا فعال با شدت متوسط/پایین است (۹). برنامه‌های تمرینی مختلف HIIT بر اساس شدت، مدت تناوب، تعداد تناوب‌ها و ماهیت دوره استراحتی در بیماران مبتلا به بیماری قلبی مورد استفاده قرار گرفته است (۱۰). اخیراً نشان داده شده است که HIIT با حجم کم علیرغم تعهد زمانی بسیار کمتر و کاهش حجم کل تمرین، باعث تحریک بازسازی فیزیولوژیکی می‌شود که قابل مقایسه با تمرین MICT است (۱۱). در مطالعه سیلوا و همکاران (۲۰۲۲) پروتکل‌های HIIT-2:2 و HIIT-30:30 مزایای برتری نسبت به پروتکل MICT ارائه کردند و آنها پیشنهاد کردند که HIIT یک ابزار عملی است و می‌توان آن را در برنامه‌های توانبخشی

دوچرخه و تردمیل این بود که با در نظر گرفتن برنامه HIIT از تأثیرات مفصلی تردمیل جلوگیری شود. وضعیت قلبی بیماران در خلال تمرینات ورزشی توسط الکتروکاردیوگرام به صورت مداوم بررسی و در سیستم ثبت شد. منطقه تمرین بهینه شده با استفاده از فرمول Karvonen محاسبه شد، که ضربان قلب تمرین را به عنوان درصدی از ضربان ذخیره قلب، اضافه شده به ضربان قلب در حالت استراحت محاسبه می‌کند (۱۹). شدت تمرین از طریق تغییرمداوم در سرعت و شیب تردمیل، یا توان (W) و سرعت دوچرخه ورزشی، تنظیم شد تا اطمینان حاصل شود که تمام جلسات تمرینی با ضربان قلب هدف انجام می‌شود (۱۳). شدت تمرین با نظارت بر ضربان قلب ذخیره توسط ضربان سنج پولار (Kempele, Polar Electro، فنلاند) کنترل شد. ضربان قلب، فشار خون و میزان تلاش درک شده با استفاده از مقیاس اصلی بورگ (۶ تا ۲۰ امتیاز) قبل، در طول و بعد از هر جلسه ارزیابی شد (۲۰). هر جلسه شامل ۱۰ دقیقه گرم کردن ۱۰ دقیقه سرد کردن با تمرینات کششی سبک و غیرفعال برای اطمینان از بازگشت تدریجی ضربان قلب و فشارخون به مقادیر استراحتی بود.

پروتکل تمرین تناوبی با شدت بالا روی تردمیل: تمامی جلسات تمرینی شامل راه رفتن روی تردمیل در سربالایی بود. هفته اول تا هفته چهارم: ۲ تناوب ۴ دقیقه ای با شدت ۸۵٪ ضربان قلب ذخیره، هفته پنجم تا هفته هشتم: ۲ تناوب ۴ دقیقه ای با شدت ۹۰٪ ضربان قلب ذخیره، از هفته نهم تا پایان هفته دوازدهم شامل ۲ تناوب ۴ دقیقه ای با شدت ۹۵٪ ضربان قلب ذخیره بود. بعد از هر تناوب، ۳ دقیقه استراحت فعال با شدت ۶۵٪ تا ۷۵٪ ضربان قلب ذخیره انجام شد. زمان تمرین در طول ۱۲ هفته ۲۰ دقیقه بود و اضافه بار این گونه اعمال شد: تا هفته هشتم هر سه هفته یک بار ۵ درصد به شدت تمرین اضافه شد به گونه ای که شدت تمرین در ۶ هفته آخر به ۹۵٪ ضربان قلب ذخیره رسید. هر جلسه تمرینی شامل ۶ دقیقه راه رفتن بر روی تردمیل با شدت متوسط (۶۵ تا ۷۵ درصد ضربان قلب ذخیره) قبل از شروع تناوب ها بود (۲۱، ۲۲).

