

Research Paper

The Effect of a Twelve-week Endurance Swimming Training on Structural and Functional Features of Heart in Inactive Male Adolescents



Peyman Jokar¹, Naser Behpoor², *Leila Fasihi³, Ahmad Fasihi⁴, Bahman Ebrahimi Torkamani⁴

1. Department of Physical Education and sport science, Faculty of Physical Education and sport science, Azad University of Borujerd, Borujerd, Iran.

2. Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Science, Razi University, Kermanshah, Iran.

3. Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

4. Department of Exercise Physiology, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.



Citation Jokar P, Behpoor N, Fasihi L, Fasihi A, Ebrahimi Torkamani B. The Effect of a Twelve-week Endurance Swimming Training on Structural and Functional Features of Heart in Inactive Male Adolescents. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2021; 10(4):756-767. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.10.4.11>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.10.4.11>



Received: 21 Apr 2020

Accepted: 05 Sep 2020

Available Online: 23 Sep 2021

Keywords:

Swimming, Structure of the heart, Echocardiography, Inactive adolescents

ABSTRACT

Background and Aims Exercise plays an essential role in improving cardiovascular function. Due to the increasing tendency of children and adolescents to swim, this study aimed to investigate the effect of twelve weeks of endurance swimming training on structural and functional characteristics of the heart of inactive adolescents

Methods The present study was quasi-experimental with a pre-test, post-test design. Thirty inactive male students with an age range of 13 to 15 years (age 14.1 ± 1.7 years, height 164.5 ± 5.26 cm, and weight 54.4 ± 6.2 kg) were selected voluntarily. Then They were non-randomly divided into experimental ($n=15$) and control ($n=15$) groups. The subjects in the experimental group performed endurance swimming exercises for 12 weeks and three sessions per week with an intensity of 60% of maximum heart rate. Also, the duration of each training session was 75 minutes. The echocardiography measured the left ventricular end-diastolic dimension, left ventricular end-systolic diameter, septal wall thickness, stroke volume, and ejection fraction before and after the exercise protocol. Shapiro-Wilk test, paired t-test, and independent t-test were used to analyze the obtained data at a significant level of $P < 0.05$.

Results In the experimental group, after 12 weeks of swimming training, there was a significant increase in the amount of left ventricular end-diastolic dimension ($t=2.763$, $P=0.02$), and the stroke volume variables ($t=2.573$, $p=0.03$) was observed in comparison with baseline (pre-test) and control groups. Also, the increase in the septal wall thickness and the ejection fraction between the two ventricles were not statistically significant ($P > 0.05$). No significant change was observed in the control group in any of the measured indicators compared to the baseline (pre-test).

Conclusion The present study results showed that 12 weeks of endurance swimming training could have beneficial effects on left ventricular end-diastolic dimension and stroke volume of the heart of inactive adolescent boys by increasing cardiac preload.

*** Corresponding Author:**

Leila Fasihi

Address: Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

Tel: +98 (912) 2183604

E-Mail: l_fasihi@atu.ac.ir

Extended Abstract

1. Introduction

Regular exercise is an essential strategy for maintaining good health in children and adolescents. Regular exercise changes the structure and function of the respiratory and cardiovascular systems to supply transport oxygen and nutrients to active muscles and other tissues. Today, the medical and sports community widely supports regular physical activity and sports. Physical activity is essential for improving fitness and reducing the risk of cardiovascular disease in obese and normal children.

Regular exercise leads to several automatic and physiological adjustments that increase cardiovascular function and exercise capacity. Cardiac hypertrophy is a compensatory response in which the size of the limb adapts to the body's systemic needs. Cardiac hypertrophy occurs in response to physical activity, and increased pressure, along with increased blood volume returning to the heart and the Frank-Starling mechanism, triggers hypertrophic signals. Undoubtedly, among sports, swimming is the healthiest, and due to minor injuries, it is recently one of the most popular sports globally among children and adolescents.

Swimming is a sport whose unique physiological stimuli distinguish it from other sports performed on the ground. Unique aspects of this exercise that may affect heart function include immersion in water and the possible effects of hydrostatic pressure and water temperature, supine position, use of both upper and lower limbs, and the need for restraint. Hockey reports that swimming reduces the internal diameter of the left ventricle during systole, reduces the size of the posterior wall of the left ventricle, reduces heart rate, increases the ejection fraction and left ventricular stroke volume in adults.

Compared to adults, there is little information about the trainability and structural and functional adaptations of the hearts of healthy and untrained adolescents. Previous studies have mainly investigated the effect of short-distance swimming exercises on anthropometric, hydrodynamic, biochemical, and metabolic adaptations. However, despite the great interest in swimming in the world, there are few scientific studies on the structural and functional adaptations of the heart of children and adolescents to this sport. Therefore, the study of structural and functional adaptations of the heart of children and adolescents to sports activities, especially swimming exercises, needs further investigation. Thus, the present study was

conducted to investigate the effect of 12 weeks of endurance swimming training on the structural and functional characteristics of the heart of inactive adolescent boys.

2. Methods

The present study was quasi-experimental with pre-test and post-test design. The statistical sample included 30 inactive boys 13 to 15 years old with a mean age of 14.1 ± 1.7 years, a height of 164.5 ± 5.26 cm, and weight of 54.4 ± 6.2 kg in Malayer, which is two years in the past, they did not regularly participate in any sports activities and were selected as available. Subjects were then randomly divided into groups of experimental ($n=15$) and control ($n=15$). Subjects were informed about the research objectives, the conditions for participating in the test, and various stages. They completed a health questionnaire to be aware of their health status. To participate in the research, the consent of the participants and their parents were completed.

The 12-week endurance swimming training program for the experimental group was that the subjects practiced three days a week. The duration of each activity session was 75 minutes. Before entering the pool water, the first 10 minutes of each workout were devoted to general warm-up exercises. Also, after entering the water, 10 minutes of specific warm-up for special crawl swimming (first to the fourth week) and frog swimming (fifth to the eighth week) and combined (ninth to twelfth week) were performed. It should be noted that the control group did not participate in any sports activities during the study. The endurance training protocol of the experimental group was a low-intensity exercise that included consecutive round-trip pools with crawl and frog swimming. It was performed with a relative intensity of 50% to 60% of the maximum heart rate.

Dimensions of the left ventricular diastolic end, left ventricular systolic end dimensions, interventricular wall thickness, stroke volume, and ejection fraction at baseline (pre-test) and after 12 weeks in both groups using Doppler color Doppler echocardiography (Lab My, ES-AOTE 60) Made in Italy was measured by a cardiologist. Shapiro-Wilk test was used to evaluate the normality of the obtained data. Paired t-test was used for comparison within the research groups, and an independent t-test was used to examine the differences between groups at the significant level of $P \leq 0.05$. All statistical calculations were performed by SPSS software v. 22.

