University of Tehran
Faculty of
Sport Sciences and Health

Journal of Sport Biosciences

Online ISNN: 2676-4148

The Effect of Five-Week High-Intensity Interval Training on HRV and RPP Parameters in Girls Aged 7 to 9 Years: Relation to Childhood Overweight

Fatemeh Ranjbar[1], Fahimeh Esfarjani[2]✉, Seyed Mohammad Marandi[3]

1. Department of Sports Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran. E-mail: fatemehranjbarnjf@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Sports Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran. E-mail: f.esfarjani@spr.ui.ac.ir
3. Department of Sports Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran. E-mail:s.m.marandi@spr.ui.ac.ir

Article Info

Article type:

Research article

Article history:
Received:
30 December 2022
Received in revised form:
9 March 2023
Accepted:
11 March 2023
Published online:
11 March 2023

Keywords:
Heart rate variability,
High-intensity interval training,
Maximal fat oxidation,
Rate pressure product,
Six-minute walk test.

ABSTRACT

Introduction: Overweight and obesity in children are the underlying cause of cardiovascular problems that occur through Autonomic Nervous System (ANS) dysfunction, However, physical training has a beneficial effect on the ANS. These changes can be measured through Heart Rate Variability (HRV) indices. Accordingly, the present study aimed to investigate the effect of five weeks of High-Intensity Interval Training (HIIT) on HRV and Rate Pressure Product (RPP) of overweight girls.

Methods: In this research, overweight students in the range of +2 < BMI Z-SCORE <1+ participated in the Experimental and the Control groups. Before and after five weeks of HIIT intervention, the participants underwent the Shuttle Run test to estimate maximal oxygen consumption and the Six-Minute Walking test to estimate maximal fat oxidation (MFO) during exercise. Root Mean Square of Successive Difference (RMSSD) of the R-R wave interval of the heartbeat was recorded to measure resting HRV and also systolic blood pressure and heart rate were recorded to measure resting RPP in the first and the last week. Data analysis was done using dependent t-tests and analysis of covariance (ANCOVA) with a significance level of $p<0.05$.

Results: the results showed that in the training group, five weeks of HIIT intervention caused significant changes in RMSSD, RPP, and MFO of overweight girls ($P<0.05$). However, in the control group, the indices did not change significantly ($P>0.05$).

Conclusion: RMSSD, RPP, and MFO indices can be used as suitable and efficient alternatives to identify children at risk and therapeutic processes before puberty.

Cite this article: Ranjbar F., Esfarjani F., Marandi S.M. The Effect of Five-Week High-Intensity Interval Training on HRV and RPP Parameters in Girls Aged 7 to 9 Years: Relation to Childhood Overweight. *Journal of Sport Biosciences*, 2022; 81- 94.
DOI: https://doi.org/10.22059/JSB.2023.352844.1566

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

University of Tehran
Faculty of
Sport Sciences and Health

Journal of Sport Biosciences

Online ISNN: 2676-4148

Extended Abstract

Introduction

Children overweight and childhood obesity are the underlying cause of cardiovascular problems that occur through Autonomic Nervous System (ANS) dysfunction, However, physical training has a beneficial effect on the ANS. Recent studies have revealed cardiorespiratory fitness (CRF) as a valuable clinical parameter to identify these subjects. It will be based on Heart Rate Variability (HRV) parameters, which have a strong association with CRF and cardiometabolic risk factors. Accordingly, the present study aimed to investigate the effect of five weeks of High-Intensity Interval Training (HIIT) on HRV and Rate Pressure Product (RPP) of 7 to 9 years overweight girls.

Methods

Twenty overweight girls aged 7 to 9 years from Najaf Abad city were assigned to the HIIT intervention group (N: 10; Age: 8/4 years; Weight: 36/4 kg; Height: 133/2 cm) and Control group (N: 10; Age: 8/3 years; Weight: 36/3 kg; Height: 133/6 cm) participated in this study. Before and after the five weeks of HIIT intervention, participants underwent the 20-Meter Shuttle Run (20mSR) test and Six-Minute Walking Test (6MWT). 20mSR data were used to estimate maximal oxygen uptake (VO_{2max}) as an aerobic index and 6MWT data were used to estimate Maximal Fat Oxidation (MFO). Root Mean Square of Successive Difference (RMSSD) of the R-R wave interval of the heartbeat was recorded to measure resting HRV and also systolic blood pressure and heart rate were recorded to measure resting RPP in the first and the last week. Data analysis was done using dependent t-tests and analysis of covariance (ANCOVA) with a significance level of $p<0.05$.