"چهارمین تعریف جهانی انفارکتوس میوکارد" (۱۸)، مراجعه کننده به بیمارستان قلب شهید مدنی بود. کلیه شرکت کنندگان پس از اعلام فراخوان و آگاهی از اهداف و خطرات احتمالی مطالعه، داوطلب شرکت در مطالعه شدند. از بین داوطلبین ۲۰ بیمار مرد انتخاب شدند. ملاک‌های ورود به مطالعه شامل: ابتلا به MI نوع ۱ با و بدون بالا رفتن قطعه ST در الکتروکاردیوگرام (ECG)، محدوده سنی ۴۵-۶۰ سال، $>40\%$ کسر جهشی (EF)، درمان موثر بازسازی عروقی (آنژیوپلاستی عروق کرونر از راه پوست (PTCA)، ریتم سینوسی پایدار، سپری شدن شش ماه تا دو سال از MI، حداقل معادل متابولیک ≥ 5 METs در تست ورزش، زمان در دسترس برای انجام برنامه تمرینی و عدم سابقه شرکت در برنامه‌های توانبخشی قلبی بود. ملاک خروج از مطالعه نیز شامل ابتلا به آریتمی‌های بدخیم بطنی، مشکلات اسکلتی عضلانی که با ورزش تداخل دارد، بیماری‌های متابولیک از جمله دیابت (گلوکز پلازما در حالت ناشتا ≥ 126 میلی‌گرم در دسی‌لیتر و میزان هموگلوبین گلیکوزیله برابر یا بیش از ۶/۵ درصد)، چاقی (>30 نمایه توده بدنی (BMI)، دارا بودن یک عارضه جانبی جدی (مانند آنژین صدری، تنگی نفس، سبکی سر) و بیش از ۳ جلسه غیبت در جلسات تمرینی بود. آزمودنی‌ها پس از اخذ رضایت نامه کتبی آگاهانه و پس از پر کردن پرسشنامه آمادگی فعالیت بدنی (PAR-Q) و نظر پزشک متخصص مبنی بر وضعیت پایدار و بدون تغییرات دارویی، فشارخون ثابت و کنترل شده، به دو گروه تمرین HIIT با حجم کم ($n=10$) و گروه کنترل ($n=10$) تقسیم شدند. شایان ذکر است که گروه کنترل در هیچ نوع فعالیت ورزشی شرکت نکردند. آزمودنی‌ها طی جلسه توجیهی با اهداف و فرآیند تحقیق، برنامه زمان بندی و چگونگی اجرای تمرینات ورزشی آشنا شدند. آزمودنی‌ها ۳ جلسه در هفته به مدت ۱۲ هفته (یک جلسه بر روی تردمیل و دو جلسه دیگر بر روی دوچرخه ورزشی)، زیر نظر یک پزشک متخصص و متخصصان فیزیولوژی ورزشی تمرین کردند. از بیماران درخواست کردیم که در طول مطالعه هیچ گونه فعالیت ورزشی دیگری در اوقات فراغت انجام ندهند. منطق استفاده از

CPETها در صبح انجام شد. دمای اتاق (۲۲-۲۴) درجه سانتیگراد)، رطوبت نسبی (۶۰-۴۰)، و روشنایی با توجه به شرایط اولیه برای اطمینان از ارزیابی های سازگار کنترل شدند. اندازه گیری VO_2peak توسط فیزیولوژیست با تجربه کور شده، بر روی تردمیل (NautilusT616, 300 LBS, USA) با استفاده از پروتکل تعدیل شده بروس انجام شد. در این پروتکل شیب و سرعت در حجم کاری کمتر از آزمایش استاندارد افزایش می یابد و به طور مناسب اصلاح شده است تا افزایش تدریجی تلاش را تضمین کنند (۲۸). دوره بازیابی فعال چهار دقیقه با شیب ۰ درصد و ۵۰ درصد حداکثر سرعت به طول انجامید و سرعت هر ۳۰ ثانیه به میزان ۱۰ درصد کاهش یافت. قبل از اندازه گیری VO_2peak ، آزمودنی ها در مورد پروتکل ها، رتبه بندی مقیاس تلاش ادراک شده (RPE) و معیارهای قطع آزمون مطلع شدند و به آنها آموزش داده شد که تا حداکثر حد مجاز ورزش کنند. الکتروکاردیوگرام ۱۲ لید (ECG) به طور مداوم ثبت شد و فشار خون هر ۲ دقیقه در طول تمرین اندازه گیری شد (۲۹). ضربان قلب به طور مداوم با استفاده از ضربان سنج پولار (Polar Electro OY، فنلاند) ثبت شد و حداکثر ضربان قلب قابل دستیابی (HR_{peak}) تعیین شد. آنالیز مصرف اکسیژن (VO_2) با استفاده از یک آنالایزر تبادل گاز Cortex Metalyzer 3B Biophysik GmbH, (Cortex Leipzig, Germany) اندازه گیری شد. معیارهای قطع پروتکل CPET با توجه به توصیه های کالج پزشکی ورزشی آمریکا به شرح زیر در نظر گرفته شد (۳۰):

- (۱) عدم تداوم گام در مرحله دویدن روی تردمیل؛
 - (۲) رسیدن به حداکثر ضربان قلب پیش بینی شده (HR_{max}) برای سن بیمار؛
 - (۳) نسبت تبادل تنفسی < 1.15
- یک پزشک ورزشی و یک متخصص قلب به طور سیستماتیک CPET را تفسیر کردند و بیماران در صورت پاسخ غیر طبیعی به ورزش از مطالعه حذف شدند (۳۱). همچنین، وزنبدن با استفاده از ترازوی الکترونیکی (دقت، ۰/۱ کیلوگرم) و با پوشیدن لباس سبک، قد (cm) (SECA 213)، شاخص توده بدن (BMI) (kg/m^2)