3. Results

The correlated t-test showed that in the experimental group, the variables of left ventricular end-diastolic dimension and stroke volume increased significantly compared to baseline after 12 weeks of swimming exercises. The impact was 3.5% ($P \leq 0.05$). In comparison between the groups using paired t-test, in the experimental group compared to the control group, a significant increase was observed in the variables of left ventricular end-diastolic dimensions and stroke volume ($P \leq 0.05$). No significant change was observed in the other variables measured in the two groups ($P \leq 0.05$).

4. Discussion and Conclusion

The present study results showed that 12 weeks of endurance swimming training significantly increased the impact volume in the experimental group compared to the control group. The ejection fraction also showed a significant increase in the experimental group compared to the control group, but this increase was not statistically significant. According to the present study results, it seems that 12 weeks of participation in endurance swimming exercises can have beneficial effects on the dimensions of left ventricular diastolic end and heart rate inactive adolescent boys. Therefore, parents are advised not to neglect swimming and other sports activities to improve their children's physical capacity and fitness-related parameters.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the ethics committee of Birjand University of Medical Sciences (Code: IR.AUB.REC.1395.275).

Funding

This study was extracted from the MSc. thesis of the first author at Department of Exercise Physiology of Azad University of Borjerd.

Authors' contributions

Authors contributed equally in preparing this article.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors thank the Islamic Azad University of Borjerd and the students who volunteered to participate in the study.

مقاله پژوهشی

تأثیر دوازده هفته تمرین شنای استقامتی بر ویژگی‌های ساختاری و عملکردی قلب پسران نوجوان غیرفعال

پیمان جوکار^۱، ناصر بهپور^۲، *لیلا فصیحی^۳، احمد فصیحی^۴، بهمن ابراهیمی ترکمانی^۵

۱. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه آزاد بروجرد، بروجرد، ایران.
۲. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۳. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.
۴. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: فعالیت ورزشی نقش مهمی در ارتقای عملکرد قلب و عروق دارد. با توجه به گرایش روزافزون کودکان و نوجوانان به رشته ورزشی شنا، هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر دوازده هفته تمرین شنای استقامتی بر ویژگی‌های ساختاری و عملکردی قلب نوجوانان غیرفعال بود.

مواد و روش‌ها: تحقیق حاضر از نوع شبه تجربی با طرح پیش‌آزمون پس‌آزمون بود. ۳۰ دانش‌آموز پسر غیرفعال با دامنه سنی ۱۳ تا ۱۵ سال، (سن 14.1 ± 1.7 سال، قد 164.5 ± 5.26 سانتی‌متر و وزن 54.4 ± 6.2 کیلوگرم) به صورت داوطلبانه انتخاب و سپس به طور غیر تصادفی در دو گروه آزمایش (۱۵ نفر) و کنترل (۱۵ نفر) قرار گرفتند. آزمودنی‌های گروه آزمایش به مدت ۱۲ هفته و ۳ جلسه در هفته با شدت ۶۰ درصد ضربان قلب بیشینه تمرینات استقامتی شنا را انجام دادند. همچنین مدت هر جلسه تمرینی ۷۵ دقیقه بود. متغیرهای ابعاد پایان دیاستولی بطن چپ، ابعاد پایان سیستولی بطن چپ، ضخامت دیواره بین‌بطنی، حجم ضربهای، کسر تزریقی قبل و پس از پروتکل تمرینی با استفاده از دستگاه اکوکاردیوگرافی اندازه‌گیری شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش‌های آماری شاپیرووویلک، تی زوجی و تی مستقل در سطح معنی‌داری $P < 0.05$ استفاده شد.

یافته‌ها: در گروه آزمایش، پس از ۱۲ هفته تمرین شنا افزایش معنی‌داری در میزان متغیرهای ابعاد پایان دیاستولی بطن چپ ($t=2.763$ ، $P=0.02$) و حجم ضربهای ($t=2.573$ ، $P=0.03$) در مقایسه با حالت پایه (پیش‌آزمون) و گروه کنترل مشاهده شد. همچنین افزایش ضخامت دیواره بین دو بطن و کسر تزریقی از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). در گروه کنترل، در هیچ‌کدام از شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده نسبت به حالت پایه (پیش‌آزمون) تغییر معنی‌داری مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: نتایج تحقیق حاضر نشان داد به نظر می‌رسد ۱۲ هفته تمرین شنای استقامتی از طریق افزایش پیش بار قلبی می‌تواند اثرات مفیدی بر ابعاد پایان دیاستولی بطن چپ و حجم ضربهای قلب پسران نوجوان غیرفعال داشته باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹ اردیبهشت

تاریخ پذیرش: ۱۵ شهریور ۱۳۹۹

تاریخ انتشار: ۱ مهر ۱۴۰۰

کلیدواژه‌ها:

شنا، ساختار قلب، اکوکاردیوگرافی، نوجوانان غیرفعال

مقدمه

بزرگسالان و جوانان انجام‌شده و تعداد اندکی بر روی نوجوانان انجام گرفته است. در این راستا اطلاعات خیلی کمی در رابطه با مدت‌زمان و وقوع سازگاری ساختاری و عملکردی قلب نوجوانان بعد از فعالیت ورزشی وجود دارد [۲، ۳]. اطلاعات کسب‌شده از سازگاری‌های قلبی بزرگسالان قابل انتقال به افراد دارای سنین پیش از بلوغ نیست. همان‌طور که نوجوانان از لحاظ جسمانی کمتر بالغ شده‌اند، از لحاظ ورزشی نیز در معرض فعالیت با

تمرینات منظم تغییراتی در ساختار و عملکرد «سیستم تنفسی و قلبی عروق» در جهت تأمین، انتقال اکسیژن و مواد مغذی به عضلات فعال و سایر بافت‌ها به وجود می‌آورد [۱]. اکثر مطالعات انجام‌شده مربوط به سازگاری‌های قلبی بر روی

1. Respiratory and cardiovascular system

* نویسنده مسئول:

لیلا فصیحی

نشانی: تهران، دانشگاه علامه طباطبائی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی.