Results

Results showed that five weeks of HIIT intervention caused significant changes in RMSSD and RPP as cardiovascular indices ($P<0.05$). VO2max assessed by the 20mSR test was significantly improved in the HIIT intervention group compared with the Control group ($P<0.05$). A decrease in MFO during exercise and an increase in the distance performed during the 6MWT were observed in overweight girls ($P<0.05$). There was no significant difference in the indices of the Control group.

Conclusion

It seems that HIIT intervention can be effective in improving HRV and RPP in children at risk of obesity and cardiovascular disease by creating physiological and functional adaptations. The RMSSD, RPP parameters as parasympathetic indices, and FMO are in line with each other and they can be used as suitable, cheap, and effective alternatives for identifying at-risk children and therapeutic processes before puberty.

Ethical Considerations:

Compliance with ethical guidelines: While observing all the ethical considerations, the research ethical approval and permits were also obtained from the Medical Sciences Research Center with the ethical code IR.UI.REC.1399.053

Funding: Financial resources were provided by the authors

Authors' contribution: This article is derived from Fatemeh Ranjbar's Master's thesis.

Conflict of interest: the authors declare that they have no mutual interest in writing or publishing this article and there is no conflict of interest.

Acknowledgments: The authors thank all the students who supported us in this research.

علوم زیستی ورزشی
شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۱۴۸
دانشگاه تهران
دانشکده علوم ورزشی و تندرستی

تأثیر پنج هفته تمرینات HIIT بر شاخص‌های HRV و RPP دختران ۷ تا ۹ سال: ارتباط با اضافه وزن در کودکی

فاطمه رنجبر[۱]، فهیمه اسفرجانی[۲]✉، سید محمد مرندی[۳]

۱. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: fatemehranjbarnjf@gmail.com
۲. نویسندهٔ مسؤول، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: f.esfarjani@spr.ui.ac.ir
۳. دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: s.m.marandi@spr.ui.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

کلیدواژه‌ها:
آزمون شش دقیقه پیاده‌روی، تمرین تناوبی شدید، تغییرپذیری ضربان قلب، حداکثر اکسیداسیون چربی تمرینی، شاخص اکسیژن مصرفی قلب.

چکیده

مقدمه: اضافه وزن و چاقی در کودکان زمینه‌ساز بروز مشکلات قلبی- عروقی است که از طریق اختلال در سیستم عصبی خودکار رخ می‌دهد، درحالی‌که فعالیت ورزشی تأثیرات مطلوبی بر ANS دارد. این تغییرات از طریق شاخص های تغییرپذیری ضربان قلب قابل اندازه‌گیری است. بر این اساس هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر پنج هفته تمرین تناوبی شدید بر HRV و RPP دختران دارای اضافه وزن بود.

روش پژوهش: در این پژوهش از دانش‌آموزان دارای اضافه وزن در محدودهٔ ۲+ > BMI Z-SCORE > ۱+ در گروه تجربی و گروه کنترل، استفاده شد. آزمودنی‌ها پیش و پس از پنج هفته تمرین HIIT در آزمون شاتل ران برای برآورد اکسیژن مصرفی بیشینه و شش دقیقه پیاده‌روی برای برآورد حداکثر اکسیداسیون چربی تمرینی شرکت کردند. ریشهٔ میانگین مربع فواصل موج‌های R-R متوالی ضربان قلب (RMSSD) برای اندازه‌گیری HRV استراحتی و فشارخون سیستولیک و ضربان قلب برای اندازه‌گیری RPP استراحتی در هفتهٔ ابتدایی و انتهایی ثبت شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری t همبسته و تحلیل کوواریانس با سطح معناداری p<۰/۰۵ صورت گرفت.