پروتکل تمرین تناوبی با شدت بالا روی دوچرخه ورزشی: هفته اول و دوم: ۴ تناوب ۳۰ ثانیه ای با شدت ۸۵٪ ضربان قلب ذخیره، هفته سوم و چهارم: ۶ تناوب ۳۰ ثانیه ای با شدت ۸۵٪ ضربان قلب ذخیره، از هفته پنجم تا پایان هفته دوازدهم شامل ۸ تناوب ۳۰ ثانیه ای با شدت ۹۰ تا ۹۵ درصد ضربان قلب ذخیره بود. بعد از هر تناوب، استراحت فعال ۶۰ ثانیه ای با شدت ۶۵٪ تا ۷۵٪ ضربان قلب ذخیره انجام شد. زمان تمرین در طول ۱۲ هفته ۲۰ دقیقه بود و اضافه بار این گونه اعمال شد: تا هفته هشتم هر سه هفته یک بار ۵ درصد به شدت تمرین اضافه شد به گونه ای که شدت تمرین در ۶ هفته آخر به ۹۵٪ ضربان قلب ذخیره رسید. هر جلسه تمرینی شامل ۸ تا ۱۴ دقیقه رکاب زدن روی دوچرخه با شدت متوسط (۶۵ تا ۷۵ درصد ضربان قلب ذخیره) قبل از شروع تناوب ها بود (۲۱، ۲۳).

شاخص های ساختاری (LVIDd و LVPWd) و عملکردی ($LVEF$ ، $LVEDV$ ، SV) قلب تمام آزمودنی ها ۴۸ ساعت قبل از اولین جلسه تمرینی و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی به روش تک بعدی و دو بعدی با استفاده از اکوکاردیوگرافی (Philips Affinity 70G; Philips Healthcare, Andover, MA, USA) در حالت استراحت در موقعیت دکوبیتوس جانبی چپ بر طبق دستورالعمل انجمن اکوکاردیوگرافی آمریکا انجام شد (۲۴). شاخص $LVEDd$ و $LVPWT$ با استفاده از روش دو بعدی (2D) اندازه گیری و $LVEF$ ، $LVEDV$ با روش تکمیل شده Simpson در نمای آپیکال حفره ای چهار محاسبه شدند (۲۵). همچنین مقادیر SV از اختلاف بین $LVEDV$ و $LVEDV$ به دست آمد (۲۶). $LVEF$ بر اساس فرمول $EF = (EDV - ESV) / EDV \times 100$ محاسبه شد (۲۷). برای اندازه گیری VO_2peak به داوطلبان آموزش داده شد که لباس راحت بپوشند و از ورزش شدید بدنی (به مدت ۴۸ ساعت قبل از آزمون)، مصرف الکل (۱۲ ساعت قبل از آزمایش)، و مصرف کافئین (۳ ساعت قبل از آزمایش) اجتناب کنند. دارو و صبحانه حداقل ۱ ساعت قبل از آزمایش داده شد. برای جلوگیری از تأثیر ریتم شبانه روزی بر متغیرهای مورد مطالعه، تمام

کنترل پس از ۱۲ هفته، قطر پایان دیاستولی بطن چپ ($P=0/000$)، کسر تزریقی بطن چپ ($P=0/002$)، VO_2 peak ($P=0/008$) به طور معناداری کاهش یافت. بطن چپ استراحت ($P=0/001$) به طور معناداری افزایش یافت. در مقایسه گروه‌ها، بین قطر پایان دیاستولی بطن چپ ($P=0/048$)، حجم پایان دیاستولی بطن چپ ($P=0/006$)، حجم ضربه ای ($P=0/010$)، کسر تزریقی بطن چپ ($P=0/000$) و VO_2 peak ($P=0/027$)، ضربان قلب استراحت ($P=0/001$)، فشارخون سیستولی ($P=0/004$) تفاوت معناداری بین گروه HIIT و گروه کنترل مشاهده شد. با این حال، مقایسه میانگین‌های مقادیر ضخامت دیواره خلفی بطن چپ پایان دیاستول ($P=0/830$) تفاوت معناداری را بین گروه‌ها نشان نداد.

بحث

توانبخشی قلبی مبتنی بر ورزش درمانی برای بیماران مبتلا به بیماری قلبی عروقی توصیه شده است. با این وجود، این موضوع بحث برانگیز است که کدام پروتکل تمرینی HIIT برای بیماران پس از انفارکتوس میوکارد (MI) مفیدتر است. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف شناسایی تغییرات شاخص‌های ساختاری و عملکردی قلب بیماران مبتلا به MI در پاسخ به یک دوره تمرین تناوبی هوازی با حجم کم و با شدت بالا انجام شد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که ۱۲ هفته HIIT با حجم کم در بیماران مرد پس از MI منجر به افزایش معنادار VO_2 peak، LVEF، قطر و حجم پایان دیاستولی و حجم ضربه‌ای و کاهش معنادار ضربان قلب استراحت، فشارخون سیستولی و دیاستولی شد اما تفاوت معنی‌داری در مقادیر میانگین ضخامت دیواره خلفی بطن چپ پایان

(SECA) (213) قبل از تست ورزش قلبی ریوی ارزیابی شد (۳۲). فشار خون نیز با استفاده از فشارسنج جیوه‌ای به عنوان بخشی از پارامتر فیزیولوژیک اندازه‌گیری شد و ضربان قلب با استفاده از پالس شعاعی اندازه‌گیری شد. شرکت کنندگان در حالی که پشت خود را به صندلی تکیه داده بودند و بازوهای خود را با زاویه ۹۰ درجه خم کرده بودند، بی صدا در اتاقی نشستند. پس از ۵ دقیقه استراحت، اولین ارزیابی و پس از ۲ دقیقه اندازه‌گیری دوم انجام شد و از میانگین دو ارزیابی استفاده شد.