تلفن: +۹۸ (۹۱۲) ۲۱۸۳۶۰۴

رایانامه: l_fasihi@atu.ac.ir

هر شدت فعالیت ورزشی زیر بیشینه قرار می‌دهد. افزایش حجم پلاسما در نتیجه تمرینات ورزشی منظم بازگشت سیاهرگی را بیشتر می‌کند. بنابراین باعث افزایش حجم ضربه‌ای^۳ خواهد شد [۱۳]. بر اساس گزارش محققان، کودکانی که تمرینات استقامتی انجام داده‌اند، افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی^۴ آنها تنها از طریق توسعه در حداکثر حجم ضربه‌ای بوده است. فعالیت ورزشی منظم در مجموع، دستگاه قلبی عروقی سالمتری را پرورش می‌دهد. با این حال نوع تمرین، تعداد دفعات تکرار، مدت و شدت آن در کودکان مورد بحث است. دستورالعمل‌های رایج توصیه می‌کنند کودکان سنین مدرسه، روزانه حداقل ۶۰ دقیقه فعالیت جسمی آرام تا شدید انجام دهند [۱۴].

بی‌شک در میان ورزش‌ها، شنا سالم‌ترین و به دلیل آسیب اندک، اخیراً یکی از پرطرفدارترین رشته ورزشی در جهان در میان کودکان و نوجوانان محسوب می‌شود. همچنین شنا ورزشی است که محرک‌های فیزیولوژیکی منحصربه‌فرد آن باعث تمایز از آن سایر ورزش‌هایی می‌شود که در زمین انجام می‌شوند و می‌توان آن را جزء رشته‌هایی که انقباض‌های ایزوتونیک زیادی دارد طبقه بندی کرد [۱۵]. جنبه‌های منحصربه‌فرد این ورزش که ممکن است بر عملکرد قلب تأثیرگذار باشد شامل غوطه‌وری بدن در آب و تأثیر احتمالی فشار هیدرواستاتیک و دمای آب، وضعیت خوابیده به پشت، استفاده از هردو اندام فوقانی و تحتانی و نیاز به حبس نفس است [۱۵]. تحقیقات نشان داده‌اند که برای بهبود تناسب اندام و سلامت قلب در کودکان و نوجوانان تمرینات با شدت کم تا متوسط می‌تواند بسیار مؤثرتر از تمرینات تناوبی^۵ با شدت بالا باشد. این روش موجب می‌شود تا به جای فشار بالا در زمان متوالی، شدت تمرین در زمان‌های طولانی‌تری تقسیم شود و فشار کمتری در کل تمرین حس شود که موجب اجرای بیشتر تمرین نیز خواهد شد [۱۶]. همچنین گزارش شده است که ۶ هفته تمرین شنا با شدت بالا به مدت ۳۰ دقیقه در کودکان ۹-۱۰ ساله موجب پیشرفت قابل توجهی در آمادگی هوازی کودکان می‌شود. شنا همچنین می‌تواند یک مداخله تمرینی مؤثر برای کنترل وزن، بهبود ظرفیت فیزیکی و پارامترهای «آمادگی جسمانی»^۶ مرتبط با سلامت در کودکان باشد [۱۷].

سازگاری‌های قلبی عروقی از کودکی شروع می‌شود و این سازگاری‌ها احتمالاً به تناسب اندام و عملکرد کودکان بستگی داشته باشد [۱۸]. گزارش‌ها حاکی از آن است که ورزش شنا باعث کاهش قطر داخلی بطن چپ هنگام سیستول، کاهش ابعاد دیواره خلفی بطن چپ و کاهش ضربان قلب [۱۹]، افزایش کسر تزریقی^۷ بطن چپ [۲۰] و افزایش حجم ضربه‌ای بطن

شدت و مدت کمتری قرار می‌گیرند [۴]. در سال‌های اخیر در بسیاری از کشورهای در حال توسعه و همچنین ایران از یکسو فعالیت جسمانی کودکان و نوجوانان کاهش یافته و از سوی دیگر تماشای تلویزیون و بازی‌های رایانه‌ای و نیز مصرف مواد غذایی پرکالری افزایش یافته است. سبک زندگی کم‌تحرک با گسترش عوامل خطر قلبی عروقی، پیشرفت بیماری‌های کرونر و رویدادهای بالینی خطرناک همراه است [۵]. از سوی دیگر ورزش منظم، یک راهبرد مهم حفظ سلامتی در کودکان و نوجوانان است. امروزه انجام منظم فعالیت بدنی و ورزش به طور گسترده از سوی جامعه پزشکی و ورزشی مورد حمایت قرار گرفته است [۶]. مطالعات همه‌گیرشناسی در ۵۰ سال اخیر نشان می‌دهد که آمادگی جسمانی پایین در کودکی و نوجوانی، با بیماری‌های قلبی عروقی، دیابت نوع ۲ و حتی مرگ‌ومیر در دوران بزرگسالی همراه است. مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که فعالیت بدنی و آمادگی جسمانی با بیماری‌های قلبی عروقی، چاقی و اضافه‌وزن، عوامل روانی، دیابت نوع ۲ و سلامت کودکان و نوجوانان در ارتباط است [۷، ۶]. در دهه‌های گذشته قلب ورزشکاران مورد توج علم پزشکی بوده است.

هایپرتروفی قلب^۲، پاسخی جبرانی است که طی آن اندازه اندام با نیازهای سیستمیک بدن تطابق می‌یابد و بسته به نوع رشد اتفاق افتاده به دو صورت پاتولوژیک و فیزیولوژیک تعریف می‌شود [۴]. برخلاف هایپرتروفی پاتولوژیک قلب که باعث بیماری‌های قلبی عروقی مثل نارسایی قلبی و آریتمی می‌شود [۸]، هایپرتروفی فیزیولوژیک با ساختار طبیعی و عملکرد معمولی یا توسعه یافته قلب همراه است و شامل تکامل مراحل رویانی، تکامل مراحل جنینی و رشد سریع مراحل بعد از تولد و دوران حاملگی است و در پاسخ به فعالیت فیزیکی منظم یا تمرینات ورزشی طولانی مدت نیز رخ می‌دهد. هایپرتروفی فیزیولوژیک در پاسخ به فعالیت بدنی ایجاد می‌شود و فشار افزایش یافته همراه با حجم خون برگشتی بیشتر به قلب و مکانیسم فرانک استارلینگ موجب راه‌اندازی سیگنال‌های هایپرتروفی دهنده می‌شود. مطالعات گوناگونی تغییرات هایپرتروفی قلب را در پی فعالیت‌های بدنی مورد بررسی قرار داده‌اند و نتایج گوناگونی حاکی از بهبود یا عدم تغییر عملکرد و ساختار قلب گزارش شده است [۹، ۱۰]. ولی ابهامات زیادی در مورد چگونگی ایجاد این تغییرات و نحوه دستیابی به بهترین عملکرد قلب باقی مانده است. فعالیت بدنی برای بهبود تناسب اندام و کاهش خطر بیماری‌های قلبی عروقی در کودکان چاق و نرمال ضروری است [۱۱].