یافته‌ها: در گروه تمرین پنج هفته تمرینات HIIT موجب تغییرات معنادار در RPP, RMSSD و حداکثر اکسیداسیون چربی تمرینی در دختران دارای اضافه وزن شد (P<۰/۰۵). در گروه کنترل شاخص‌ها تغییر معناداری نداشتند.

نتیجه‌گیری: شاخص‌های RPP, RMSSD و حداکثر اکسیداسیون چربی می‌توانند به‌عنوان جایگزین‌های مناسب و کارامد برای شناسایی کودکان در معرض خطر و پروسه‌های درمانی، قبل از سن بلوغ به‌کار روند.

استناد: رنجبر، فاطمه؛ اسفرجانی، فهیمه؛ مرندی، سیدمحمد. تأثیر پنج هفته تمرین تمرینات HIIT بر شاخص‌های HRV و RPP دختران ۷ تا ۹ سال: ارتباط با اضافه وزن در کودکی. *نشریهٔ علوم زیستی ورزشی*. ۱۴۰۱؛ ۱۴(۴): ۸۱-۹۴.
DOI: https://doi.org/10.22059/JSB.2023.352844.1566

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.
CC BY NC

مقدمه

در ۳۰ سال گذشته، شیوع چاقی در دوران کودکی در کشورها و مناطق مختلف افزایش چشمگیری داشته است. چاقی دوران کودکی را می‌توان نشانگر اولیهٔ احتمالی برای بروز چاقی در بزرگسالی در نظر گرفت. همچنین نشانگرهای زیستی، افزایش پیامدهای نامطلوب قلبی و عروقی را در کودکان با مشکل چاقی و اضافه وزن نشان می‌دهد (۱). این کودکان آمادگی قلبی- تنفسی کمتر و مرگ‌ومیر بیشتری نسبت به همتایان خود با وزن طبیعی دارند. این در حالی است که بی‌تحرکی به‌عنوان یک سبک زندگی مدرن نه‌تنها در بزرگسالان، بلکه در کودکان نیز در حال افزایش است (۲،۱). تغییرات در مورفولوژی قلب به‌دلیل چاقی، زمینه‌ساز اختلال عملکرد مدولاسیون اتونوم قلبی[1] معرفی شده است. این تغییرات در افراد چاق می‌تواند در برون‌ده قلبی و عملکرد هوموستاز که به عملکرد سیستم قلبی عروقی بستگی دارد، تداخل ایجاد کند (۳). اختلال عملکرد اتونوم قلبی که با کاهش تون پاراسمپاتیک (واگ) مشخص می‌شود، در کودکان با سطح پایین آمادگی جسمانی نیز گزارش شده است (۲).

تغییرپذیری ضربان قلب[2] که بازتابی از مدولاسیون سیستم عصبی خودمختار است، با ارزیابی تون سمپاتیک و پاراسمپاتیک قلب، به روش غیرتهاجمی و به دو روش آنالیز در حیطهٔ زمانی و آنالیز در حیطهٔ فرکانسی، صورت می‌گیرد (۴،۲). اختلال در تغییرپذیری ضربان قلب به‌عنوان نشانگر شدت بیماری‌های قلبی- عروقی و افزایش بروز مرگ‌ومیر شناخته شده است (۴). شاخص‌های HRV با واسطهٔ واگ با چندین فاکتور خطر از جمله دیابت، عدم تحمل گلوکز، بیماری‌های قلبی -عروقی، مقاومت به انسولین، چاقی مرکزی، چربی خون و فشارخون بالا رابطهٔ معکوس دارد (۵). شایان ذکر است که مدولاسیون خودکار قلبی در کودکان و نوجوانان چاق با کاهش مقادیر شاخص‌های پاراسمپاتیکی RMSSD,PNN50 در حوزهٔ زمان و HF در حیطهٔ فرکانس در مقایسه با گروه‌های کنترل آنها همراه بوده است (۶). شواهد محکم نشان می‌دهد که میان این شاخص‌ها، RMSSD که عبارت است از ریشهٔ میانگین مربع فواصل موج‌های R-R متوالی ضربان قلب، برای ارزیابی HRV استراحتی به‌طور چشمگیری با آمادگی قلبی تنفسی در ارتباط است (۷).