تحلیل آماری: برای توزیع طبیعی داده‌ها از آزمون آزمون کولموگروف اسمیرنوف استفاده شد. برای آزمون فرض‌های تحقیق از آزمون‌های آماری T زوجی و T مستقل در سطح معناداری $P < 0/05$ استفاده شد. تمامی آزمون‌های آماری با نرم افزار SPSS نسخه ۲۸ (IBM SPSS, Inc, Armonk, NY) انجام شد.

یافته‌ها

ویژگی‌های آنروپومتریکی آزمودنی‌ها در شرایط پایه در دو گروه همسان سازی شدند. داده‌های جدول ۱ نشان می‌دهد که دو گروه از نظر متغیرهای مذکور با هم متفاوت نبوده و یکسان هستند. همان‌گونه که داده‌های جدول ۲ نشان می‌دهد، پس از ۱۲ هفته تمرین HIIT، قطر پایان دیاستولی بطن چپ ($P=0/000$) حجم پایان دیاستولی بطن چپ ($P=0/003$)، حجم ضربه ای ($P=0/001$)، کسر تزریقی بطن چپ ($P=0/000$) و VO_2 peak ($P=0/000$) به طور معناداری افزایش یافت. همچنین، فشارخون سیستولی ($P=0/041$)، فشارخون دیاستولی ($P=0/013$)، ضربان قلب استراحت ($P=0/010$) به طور معناداری کاهش یافت. اما در گروه

جدول ۱- ویژگی‌های آنروپومتریکی آزمودنی‌ها به تفکیک گروه‌ها

سطح معناداری	تمرین HIIT (n=۱۰)	کنترل (n=۱۰)	
۰/۹۲۰	۱/۳۰±۴۹/۸۰	۱/۴۷±۴۹/۶۰	سن (سال)
۰/۴۷۳	۲/۳۴±۱۶۸/۸۰	۳/۰۲±۱۷۱/۶۰	قد (سانتی متر)
۰/۳۷۱	۲/۸۰±۸۴	۲±۸۰/۳۷	وزن (کیلوگرم)
۰/۱۴۹	۱/۳۴±۲۹/۵۳	۰/۸۵±۲۷/۱۳	شاخص توده بدن (کیلوگرم بر متر مربع)
۰/۱۳۸	۲/۱±۶/۸	۲/۴±۶/۹	مت (MET)

جدول ۲- نتایج آزمون مقایسه t زوجی برای مقایسه میانگین پیش آزمون و پس آزمون تغییرات شاخص‌های ساختاری و عملکردی دستگاه قلبی-عروقی بیماران مبتلا به MI در گروه کنترل و تمرین HIIT

متغیر	گروه	قبل از مداخله	بعد از مداخله	سطح معناداری
ضربان قلب استراحت (ضربه در دقیقه)	کنترل	1/92 ± 83	86/70 ± 1/95	*./0.01
	تمرین HIIT	3/09 ± 80/60	75/80 ± 2/12	*./0.10
فشارخون سیستولی (میلی متر جیوه)	کنترل	3/11 ± 128	2/60 ± 135/30	-/0.89
	تمرین HIIT	5/26 ± 122/20	4/85 ± 120/10	*./0.41
فشارخون دیاستولی (میلی متر جیوه)	کنترل	1/04 ± 86/70	1/47 ± 93/40	-/279
	تمرین HIIT	3/89 ± 82/50	4/11 ± 77/90	*./0.13
کسر تزریقی (%)	کنترل	2/40 ± 49/50	1/93 ± 38/10	*./0.02
	تمرین HIIT	1/67 ± 46/50	1/85 ± 52	*./0.00
اوج اکسیژن مصرفی (میلی لیتر / کیلوگرم. دقیقه)	کنترل	0/17 ± 24/08	0/15 ± 23/62	*./0.08
	تمرین HIIT	0/21 ± 23/92	0/34 ± 26/44	*./0.00
حجم پایان دیاستولی بطن چپ (میلی لیتر)	کنترل	7/17 ± 82/70	5/12 ± 80/20	-/533
	تمرین HIIT	4/63 ± 94/30	1/20 ± 109/50	*./0.03
حجم ضربه‌ای (میلی لیتر)	کنترل	3/36 ± 27/90	3/02 ± 34/50	-/154
	تمرین HIIT	3/38 ± 36/10	3/20 ± 47/20	*./0.01
قطر پایان دیاستولی بطن چپ (میلی متر)	کنترل	2/08 ± 47/40	1/98 ± 44	*./0.00
	تمرین HIIT	1/81 ± 44/90	1/35 ± 49/10	**./0.00
ضخامت دیواره خلفی بطن چپ پایان دیاستول (میلی متر)	کنترل	0/26 ± 9/70	-/31 ± 9/65	-/662
	تمرین HIIT	0/22 ± 9/60	-/33 ± 9/73	-/561

در سطح 0/05 P < معنادار است.