فعالیت ورزشی منظم به تعدادی سازگاری‌های خودکار و فیزیولوژیکی منجر می‌شود که پیامد آن افزایش عملکرد قلبی عروقی و افزایش ظرفیت فعالیت ورزشی است [۱۲]. در حالی که ضربان قلب کمتر، قلب را در معرض استرس کمتری در

3. Stroke volume
4. VO₂max
5. Interval exercises
6. Physical fitness
7. Ejection Fraction

2. Cardiac hypertrophy

چپ [۲۱] در بزرگسالان می‌شود. در مقایسه با بزرگسالان، درباره تمرین‌پذیری و سازگاری‌های ساختاری و عملکردی قلب نوجوانان سالم و تمرین‌نکرده اطلاعات اندکی وجود دارد. مطالعات قبلی به طور عمده به بررسی تأثیر تمرینات شنا در مسافت کوتاه بر شاخص‌های آنترئوپومتریکی، هیدرودینامیکی، سازگاری‌های بیوشیمیایی و متابولیکی پرداخته‌اند [۲۲، ۲۳]. به هر حال، علی‌رغم علاقه‌مندی زیاد به ورزش شنا در دنیا، مطالعات علمی ناچیزی در مورد سازگاری‌های ساختاری و عملکردی قلب کودکان و نوجوانان به این رشته ورزشی وجود دارد [۲۰]. از این رو مطالعه سازگاری‌های ساختاری و عملکردی قلب کودکان و نوجوانان نسبت به فعالیت ورزشی، به‌خصوص تمرینات شنا، نیازمند بررسی بیشتر است. بنابراین تحقیق حاضر به منظور بررسی تأثیر ۱۲ هفته تمرین شنای استقامتی بر ویژگی‌های ساختاری و عملکردی قلب پسران نوجوان غیرفعال صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر از نوع شبه‌تجربی^۸ و با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون بود. جامعه آماری تحقیق حاضر شامل کلیه پسران غیرفعال^۹ ۱۳ تا ۱۵ ساله شهرستان ملایر بودند که در ۲ سال گذشته به طور منظم در هیچ فعالیت ورزشی شرکت نکرده بودند. نمونه آماری تحقیق شامل ۳۰ نفر از پسران غیرفعال با میانگین سن $14/1 \pm 1/7$ سال، قد $164/5 \pm 5/26$ سانتی‌متر و وزن $54/4 \pm 6/2$ کیلوگرم شهرستان ملایر بودند و از بین پسران غیرفعالی که برای دوره آموزشی شنا ثبت نام کرده بودند به صورت در دسترس انتخاب شدند. سپس آزمودنی‌ها به طور غیر تصادفی به دو گروه آزمایش (۱۵ نفر) و کنترل (۱۵ نفر) تقسیم شدند. آزمودنی‌ها در خصوص اهداف تحقیق، شرایط شرکت در آزمون و مراحل مختلف آن توجیه شده و به منظور آگاهی از وضعیت تندرستی آنان، پرسش‌نامه تندرستی را تکمیل کردند. بر پایه پرسش‌نامه‌های اطلاعات فردی و تاریخچه پزشکی، هیچ‌یک از آزمودنی‌ها سابقه ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی، نارسایی کبد، کلیه، دیابت، گوارش، آسیب‌های حاد و مزمن عضلانی، شکستگی استخوان، اختلالات و بیماری‌های تنفسی نداشتند. بنابراین معیارهای ورود به تحقیق حاضر، شامل قرار داشتن در دامنه سنی ۱۳ تا ۱۵ سال، سلامتی آزمودنی از نظر شناختی، بینایی و شنوایی، غیرفعال بودن، عدم ابتلا به بیماری‌های حاد و پیشرفته عصبی عضلانی، ارتوپدیک و نورولوژیک، شکستگی اندام، نقص ساختاری و بیماری‌های قلبی عروقی و معیارهای خروج شامل نبود یکی از موارد ذکر شده در معیارهای ورود به تحقیق و عدم تمایل به ادامه همکاری بود.

جهت شرکت در تحقیق رضایت‌نامه شرکت در تحقیق

توسط خود آزمودنی‌ها و والدین آن‌ها تکمیل شد. در ادامه، ویژگی‌های فردی آزمودنی‌ها شامل سن (سال)، قد (سانتی‌متر)، وزن (کیلوگرم)، درصد چربی، شاخص توده بدنی^{۱۰} (کیلوگرم بر مترمربع)، ضربان قلب استراحت و فعالیت^{۱۱} (ضربان در دقیقه) و فشار خون استراحت^{۱۲} (میلی‌متر جیوه) نیز اندازه‌گیری شد. برنامه ۱۲ هفته‌ای تمرین شنای استقامتی برای گروه آزمایش بدین صورت بود که آزمودنی‌ها سه روز در هفته تمرین داشتند. مدت هر جلسه فعالیت ۷۵ دقیقه بود. جلسات تمرینی، بین ساعت ۶ تا ۷:۳۰ غروب در استخر سر پوشیده شنا با دمای نسبی ۳۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد برگزار شد. ۱۰ دقیقه ابتدایی هر جلسه تمرینی پیش از ورود به آب استخر به تمرینات گرم کردن عمومی اختصاص یافت. همچنین پس از ورود به آب، ۱۰ دقیقه گرم کردن اختصاصی ویژه شنای کراال سینه (هفته اول تا چهارم) و شنای قورباغه (هفته پنجم تا هشتم) و ترکیبی (هفته نهم تا دوازده) انجام شد (تصویر شماره ۱). گروه کنترل در مدت‌زمان انجام پژوهش در هیچ فعالیت ورزشی شرکت نکردند.

بدنه اصلی تمرینات هر جلسه ۴۵ دقیقه بود و ۱۰ دقیقه پایانی هر جلسه نیز به تمرینات کششی در آب و سرد کردن اختصاص یافت. پروتکل تمرینات استقامتی گروه آزمایش از نوع تمرینات کم‌شدت که شامل رفت‌وبرگشت‌های متوالی طول استخر با شنای کراال سینه و قورباغه بود و با شدت نسبی ۵۰ تا ۶۰ درصد ضربان قلب بیشینه اجرا شد. جهت کنترل شدت تمرین در داخل آب، از ضربان‌سنج دیجیتالی ضدآب مدل A300 polar ساخت کشور فنلاند استفاده شد. به طوری که جهت جلوگیری از هر گونه اختلال در سیگنال‌دهی ضربان‌سنج، از یک نوار ارتجاعی برای تثبیت ضربان‌سنج در طی شنا استفاده شد.