همان‌گونه‌که بیان شد، RMSSD بازتابی از فعالیت سیستم پاراسمپاتیک و تون واگ است (۵). RPP [3] نیز به‌عنوان شاخص اکسیژن مصرفی قلب، ابزاری قابل اعتماد در مشاهدهٔ پاسخ‌های سیستم خودمختار قلبی نسبت به ورزش در افراد سالم و یا بیمار است که نشان‌دهندهٔ تون پاراسمپاتیک است. برای تعیین نیاز انرژی و میزان استرس وارده به قلب در حین ورزش، متخصصان قلب یا فیزیولوژیست‌های ورزشی از RPP استفاده می‌کنند. این یک مشاهده از میزان اکسیژن مصرفی میوکارد و نشان‌دهندهٔ بار داخلی میوکارد هنگام ضربان قلب است. به‌نظر می‌رسد RPP در فعالیت‌های ورزشی با شدت متوسط یا زیاد، در طول تمرین افزایش داشته باشد، اما پس از دورهٔ ریکاوری زیر خط پایه کاهش می‌یابد (۸). همچنین در کودکان پیش‌دبستانی بین RPP در حالت استراحت و در صد چربی بدن ارتباط مستقیمی وجود دارد (۹).

متأسفانه بیش از ۴۱ درصد از کودکان و نوجوانان ۶ تا ۱۷ ساله در سراسر جهان دستورالعمل‌های فعلی فعالیت جسمانی را رعایت نمی‌کنند. ازاین‌رو نیاز به مداخلات نوآورانه و مؤثر برای مدیریت چاقی کودکان و ارتقای آمادگی جسمانی آنها وجود دارد. مطالعات در دهه‌های اخیر، به اثربخشی تمرینات HIIT به‌عنوان روشی کارامد از نظر زمان برای بهبود توان قلبی- تنفسی و سلامت در جمعیت‌های نوجوان اشاره دارد (۱). شدت ورزش ممکن است نقش مهمی در تنظیم مدولاسیون اتونوم قلبی، به‌ویژه در رابطه با RMSSD را ایفا کند (۱۰). تحقیقات نشان داده است پس از تمرینات HIIT[4]، هنگامی‌که تغییرپذیری ضربان قلب توسط شاخص‌های خطی و غیرخطی ارزیابی می‌شود، در مدولاسیون پاراسمپاتیک یا سمپاتیک بهبودی حاصل می‌شود. بنابراین HIIT روشی امیدوارکننده برای بهبود کنترل اتونوم قلبی است که توصیه می‌شود در افراد سالم و بیماران مبتلا به سندروم متابولیک استفاده شود (۱۱). مداخلات HIIT (از ۴ تا ۱۲

[1] .Cardiac Autonomic Modulation (CAM)
[2]. Heart Rate Variability (HRV)
[3]. Rate-Pressure Produc
[4]. High-Intensity Interval Training Exercise

هفته) می‌تواند در بهبود فشارخون و ظرفیت هوازی در جوانان چاق و دارای اضافه وزن در مقایسه با سایر انواع ورزش‌ها مؤثرتر و کارامدتر باشد (۱۲). در تحقیقات محدودی به بهبود فعالیت واگ به‌دنبال فعالیت‌های با شدت بالا در کودکان اشاره شده است (۱۳). این در حالی است که حتی کودکان دارای اضافه وزن که تحت تمرین شدید هوازی قرار دارند، با نقصان سیستم خودمختار آشکار درگیرند (۱۴). تحقیقات انجام‌گرفته در گروه‌های مختلف کودکان (جمعیت‌های بالینی یا بیماری‌های قلبی) و در محیط‌های مختلف (مانند محیط‌های آزمایشگاهی، مدرسه، بالینی و ورزشی)، ناهمگونی در داده‌ها را نشان می‌دهد (۱۵).