یافته‌های ما با برخی مطالعات قبلی، علی‌رغم استفاده از پروتکل‌های فاصله زمانی مختلف، چه از نظر حجم و / یا شدت، مطابقت داشت. در یک مطالعه چند مرکز یا خیر در بیماران نارسایی قلبی با ثبات بالینی با کسر جهشی کاهش یافته (EF)، نشان داده شد که HIIT، EF را افزایش داد (33). مطالعات قبلی بر روی افراد مبتلا به CAD نشان داده است که برای یک حجم ثابت تمرین، شدت بالاتر با بهبود بیشتر در $VO_{2\text{ peak}}$ همراه است (34، 35). بنابراین، ممکن است HIIT با حجم کم به افزایش حجم خون و بازگشت وریدی (به دلیل پمپاژ عضلات اسکلتی و انقباض وریدی) منجر شده است که

دیاستولی وجود نداشت. از سوی دیگر، گروه کنترل تفاوت آماری معناداری را در LVEF، $VO_{2\text{ peak}}$ ، قطر پایان دیاستولی و ضربان قلب استراحتی نشان داد اما تفاوت معناداری در حجم پایان دیاستولی، حجم ضربه ای، ضخامت دیواره خلفی بطن چپ پایان دیاستولی، فشارخون سیستولی و دیاستولی مشاهده نشد. همچنین کاهش معناداری در فشارخون سیستولی و دیاستولی، ضربان قلب استراحت و افزایش معناداری در $VO_{2\text{ peak}}$ ، قطر و حجم پایان دیاستولی، حجم ضربه ای و کسر تزریقی بطن چپ گروه HIIT با حجم کم در مقایسه با گروه کنترل مشاهده شد.

جدول ۳- نتایج آزمون آمستقل برای مقایسه میانگین تغییرات شاخص‌های ساختاری و عملکردی دستگاه قلبی-عروقی بیماران مبتلا به MI در گروه کنترل و تمرین HIIT بعد از مداخله

متغیر	کنترل	تمرین HIIT	سطح معناداری
ضربان قلب استراحت (ضربه در دقیقه)	۸۶/۷۰±۱/۹۵	۷۵/۸۰±۲/۱۲	*./۰.۰۱
فشارخون سیستولی (میلی متر جیوه)	۲/۶۰±۱۳۵/۳۰	۴/۸۵±۱۲۰/۱۰	*./۰.۱۵
فشارخون دیاستولی (میلی متر جیوه)	۱/۴۷±۹۳/۴۰	۴/۱۱±۷۷/۹۰	*./۰.۰۲
کسر تریقی (%)	۱/۹۳±۳۸/۱۰	۱/۸۵±۵۲	*./۰.۰۰
اوج اکسیژن مصرفی (میلی لیتر / کیلوگرم. دقیقه)	۰/۱۵±۲۳/۶۲	۰/۳۴±۲۶/۴۴	*./۰.۲۷
حجم پایان دیاستولی بطن چپ (میلی لیتر)	۵/۱۲±۸۰/۲۰	۱/۲۰±۱۰۹/۵۰	*./۰.۰۶
حجم ضربه ای (میلی لیتر)	۳/۰۲±۳۴/۵۰	۳/۲۰±۴۷/۲۰	*./۰.۱۰
قطر پایان دیاستولی بطن چپ (میلی متر)	۱/۹۸±۴۴	۱/۳۵±۴۹/۱۰	*./۰.۴۸
ضخامت دیواره خلفی بطن چپ پایان دیاستول (میلی متر)	۰/۳۱±۹/۶۵	۰/۳۳±۹/۷۳	۰/۸۳۰

در سطح ۰/۰۵ P معنادار است.

این حال، نتایج یک مطالعه متاآنالیز که اثرات HIIT بر بیماران پس از MI را در مدت زمان پیگیری بین ۶ تا ۱۲ هفته بررسی کردند، تفاوت معنی داری در فشار خون سیستولیک و دیاستولیک، ضربان قلب اوج و استراحت، کسر جهشی بطن چپ، حجم انتهایی دیاستولیک بطن چپ و کیفیت زندگی بین گروه HIIT و گروه کنترل یافت نکردند (۱۷). همچنین، نتایج یک مطالعه آزمایشی کوچک بر روی هشت بیمار پس از MI حاد که شامل یک دوره تمرینی ۱۲ هفته‌ای HIIT و گروه کنترل بود، تغییر معناداری را در حجم پایان دیاستولی هر دو گروه نشان نداد (۴۲). دلایل ناسازگاری این مطالعات با یافته‌های مطالعه حاضر ممکن است، وضعیت بالینی متفاوت شرکت کنندگان، تعداد شرکت کنندگان، تفاوت‌های شدت HIIT و پروتکل‌ها و مدت‌های تمرین متفاوت باشد. همچنین، نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین ضخامت دیواره خلفی بطن چپ در پایان دیاستول در گروه HIIT افزایش جزئی و غیر معناداری داشته است. گزارش‌ها حاکی از آن است که فعالیت هوازی موجب اعمال بار حجمی بر قلب، افزایش حفره‌های قلبی به ویژه بطن چپ و توام با آن افزایش نسبی دیواره‌های بطنی قلبی می‌شود (۴۳). شاید دلیل تغییرات غیر معنادار ضخامت دیواره خلفی پایان دیاستول بطن چپ در این مطالعه، پر شدن سریع بطن چپ هنگام دیاستول بطنی یا حجم کم برنامه تمرینی بوده است، زیرا حجم برنامه تمرینی به اندازه ای