در هفته اول و دوم ابتدا پس از ۱۰ دقیقه گرم کردن ابتدایی هر جلسه تمرینی، ۱۰ بار طول استخر را می‌پیمودند و فاصله استراحت بین هر طول استخر (۲۵ متر) یک دقیقه استراحت بود. هفته پنجم تا هشتم پس از آموزش شنای قورباغه، بین ۱۰ تا ۱۵ بار طول استخر با توجه به توانایی‌های آزمودنی‌ها به صورت شنای قورباغه پیموده شد. هفته نهم تا دوازده نیز تمرینات به صورت ترکیبی بود. بدین صورت که مسیر رفت را به صورت شنای کراال سینه و برگشت را با شنای قورباغه طی می‌کردند. مسافت طی شده در هفته نهم تا دوازده هم از ۲۰ تا ۳۰ طول استخر به توجه به توانایی‌های آزمودنی‌ها پیموده شد. ابعاد پایان دیاستولی بطن چپ^{۱۳}، ابعاد پایان سیستولی بطن چپ^{۱۴}، ضخامت دیواره بین بطنی^{۱۵}، حجم ضربه‌ای و کسر تزریقی در حالت پایه (پیش‌آزمون) و پس از ۱۲ هفته در هر دو گروه با استفاده از اکوکاردیوگرافی

10. Body Mass Index
11. Resting and activity heart rate
12. Resting blood pressure
13. Left Ventricular End-Diastolic Dimension
14. Left Ventricular End Systolic Diameter
15. Septal wall thickness

8. Quasi-experimental
9. Inactive



تصویر ۱. گرم کردن داخل آب

طب توانبخشی

بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان داد ۱۲ هفته تمرین شنای استقامتی باعث افزایش معنی دار حجم ضربه‌ای در گروه آزمایش در مقایسه با گروه کنترل شد. کسر تزریقی هم در گروه آزمایش در مقایسه با گروه کنترل افزایش قابل توجهی نشان داد، اما این افزایش از لحاظ آماری معنی دار نبود. مطابق با یافته‌های حاصل از این تحقیق، قرائت و همکاران افزایش حجم ضربه‌ای بطن چپ را پس از تمرینات شنای استقامتی و اینتروال با شدت بالا گزارش کردند [۲۱]. اوبرت و همکاران گزارش کرده‌اند که تمرینات استقامتی در کودکان دختر و پسر موجب افزایش معنی دار حجم ضربه‌ای می‌شود [۲۴]. همچنین گاجدا و همکاران با ارزیابی عملکرد قلب شناگران پس از تلاش‌های مکرر استقامتی طاقت‌فرسا طی رالی ۵۰۰ کیلومتری، افزایش کسر تزریقی بطن چپ را گزارش کردند [۲۰]. رولند و همکاران همسو با تحقیق حاضر افزایش حجم ضربه‌ای زمان استراحت ورزشکاران را گزارش کردند. این افزایش احتمالاً به دلیل افزایش حجم حفره بطن چپ و بازگشت وریدی بیشتر است [۲۵] از طرفی، شی [۲۶] و نوتین و همکاران [۲۷] گزارش کرده‌اند که تمرینات استقامتی باعث افزایش حجم ضربه‌ای و برون‌ده قلبی شد، ولی این افزایش از لحاظ آماری معنی دار نبود و عنوان کردند یکی از دلایل عدم افزایش معنی دار حجم ضربه‌ای و برون‌ده قلبی کافی نبودن مدت زمان تمرینات ورزشی می‌تواند باشد. همچنین ترتیبیان و همکاران گزارش کردند حجم ضربه‌ای در نوجوانان پس از ۱۲ هفته تمرین فوتبال افزایش معنی داری یافت، ولی افزایش کسر تزریقی از لحاظ آماری معنی دار نبود [۲۸]. تمرینات ورزشی موجب افزایش توده سلول قرمز و حجم پلاسما می‌شود که موجب افزایش خون برگشتی از عضلات به قلب در طول تمرین می‌شود. بنابراین، حجم ضربه‌ای افزایش یافته سبب بسط عضله قلب می‌شود و در نتیجه باعث

رنگی داپلر (Lab My, ESAOTE 60) ساخت کشور ایتالیا، توسط پزشک متخصص قلب و عروق اندازه‌گیری شد. جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیروویلیک استفاده شد. برای مقایسه درون گروهی گروه‌های تحقیق از آزمون تی زوجی^{۱۶} و برای بررسی تفاوت بین گروهی از آزمون تی مستقل^{۱۷} در سطح معنی داری $P \leq 0.05$ استفاده شد. کلیه محاسبات آماری توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد.

یافته‌ها

در جدول شماره ۱ ویژگی‌های فیزیولوژیکی آزمودنی‌های دو گروه نشان داده شده است. نتایج آزمون تی مستقل نشان داد که در حالت پایه ویژگی‌های آنترپومتریکی، ابعاد و ساختار قلب در هر دو گروه اختلاف معنی داری با هم نداشتند ($P > 0.05$).

نتایج حاصل از آزمون تی همبسته نشان داد در گروه آزمایش متغیرهای ابعاد پایان دیاستولی بطن چپ و حجم ضربه‌ای پس از ۱۲ هفته شرکت در تمرینات شنا نسبت به حالت پایه افزایش معنی داری یافتند ($P < 0.05$). میزان افزایش ابعاد پایان دیاستولی $2/4$ درصد و برای حجم ضربه‌ای $3/5$ درصد بود. در مقایسه بین گروهی که با استفاده از آزمون تی زوجی صورت گرفت در گروه آزمایش نسبت به گروه کنترل افزایش معنی داری در متغیرهای ابعاد پایان دیاستولی بطن چپ و حجم ضربه‌ای مشاهده شد ($P < 0.05$). در سایر متغیرهای اندازه‌گیری شده در دو گروه تغییر معنی داری مشاهده نشد ($P > 0.05$).