با توجه به اینکه نتایج مداخلات HIIT برای کودکان دارای اضافه وزن و چاق ناهمگن است و تا به امروز روش مناسبی برای به حداکثر رساندن کارایی مدولاسیون قلبی مشخص نیست، اهمیت تأثیرات مداخلات مختلف HIIT را در تعیین راهبرد بهینه، دوچندان می کند. با توجه به ارتباط تنگاتنگ آمادگی قلبی- تنفسی بر سلامت افراد به‌ویژه در سنین حساس رشد، این سؤال مطرح است که آیا بررسی منظم برای ارزیابی تأثیرات تمرینات HIIT بر پاسخ‌های مدولاسیون قلبی در کودکان اضافه وزن، می‌تواند شاخص‌هایی مانند HRV, RPP را که به‌عنوان شاخص‌هایی برای شناسایی خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی- عروقی و کارایی سیستم خودکار قلب سنجیده می‌شوند، در حد مطلوب ارتقا دهند.

روش‌شناسی

شرکت‌کنندگان

این پژوهش تحقیق کاربردی است که در آن ۲۰ دختر سالم دارای اضافه وزن در شهرستان نجف‌آباد، در محدودهٔ سنی ۷ تا ۹ سال شرکت کردند. این افراد طبق طبقه‌بندی سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۰۷ برای ردهٔ سنی ۵ تا ۱۹ سال در محدودهٔ ۲+ -BMI Z < SCORE ۱+ هستند (۱۶). این محدوده مربوط به کودکان دارای اضافه وزن است که برای کودکان ۷ تا ۹ سال، شاخص تودهٔ بدنی از ۱۸ تا ۲۱ متغیر بود. علاوه‌بر این دقت شد تا کودکان موردنظر، طبق رده‌بندی بلوغ تانر، وارد مراحل بلوغ نشده باشند. این کودکان در یک سال اخیر سابقهٔ فعالیت ورزشی نداشتند. برای انجام تحقیق حاضر از طریق فراخوانی و آگهی در باشگاه‌های ورزشی و مراکز بهداشتی درمانی منطقه ۲۳ نفر به‌صورت هدفمند انتخاب شدند. پیش از شروع آزمون، آزمودنی‌ها و والدینشان برگهٔ رضایت‌نامه و پرسشنامهٔ آمادگی فعالیت جسمانی برای همه (PAR- Q+) را به‌منظور بررسی سلامت عمومی و عدم محدودیت پزشکی برای انجام فعالیت‌های ورزشی را تکمیل کردند. اگرچه در این پژوهش ۲۳ آزمودنی در دو گروه کنترل و تمرین شرکت کردند، ولی عدم شرکت در جلسات تمرینی بیش از سه جلسه موجب حذف داده‌های سه نفر از آزمودنی‌ها در گروه تمرین شد. در نهایت داده‌های ۱۰ نفر در گروه کنترل و ۱۰ نفر در گروه تمرین استفاده شد. همچنین فرایند پژوهش حاضر توسط کمیتهٔ اخلاق در پژوهش دانشگاه اصفهان (IR.UI.REC.1399.053) تأیید شد.

ویژگی‌های آنتروپومتریک آزمودنی‌ها

میانگین داده‌ها در آزمودنی‌ها که در دو گروه کنترل و تجربی قرار داشتند، در جدول ۱ ارائه شده است (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات کلی آزمودنی‌ها