این به نوبه خود طبق قانون فرانک — استارلینگ با افزایش کشش بطنی و قدرت انقباضی بطن سرانجام به افزایش کسر تریقی منجر شده است که در نهایت موجب افزایش حجم ضربهای و کاهش ضربان قلب استراحت می‌شود و یکی از دلایل احتمالی افزایش معنادار VO_2 peak، افزایش حجم خون و قطر پایان دیاستولی بطن چپ می‌باشد، زیرا این دو سازو کار، افزایشی را در تعداد میتوکندری‌ها و محتویات آنزیمی آنها، تراکم مویرگی و جریان خون بهتر در عضلات فعال و عضلات قلب به وجود می‌آورد (۳۶). یک مطالعه متاآنالیز نشان داد که HIIT عملکرد بهتری در کاهش ضربان قلب استراحت، فشارخون سیستولی و فشارخون دیاستولی در حال استراحت دارد (۳۷). ضربان قلب و فشارخون سیستولی و دیاستولی توسط سیستم عصبی مرکزی از طریق فعالیت سمپاتیک در قلب و عروق تعدیل می‌شود (۳۸). بنابراین، تمرینات با شدت بالا می‌تواند بر تنظیم سیستم عصبی خودمختار قلب و عروق خونی تأثیر بگذارد (۳۹). در این راستا، یک مطالعه پیشنهاد کرد که برهمکنش‌های پویا بین مدارهای پیش‌خور و بازخورد فرمان مرکزی و رفلکس پرسور تمرین در تعیین تنظیمات طولانی‌مدت در سیستم‌های عصبی سمپاتیک و پاراسمپاتیک مهم هستند (۴۰). با توجه به اینکه این خواسته‌ها وابسته به شدت هستند (۴۱)، HIIT ممکن است استرس حاد برتر را ارتقا داده باشد و در نتیجه سازگاری‌های فیزیولوژیکی لازم را ایجاد کرده باشد.

References

1. Wu T, Liu W. Functional hydrogels for the treatment of myocardial infarction. *NPG Asia Mater.* 2022;14(1):1-5.
2. Mozaffarian D, Benjamin EJ, Go AS, Arnett DK, Blaha MJ, Cushman M, et al. American Heart Association Statistics Committee; Stroke Statistics Subcommittee. Executive Summary: Heart Disease and Stroke Statistics--2016 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation.* 2016;133:447-54.
3. Guo Y, Chen J, Qiu H. Novel mechanisms of exercise-induced cardioprotective factors in myocardial infarction. *Front Physiol.* 2020;11:199.
4. Lin H, Sardana M, Zhang Y, Liu C, Trinquart L, Benjamin EJ, et al. Association of Habitual Physical Activity with Cardiovascular Disease Risk. *Circ Res.* 2020;127(10):1253-1260.
5. Alhumaid W, Small SD, Kirkham AA, Becher H, Pituskin E, Prado CM, et al. A Contemporary Review of the Effects of Exercise Training on Cardiac Structure and Function and Cardiovascular Risk Profile: Insights from Imaging. *Front Cardiovasc Med.* 2022;9:753652.
6. Franklin BA, Thompson PD, Al-Zaiti SS, Albert CM, Hivert MF, Levine BD, et al. Exercise-Related Acute Cardiovascular Events and Potential Deleterious Adaptations Following Long-Term Exercise Training: Placing the Risks into Perspective-An Update: A Scientific Statement from the American Heart Association. *Circulation.* 2020;141(13):e705-e36.
7. Hussain SR, Macaluso A, Pearson SJ. High-Intensity Interval Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training in the Prevention / Management of Cardiovascular Disease. *Cardiol Rev.* 2016;24:273-281.
8. Hannan, A.L.; Hing, W.; Simas, V.; Climstein, M.; Coombes, J.S.; Jayasinghe, R.; Byrnes, J.; Furness, J. High-Intensity Interval Training versus Moderateintensity Continuous Training within Cardiac Rehabilitation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Open Access J Sport Med.* 2018;9:1-17.
9. Abdelhalem AM, Shabana AM, Onsy AM, Gaafar AE. High intensity interval training exercise as a novel protocol for cardiac rehabilitation program in ischemic Egyptian patients with mild left ventricular dysfunction. *Egypt Heart J.* 2018;70(4):287-94.
10. Gayda M, Ribeiro PA, Juneau M, Nigam A. Comparison of different forms of exercise training in patients with cardiac disease: where does high-intensity interval training fit? *Can J Cardiol.*

نبوده است که تغییرات ساختاری بارزی را در پی داشته باشد.