16. Paired- t-test
17. Independent- t-test

جدول ۱. ویژگی‌های بدنی و فیزیولوژیکی آزمودنی‌های مورد مطالعه در دو گروه کنترل و آزمایش

متغیر	گروه	میانگین $\pm$ انحراف معیار
سن (سال)	آزمایش	۱۴/۱ $\pm$ ۱/۷
	کنترل	۱۴/۳ $\pm$ ۰/۸
	P-value	۰/۸۵۶
قد (سانتی‌متر)	آزمایش	۱۶۷/۵ $\pm$ ۵/۶
	کنترل	۱۶۴/۲ $\pm$ ۴/۱
	P-value	۰/۷۵۱
وزن (کیلوگرم)	آزمایش	۵۴/۶ $\pm$ ۵/۶
	کنترل	۵۴/۴ $\pm$ ۶/۲
	P-value	۰/۸۶۸
شاخص توده بدن (کیلوگرم بر متر مربع)	آزمایش	۱۹/۴ $\pm$ ۵/۶
	کنترل	۲۰/۵ $\pm$ ۱/۶
	P-value	۰/۷۵۴

طب توانبخش

ضربه‌ای مزیت‌های همودینامیکی را به همراه دارد. تمرینات استقامتی یا به عبارتی تمرینات ایزوتونیک و دینامیکی که اضافه بار حجمی را بر قلب وارد می‌کند، به طور عمده باعث افزایش حجم حفره‌ها و هایپرتروفی اکسنتریک^{۱۸} بطن چپ می‌شود [۳۳]. عدم تغییر در ضخامت دیواره بین دو بطن و ابعاد پایان سیستولی بطن چپ نسبت به حالت پایه احتمالاً در نتیجه کافی نبودن مدت برنامه تمرینات تحقیق حاضر باشد. ممکن است یکی از دلایل عدم تأثیر این باشد که حجم تمرین و شدت تمرین تأثیری بر ضخامت دیواره بین دو بطن افرادی که کمتر از ۱۰ ساعت در هفته تمرین می‌کنند ندارد، اما نشان داده شده که دیواره قلب افرادی که بیشتر از ۱۰ ساعت در هفته تمرین می‌کنند، به صورت معنی‌داری ضخیم‌تر از سایر افراد است [۳۴]. همسو با یافته‌های پژوهش حاضر، قرائت و همکاران [۲۱] با بررسی اثرات ۱۲ هفته تمرین شنای استقامتی (پنج روز در هفته) بر ساختار قلب موش‌های نر، افزایش معنی‌دار وزن قلب و بطن چپ را گزارش کردند. همچنین ترتیبیان و همکاران [۲۸] پس از ۱۲ هفته تمرین پلايومتریک و بازی فوتبال افزایش معنی‌دار ابعاد پایان دیاستولی بطن چپ و حجم ضربه‌ای قلب نوجوانان ۱۳ تا ۱۵ سال سالم را گزارش کردند. با توجه به نتایج تحقیق حاضر و سایر تحقیقات صورت گرفته در این زمینه جهت ایجاد تغییرات مطلوب در ضخامت دیواره بین دو بطن و ابعاد پایان سیستولی بطن چپ، باید از تمرینات طولانی مدت و همچنین

افزایش برون‌ده قلب می‌شود [۲۹]. درجه توسعه متغیرهای قلبی در کودکان و نوجوانان به سطح و نوع تمرینات و همچنین به میزان آمادگی جسمانی اولیه آن‌ها بستگی داشته و در مقایسه با بزرگسالان تفاوت‌های موجود می‌تواند ناشی از تفاوت‌های کمی در اندازه‌گیری‌های نسبی و مطلق بعضی از پاسخ‌های قلب در طول استراحت و ورزش بین کودکان و بزرگسالان باشد [۲۶].

دیگر نتایج تحقیق حاضر همچنین نشان داد ۱۲ هفته تمرین شنای استقامتی باعث افزایش معنی‌دار میزان ابعاد پایان دیاستولی بطن چپ در مقایسه با قبل از تمرین در گروه آزمایش شد. اما ضخامت دیواره بین دو بطن و ابعاد پایان دیاستولی بطن چپ نسبت به حالت پایه تغییر معنی‌داری نداشت. تمرینات استقامتی باعث افزایش حجم خون در کودکان و نوجوانان می‌شود و این نیز به نوبه خود باعث افزایش پیش بار و در نتیجه پرشدن بطن چپ شده و بدین وسیله باعث ایجاد تغییراتی در ابعاد بطن چپ می‌شود [۲۴]. همچنین سازگاری‌های مورفولوژیکی قابل توجهی از بطن چپ در شناگران گزارش شده است [۳۰]. هنگامی که قلب با شرایط حاد ورزشی مواجه می‌شود، تغییراتی در ضربان و قدرت قلب به وجود می‌آید و در طولانی‌مدت این فشارها باعث ایجاد تغییراتی در ابعاد حفره‌های قلب و ضخامت دیواره‌های بطنی می‌شود. احتمالاً این تغییرات بسته به نوع ورزش، سن، جنس و سطح رویه بدن متفاوت باشد [۳۱]. تمرین استقامتی غالباً موجب افزایش قطر دیاستولی [۳۲] و ضخامت دیواره بطن می‌شود. افزایش ابعاد حفره بطن چپ از طریق افزایش حجم

جدول ۲. میانگین و انحراف معیار و سطح معناداری متغیرهای بررسی شده در گروه آزمایش و کنترل

متغیر	گروه	میانگین $\pm$ انحراف معیار		ضریب تغییر	t	P (درون گروهی)
		پیش آزمون	پس آزمون			
ابعاد پایان سیستولی بطن چپ (میلی متر)	کنترل	۲۸/۷۳ $\pm$ ۲/۱۴	۲۸/۷۱ $\pm$ ۲/۳۹	-۰/۰۳	-۰/۳۳۳	۰/۷۵۱
	آزمایش	۲۸/۸۵ $\pm$ ۲/۰۴	۲۸/۸۶ $\pm$ ۲/۲۵	-۰/۰۳	-۰/۸۲۵	۰/۴۲۵
	P (بین گروهی)	۰/۷۷۴	۰/۵۲۱			
ابعاد پایان دیاستولی بطن چپ (میلی متر)	کنترل	۳۴/۲۹ $\pm$ ۳/۱۱	۳۴/۱۹ $\pm$ ۲/۸۸	-۰/۲۹	-۰/۶۶۷	۰/۵۲۱
	آزمایش	۳۶/۵۲ $\pm$ ۲/۵۷	۳۷/۴۱ $\pm$ ۲/۶۸	۲/۴۳	۲/۷۶۳	۰/۰۲۳*
	P (درون گروهی)	۰/۶۴۱	۰/۰۱۱*			
ضخامت دیواره بین بطنی (میلی متر)	کنترل	۱۱/۲۸ $\pm$ ۰/۶۸	۱۱/۲۴ $\pm$ ۰/۷۴	-۰/۳۵	-۰/۱۱۳	۰/۹۱۲
	آزمایش	۱۰/۹۱ $\pm$ ۰/۷۹	۱۱/۴۷ $\pm$ ۰/۸۱	۵/۱۳	۲/۳۸۳	۰/۰۵۸
	P (درون گروهی)	۰/۶۵۸	۰/۰۶۸			
حجم ضربه ای (میلی لیتر)	کنترل	۴۹/۲۸ $\pm$ ۳/۶۸	۴۹/۸۳ $\pm$ ۴/۱۴	۱/۱۱	-۰/۶۳۳	۰/۵۴۲
	آزمایش	۴۸/۷۶ $\pm$ ۳/۷۹	۵۰/۴۷ $\pm$ ۳/۸۸	۳/۵۰	۲/۵۷۳	۰/۰۳*
	P (درون گروهی)	۰/۶۲۱	۰/۰۴۱*			
کسر تزریقی (درصد)	کنترل	۵۸/۴۱ $\pm$ ۵/۳	۵۸/۲۹ $\pm$ ۵/۷۷	-۰/۲۰	-۰/۲۵۲	۰/۸۰۶
	آزمایش	۶۰/۷۴ $\pm$ ۶/۲۲	۶۱/۵۲ $\pm$ ۵/۶۸	۱/۲۸	۲/۰۲۱	۰/۰۷۴
	P (بین گروهی)	۰/۱۳۸	۰/۰۵۶			