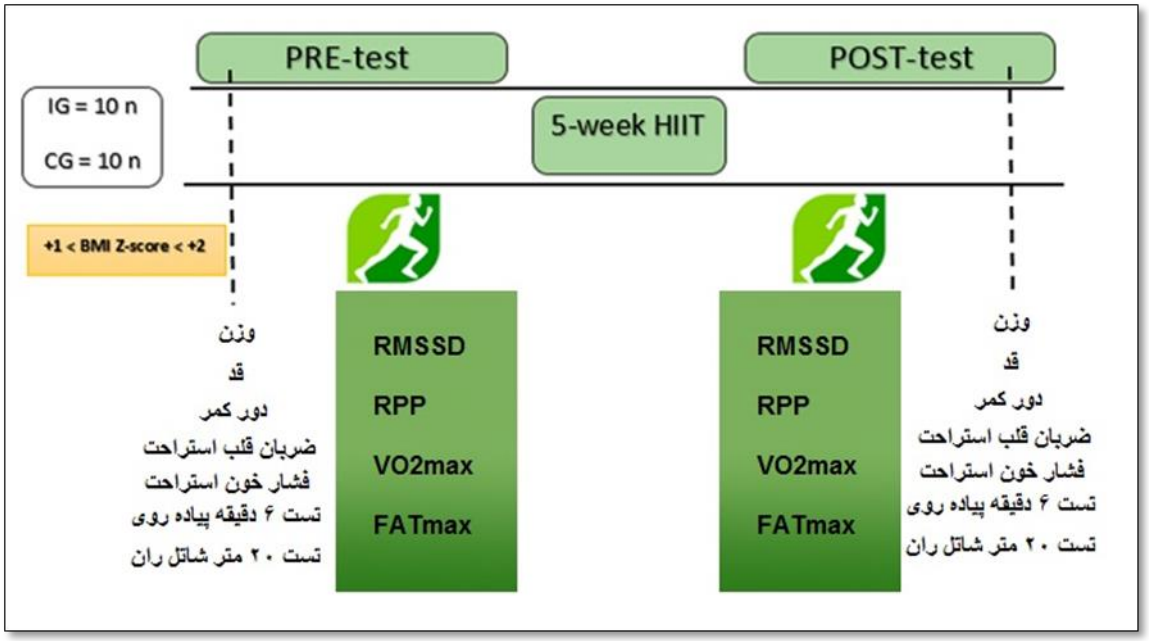
متغیر	گروه تمرین (میانگین ±انحراف معیار)	گروه کنترل (میانگین±انحراف معیار)
تعداد	۱۰	۱۰
سن (سال)	۸/۴ ± ۰/۴	۸/۴ ± ۰/۳
وزن (کیلوگرم)	۳۶/۴ ± ۴/۲	۳۶/۳ ± ۲/۷
قد (متر)	۱۳۳/۲ ± ۳/۲	۱۳۲/۶ ± ۳/۴
شاخص تودهٔ بدن (کیلوگرم/ مترمربع)	۲۰/۵۲ ± ۰/۷	۲۰/۶۲ ± ۰/۷
دور کمر	۷۲/۹ ± ۲/۳۱	۷۳/۲۴ ± ۲/۳۷

روند اجرای تحقیق

طرح پژوهش به‌صورت دو گروه (گروه تمرین و گروه کنترل) اجرا شد. با فاصلهٔ دو روز، پیش و پس از پنج هفته مداخلهٔ تمرینی متغیرهای سن، قد، وزن، دور کمر و شاخص تودهٔ بدن (BMI-zscore) و سایر متغیرها اندازه‌گیری شد (شکل ۱). تغییرپذیری ضربان قلب با استفاده از آنالیز در حیطهٔ زمانی با اندازه‌گیری شاخص RMSSD (ریشهٔ توان دوم میانگین مجموع مربعات اختلاف بین فواصل زمانی امواج R-R ضربان قلب) به مدت دو دقیقه و ۳۰ ثانیه در حالت درازکش، صبح‌ها پس از بیدار شدن و پیش از هرگونه فعالیتی توسط آزمودنی‌ها در هفتهٔ ابتدایی و انتهایی دورهٔ تمرینی توسط سنسور ضربان‌سنج بلوتوث‌دار (H10) شرکت پلار ساخت فنلاند و اپلیکیشن گوشی تلفن همراه هوشمند (Elite HRV) ویژهٔ اندازه‌گیری تغییرپذیری ضربان قلب اندازه‌گیری شد. داده‌های RMSSD با استفاده از نرم‌افزار کوبیوس تحلیل شد (۱۷،۱۸). RPP از حاصل‌ضرب فشارخون سیستولیک و ضربان قلب در حال استراحت به‌دست آمد. در صبح قبل از بلند شدن از رختخواب همزمان با ثبت HRV، ضربان قلب نیز توسط سنسور ضربان‌سنج بلوتوث‌دار H10، ساخت شرکت پولار به مدت دو دقیقه و۳۰ ثانیه ثبت شد. فشارخون با استفاده از دستگاه فشارسنج بازویی عقربه‌ای ساخت ژاپن و استتوسکپ و کاف ویژهٔ کودکان که به دست راست بسته شد، ارزیابی شد. فرد در وضعیت نشسته قرار گرفت و سه بار با فواصل دودقیقه‌ای فشارخون فرد ثبت شد (۹، ۱۹).