با توجه به دانش ما و مقالاتی که به آنها دسترسی داشتیم، این مطالعه جز معدود مطالعاتی است که تاثیر حجم تمرین HIIT را بر پاسخ شاخص های ساختاری و عملکردی قلبا استفاده ترکیبی از نوارگردان و دوچرخه کارسنج بررسی می کند. عدم دسترسی تمام وقت برای کنترل شرایط روحی و روانی، تغذیه و خواب از مودنی ها، از محدودیت های مطالعه حاضر محسوب می شود. با توجه به لزوم کنترل تمرینات از نظر بار، شدت، مدت زمان تمرین و تعداد جلسات، توصیه می شود پروتکل های مختلف HIIT بر روی بیماران مبتلا به MI به همراه بررسی های اکوکاردیوگرافی مقطعی بر روی تغییرات ساختاری بطن چپ در این افراد انجام شود تا نتایج این مطالعات شواهد خوبی را برای توانبخشی مبتنی بر ورزش درمانی در این بیماران به ارمغان آورد تا مشخص شود چه حجمی و شدتی از HIIT می تواند منجر به بهبودی بیشتری در شاخص های ساختاری و عملکردی قلب در این بیماران شود.

نتیجه گیری

به طور کلی پژوهش حاضر نشان داد تمرین HIIT با حجم کم، ساختار و عملکرد بطن چپ را بهبود می بخشد، اما به نظر می رسد برای دستیابی به تغییرات ساختاری بارزتری در بطن چپ بیماران مبتلا به MI به حجم تمرینی بیشتری نیاز است. بنابراین به احتمال زیاد می توان نتیجه گرفت که عملکرد قلبی بیماران مبتلا به MI در صورت شرکت در تمرینات HIIT با هر حجمی بهبود می یابد، اما این بیماران برای دستیابی به تغییرات بارزتر در ساختار بطن چپ می توانند به حجم های بالاتر تمرین HIIT در صورت صلاح دید پزشک بپردازند.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله مراتب سپاس خویش را از تمامی شرکت کنندگان در پژوهش حاضر اعلام می داریم.