طب توانبخشی

* نشانه تفاوت معنی داری در سطح ($P < 0.05$)، ابعاد پایان دیاستولی بطن چپ (Left Ventricular End-Diastolic Dimension)، ابعاد پایان سیستولی بطن چپ (Left Ventricular End Systolic Diameter)، ضخامت دیواره بین بطنی (Septal wall thickness)، حجم ضربه ای (Stroke volume)، کسر تزریقی (Ejection Fraction).

پروتکل های مختلف تمرین استقامتی (به خصوص شنا) بر ساختار و عملکرد بطن چپ پسران و دختران با حجم نمونه بیشتر و برنامه تمرینی طولانی مدت همراه با کنترل تغذیه آزمودنی ها صورت گیرد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد در نظر گرفته شده است (کد اخلاق: IR.AUB.REC.1395.275).

حامی مالی

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه آزاد بروجرد است.

تعداد جلسات بیشتر از ۳ جلسه در هفته استفاده کرد (جدول شماره ۲).

نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر به نظر می رسد ۱۲ هفته شرکت در تمرینات شنای استقامتی می تواند اثرات مفیدی بر ابعاد پایان دیاستولی بطن چپ و حجم ضربه ای قلب پسران نوجوان غیرفعال داشته باشد. بنابراین به والدین توصیه می شود برای بهبود ظرفیت فیزیکی و پارامترهای آمادگی جسمانی مرتبط با سلامت در کودکان خود در کنار سایر فعالیت های ورزشی از شنا غافل نشوند. از محدودیت های تحقیق حاضر می توان به عدم یکسان سازی شرایط روحی و روانی و انگیزشی آزمودنی ها، عدم دسترسی تمام وقت به آزمودنی ها، عدم کنترل کامل تغذیه و خواب آزمودنی ها و تأثیر خستگی روی عملکرد آزمودنی ها اشاره کرد. بنابراین پیشنهاد می شود مطالعه ای در زمینه بررسی تأثیر

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده‌سازی این مقاله مشارکت یکسان داشته‌اند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

References

- [1] Osato S, Onoyama K, Okuda S, Sanai T, Hori K, Fujishima M. Effect of swimming exercise on the progress of renal dysfunction in rat with focal glomerulosclerosis. *Nephron*. 1990; 55(3):306-11. [DOI:10.1159/000185980] [PMID]
- [2] Nystoriak MA, Bhatnagar A. Cardiovascular effects and benefits of exercise. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2018; 5:135. [DOI:10.3389/fcvm.2018.00135] [PMID] [PMCID]
- [3] 3. al. Cardiac adaptation to exercise training in health and disease. *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*. 2020; 472(2):155-68. [DOI:10.1007/s00424-019-02266-3] [PMID]
- [4] Abdul-Ghani M, Suen C, Jiang B, Deng Y, Weldrick JJ, Putinski C, et al. Cardiotrophin 1 stimulates beneficial myogenic and vascular remodeling of the heart. *Cell Research*. 2017; 27(10):1195-215. [DOI:10.1038/cr.2017.87] [PMID] [PMCID]
- [5] Saremi A, Farahani AA, Shavandi N. [Cardiac adaptations (structural and functional) to regular mountain activities in middle-aged men (Persian)]. *Arak Medical University Journal*. 2017; 20(6):31-40. http://jams.arakmu.ac.ir/browse.php?a_id=5140&sid=1&slc_lang=fa&fbxt=1
- [6] Thompson PD, Franklin BA, Balady GJ, Blair SN, Corrado D, Estes III M, et al. Exercise and acute cardiovascular events: Placing the risks into perspective. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2007; 39(5):886-97. [DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.107.181485] [PMID]
- [7] Dixon JB. The effect of obesity on health outcomes. *Molecular and Cellular Endocrinology*. 2010; 316(2):104-8. [DOI:10.1016/j.mce.2009.07.008] [PMID]
- [8] Xiao J, Xu T, Li J, Lv D, Chen P, Zhou Q, et al. Exercise-induced physiological hypertrophy initiates activation of cardiac progenitor cells. *International Journal of Clinical and Experimental Pathology*. 2014; 7(2):663-79. [PMCID]
- [9] Vencunus T, Lionikas A, Marcinkeviciene JE, Raugaliene R, Alekrinskis A, Stasiulis A. Echocardiographic parameters in athletes of different sports. *Journal of Sports Science & Medicine*. 2008; 7(1):151-6. [PMCID]
- [10] Moholdt TT, Amundsen BH, Rustad LA, Wahba A, Løvø KT, Gullikstad LR, et al. Aerobic interval training versus continuous moderate exercise after coronary artery bypass surgery: A randomized study of cardiovascular effects and quality of life. *American Heart Journal*. 2009; 158(6):1031-7. [DOI:10.1016/j.ahj.2009.10.003] [PMID]
- [11] Morrissey C, Montero D, Raverdy C, Masson D, Amiot M-J, Vinet A. Effects of exercise intensity on microvascular function in obese adolescents. *International Journal of Sports Medicine*. 2018; 39(6):450-5. [DOI:10.1055/a-0639-0726]
- [12] Carter JB, Banister EW, Blaber AP. Effect of endurance exercise on autonomic control of heart rate. *Sports Medicine*. 2003; 33(1):33-46. [DOI:10.2165/00007256-200333010-00003] [PMID]
- [13] Rodeheffer RJ, Gerstenblith G, Becker L, Fleg J, Weisfeldt M, Lakatta E. Exercise cardiac output is maintained with advancing age in healthy human subjects: Cardiac dilatation and increased stroke volume compensate for a diminished heart rate. *Circulation*. 1984; 69(2):203-13. [DOI:10.1161/01.CIR.69.2.203] [PMID]
- [14] Mosey T. High intensity interval training in youth soccer players-using fitness testing results practically. *Journal of Australian Strength and Conditioning*. 2009; 17(4):49-51. <https://30-15ift.com/wp-content/uploads/2013/07/mosey-high-intensity-interval-training-in-youth-soccer-players-using-fitness-testing-results-practically.pdf>
- [15] Currie KD, Coates AM, Slys JT, Aubry RL, Whinton AK, Mountjoy ML, et al. Left ventricular structure and function in elite swimmers and runners. *Frontiers in Physiology*. 2018; 9:1700. [DOI:10.3389/fphys.2018.01700] [PMID] [PMCID]
- [16] Buchan DS, Ollis S, Young JD, Thomas NE, Cooper SM, Tong TK, et al. The effects of time and intensity of exercise on novel and established markers of CVD in adolescent youth. *American Journal of Human Biology*. 2011; 23(4):517-26. [DOI:10.1002/ajhb.21166] [PMID]
- [17] Honório S, Mendes PDM, Batista M, Serrano J, Duarte RM, Oliveira J, et al. Effects of swimming and water walking on body composition and spirometric values in young children. *Journal of Human Sport and Exercise*. 2019; 14(Proc1):S47-58. [DOI:10.14198/jhse.2019.14.Proc1.06]
- [18] Ferreira S, Carvalho D, Monteiro AS, Abrales JAA, Vilas-Boas JP, Toubekis A, et al. Physiological and biomechanical evaluation of a training macrocycle in children swimmers. *Sports*. 2019; 7(3):57. [DOI:10.3390/sports7030057] [PMID] [PMCID]
- [19] Valizadeh R, Nikbakht M, khammohammadi R. The effect of swimming training on heart structure and function of elite athletes. *Report of Health Care Journal*. 2018; 4(3):44-53. http://jrhc.miau.ac.ir/article_3119.html
- [20] Gajda R, Kowalik E, Rybka S, Rębowska E, Śmigielski W, Nowak M, et al. Evaluation of the heart function of swimmers subjected to exhaustive repetitive endurance efforts during a 500-km relay. *Frontiers in Physiology*. 2019; 10:296. [DOI:10.3389/fphys.2019.00296] [PMID] [PMCID]
- [21] Gharaat M, Kashef M, Jameie B, Rajabi H. [Effect of endurance and high intensity interval swimming training on cardiac hypertrophy of male rats (Persian)]. *Journal of Shahid Sadoughi University of Medical sciences*. 2018; 26(4):306-18. https://jssu.ssu.ac.ir/browse.php?a_id=4493&sid=1&slc_lang=en
- [22] Gourgoulis V, Valkoumas I, Boli A, Aggeloussis N, Antoniou P. Effect of an 11-week in-water training program with increased resistance on the swimming performance and the basic kinematic characteristics of the front crawl stroke. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2019; 33(1):95-103. [DOI:10.1519/JSC.0000000000001879] [PMID]
- [23] Barbosa TM, Morais J, Marques M, Silva A, Marinho D, Kee Y. Hydrodynamic profile of young swimmers: Changes over a competitive season. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2015; 25(2):e184-96. [DOI:10.1111/sms.12281] [PMID]
- [24] Obert P, Nottin S, Baquet G, Thevenet D, Gamelin F, Berthoin S. Two months of endurance training does not alter diastolic function evaluated by TDI in 9-11-year-old boys and girls. *British Journal of Sports Medicine*. 2009; 43(2):132-5. [DOI:10.1136/bjism.2007.039941] [PMID]
- [25] Rowland T, Potts J, Potts T, Sandor G, Goff D, Ferrone L. Cardiac responses to progressive exercise in normal children: A synthesis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2000; 32(2):253-9. [DOI:10.1097/00005768-200002000-00001] [PMID]
- [26] Shi JR. Cardiac structure and function in young athletes [MSc. Thesis]. Australia: Victoria University. 2003. <https://vuir.vu.edu.au/274/>

- [27] Nottin S, Vinet A, Stecken F, N'guyen LD, Ounissi F, Lecoq AM, et al. Central and peripheral cardiovascular adaptations to exercise in endurance-trained children. *Acta Physiologica Scandinavica*. 2002; 175(2):85-92. [DOI:10.1046/j.1365-201X.2002.00975.x] [PMID]
- [28] Tartibian B, Ebrahimi-Torkamani B. [The effect of a 12 week plyometric and soccer training on the cardiac structure and function among the 13-15 years old boys (Persian)]. *Feyz, Journal of Kashan University of Medical Sciences*. 2017; 21(1):94-101. http://feyz.kaums.ac.ir/browse.php?a_id=3287&sid=1&slc_lang=en&ftxt=1
- [29] Tummavuori M. Long-term effects of physical training on cardiac function and structure in adolescent cross-country skiers: A 6.5-year longitudinal echocardiographic study. Finland: University of Jyväskylä; 2004. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/13524>
- [30] Vasile L. Endurance training in performance swimming. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2014; 117:232-7. [DOI:10.1016/j.sbspro.2014.02.206]
- [31] Maron BJ, Pelliccia A. The heart of trained athletes: Cardiac remodeling and the risks of sports, including sudden death. *Circulation*. 2006; 114(15):1633-44. [DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.106.613562] [PMID]
- [32] Osborn RQ, Taylor WC, Oken K, Luzano M, Heckman M, Fletcher G. Echocardiographic characterisation of left ventricular geometry of professional male tennis players. *British Journal of Sports Medicine*. 2007; 41(11):789-92. [DOI:10.1136/bjism.2007.038661] [PMID] [PMCID]
- [33] Pluim BM, Zwinderman AH, van der Laarse A, van der Wall EE. The athlete's heart: A meta-analysis of cardiac structure and function. *Circulation*. 2000; 101(3):336-44. [DOI:10.1161/01.CIR.101.3.336] [PMID]
- [34] Lee B-A, Oh D-J. The effects of long-term aerobic exercise on cardiac structure, stroke volume of the left ventricle, and cardiac output. *Journal of Exercise Rehabilitation*. 2016; 12(1):37-41. [PMID] [PMCID]