11. Sabag A, Little JP, Johnson NA. Low-volume high-intensity interval training for cardiometabolic health. *J Physiol*. 2022;600:1013-26.
12. Silva LRB, Gentil P, Seguro CS, de Oliveira JCM, Silva MS, Marques VA, et al. High-Intensity Interval Training Improves Cardiac Autonomic Function in Patients with Type 2 Diabetes: A Randomized Controlled Trial. *Biology (Basel)*. 2022;11(1):66.
13. Jayo-Montoya JA, Maldonado-Martín S, Aispuru GR, Gorostegi-Anduaga I, Gallardo-Lobo R, Matajira-Chia T, et al. Low-volume high-intensity aerobic interval training is an efficient method to improve cardiorespiratory fitness after myocardial infarction: Pilot study from the interfarct project. *J Cardiopulmonary Rehabil Prev*. 2020;40(1):48-54.
14. Keteyian SJ, Hibner BA, Bronsteen K, et al. Greater improvement in cardiorespiratory fitness using higher-intensity interval training in the standard cardiac rehabilitation setting. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2014;34(2):98-105.
15. Elliott AD, Rajopadhyaya K, Bentley DJ, Beltrame JF, Aromataris EC. Interval training versus continuous exercise in patients with coronary artery disease: a meta-analysis. *Heart Lung Circ*. 2015;24(2):149-157.
16. Powell R, McGregor G, Ennis S, Kimani PK, Underwood M. Is exercise-based cardiac rehabilitation effective? A systematic review and meta-analysis to re-examine the evidence. *BMJ Open*. 2018;8(3):e019656-2017-019656.
17. Qin Y, Kumar Bundhun P, Yuan ZL, Chen MH. The effect of high-intensity interval training on exercise capacity in post-myocardial infarction patients: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Prev Cardiol*. 2022;29(3):475-84.
18. Thygesen K, Alpert JS, Jaffe AS, Chaitman BR, Bax JJ, Morrow DA, et al. Fourth universal definition of myocardial infarction (2018). *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*. 2019;72:72.
19. Karvonen MJ, Kentala E, Mustala O. The effects of training on heart rate. *Ann Med Exp Biol Fenn*. 1957;35:377-81.
20. Ribeiro PA, Boidin M, Juneau M, Nigam A, Gayda M. High-intensity interval training in patients with coronary heart disease: prescription models and perspectives. *Ann Physic Rehabil Med*. 2017;60(1):50-7.
21. Maldonado-Martín S, Jayo-Montoya JA, Matajira-Chia T, Villar-Zabala B, Goirierna JJ, Aispuru GR. Effects of combined high-intensity aerobic interval training program and Mediterranean diet recommendations after myocardial infarction (INTERFARCT Project): study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2018 Dec;19(1):1-1.
22. Achttien RJ, Staal JB, van der Voort S, Kemps HM, Koers H, Jongert MW, Hendriks EJ. Exercise-based cardiac rehabilitation in patients with coronary heart disease: a practice guideline. *Netherlands Heart J*. 2013 Oct;21(10):429-38.
23. Guiraud T, Nigam A, Gremeaux V, Meyer P, Juneau M, Bosquet L. High-intensity interval training in cardiac rehabilitation. *Sports Med*. 2012 Jul;42(7):587-605.
24. Woodiwiss AJ, Molebatsi N, Maseko MJ, Libhaber E, Libhaber C, Majane OH, et al. Nurse-recorded auscultatory blood pressure at a single visit predicts target organ changes as well as ambulatory blood pressure. *J Hypertens*. 2009;27(2):287-97.
25. Papadopoulou SL, Sachpekidis V, Kantartzi V, Styliadis I, Nihoyannopoulos P. Clinical validation of an artificial intelligence-assisted algorithm for automated quantification of left ventricular ejection fraction in real time by a novel handheld ultrasound device. *Eur Heart J Digit Health*. 2022;3(1):29-37.
26. Shephard RJ. Advanced Cardiovascular Exercise Physiology. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2011;36(2):309-10.
27. Feigenbaum H, Armstrong WF, Ryan T. Feigenbaum's echocardiography. Lippincott Williams & Wilkins; 2005.
28. Stefani L, Mascherini G, Galanti G. Aerobic threshold for exercise prescription. *Int J Clin Med*. 2010;1(1).
29. Fletcher GF, Balady GJ, Amsterdam EA, Chaitman B, Eckel R, Fleg J, et al. Exercise standards for testing and training: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation*. 2001;104(14):1694-740.
30. Thompson P.D.; Arena R, Riebe D, Pescatello L.S. American College of Sports Medicine ACSM's New Preparticipation Health Screening Recommendations from ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, Ninth Edition. *Curr Sports Med Rep*. 2013;12: 215-217.
31. Levett DZ, Jack S, Swart M, Carlisle J, Wilson J, Snowden C, et al. Perioperative cardiopulmonary exercise testing (CPET): consensus clinical guidelines on indications, organization, conduct, and physiological interpretation. *Br J Anaesthesia*. 2018;120(3):484-500.
32. Norton K, Whittingham N, Carter L, Kerr D, Gore C, Marfell-Jones M. Measurement techniques in anthropometry. *Anthropometrica*. 1996;1:25-75.
33. Ellingsen O, Halle M, Conraads V, Stoylen A, Dalen H, Delagardelle C, et al. High-intensity interval training in patients with heart failure with reduced ejection fraction. *Circulation*. 2017;135:839-49.
34. Rognmo Ø, Hetland E, Helgerud J, Hoff J, Slørdahl SA. High intensity aerobic interval exercise is superior to moderate intensity exercise for increasing aerobic capacity in patients with coronary artery disease. *Eur J Prev Cardiol*. 2004;11(3):216-22.
35. Moholdt T, Madssen E, Rognmo Ø, Aamot IL. The higher the better? Interval training intensity in

coronary heart disease. *J Sci Med Sport*. 2014;17(5):506-10.

36. Park SK, Park JH, Kwon YC, Yoon MS, Kim CS. The effect of long-term aerobic exercise on maximal oxygen consumption, left ventricular function and serum lipids in elderly women. *J Physiol Anthropol Appl Hum Sci*. 2003;22(1):11-7.

37. Way KL, Sultana RN, Sabag A, Baker MK, Johnson NA. The effect of high Intensity interval training versus moderate intensity continuous training on arterial stiffness and 24 h blood pressure responses: A systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport*. 2019;22(4):385-91.

38. Christofaro DG, Casonatto J, Vanderlei LC, Cucato GG, Dias RM. Relationship between resting heart rate, blood pressure and pulse pressure in adolescents. *Arq Brasil Cardiol*. 2017;108:405-10.

39. Besnier F, Labrunee M, Pathak A, Pavy-Le Traon A, Gales C, Senard JM, et al. Exercise training-induced modification in autonomic nervous system: An update for cardiac patients. *Ann Physic Rehabil Med*. 2017;60(1):27-35.

40. Fu QI, Levine BD. Exercise and the autonomic nervous system. *Handbook of clinical neurology*. 2013;117:147-60.

41. Fisher JP, Young CN, Fadel PJ. Autonomic adjustments to exercise in humans. *Compr Physiol*. 2015;5(2):475-512.

42. Trachsel LD, David LP, Gayda M, Henri C, Hayami D, Thorin-Trescases N, et al. The impact of high-intensity interval training on ventricular remodeling in patients with a recent acute myocardial infarction-A randomized training intervention pilot study. *Clin Cardiol*. (2019) 42:1222-31.

43. Hildick-Smith DJ, Shapiro LM. Echocardiographic differentiation of pathological and physiological left ventricular hypertrophy. *Heart*. 2001;85(6):615-9.