RPP(bpm.mmhg) = فشار خون سیستولیک استراحت × ضربان قلب استراحت

آزمودنی‌ها در آزمون شش دقیقه پیاده‌روی به‌منظور برآورد حداکثر اکسیداسیون چربی تمرینی و آزمون ۲۰ متر شاتل ران جهت برآورد توان هوازی (VO2max) شرکت کردند. این آزمون‌ها با فاصلهٔ یک روز از جلسات تمرین انجام گرفت تا اثر خستگی جسمانی بر نتایج کاهش یابد. از آزمودنی‌ها خواسته شد تا سه ساعت پیش از اجرای آزمون‌ها از خوردن غذای پرحجم اجتناب کنند و ۲۴ ساعت قبل فعالیت جسمانی متوسط تا شدید نداشته باشند. با وجود این کنترل برنامهٔ غذایی کودکان در طول اجرای برنامهٔ تحقیقی از محدودیت‌های تحقیق به‌شمار می‌رود. شاخص‌های موردنظر در شکل ۱ به‌صورت مختصر بیان شده است.



شکل ۱. شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده پیش و پس از پنج هفته تمرینات HIIT در گروه کنترل و تمرین

آزمون ۲۰ متر شاتل ران: در ابتدا کودکان با مراحل انجام تست، طبق آنچه توسط لگر (۱۹۹۸) ارائه شده است، آشنا شدند. سپس در گروه‌های دونفره و در فضای باز از آنها تست گرفته شد. این آزمون شامل دویدن ۲۰ متر بود که با سرعت تعیین‌شده توسط صدای بوق ضبط‌شده اجرا شد، تا زمانی‌که کودکان نتوانستند شدت از پیش تعیین‌شده را حفظ کنند. سرعت شروع حرکت ۸/۵ کیلومتر در ساعت است و در هر دقیقه ۰/۵ کیلومتر در ساعت اضافه می‌شود. مراحل آزمون به‌عنوان تعداد رفت‌وبرگشت‌ها در تمام مدت انجام تست ثبت شد. هنگامی‌که شرکت‌کننده نتوانست مطابق با سیگنال‌های صوتی سرعت خود را افزایش بخشد و به نقطهٔ پایان برسد، آزمون خاتمه یافت. تعداد مراحل کامل با یک جدول مرجع مقایسه شد (۲۱،۲۰).

ارزیابی آمادگی قلبی- تنفسی: اکسیژن مصرفی بیشینه (VO2MAX) با استفاده از فرمول ارائه‌شده برای آزمون ۲۰ متر شاتل ران لگر محاسبه شد (۲۲).

$$Vo2max(ml/kg.min) = ۳/۲۳۸ \text{ (سرعت به کیلومتر در ساعت)} - ۳/۲۴۸ \text{ (سن به سال)} + ۰/۱۵۳۶ \text{ (سن} \times \text{سرعت)}$$

این معادله با ارائهٔ تخمین خطای استاندارد ۵/۹ میلی‌لیتر بر کیلوگرم در دقیقه یا ۱۲/۱ درصد در نمونه‌ای متشکل از ۷۰۰۰ کودک و نوجوان از کبک کانادا در سنین ۶ تا ۱۷ سال گزارش شده است، علاوه‌بر این در مطالعات اخیر بین‌المللی و اروپایی به‌عنوان مرجع استاندارد بیشترین کاربرد را داشته است (۲۳).

آزمون شش دقیقه پیاده‌روی: آزمون شش دقیقه پیاده‌روی بدون گرم کردن اولیه انجام گرفت و طبق رهنمودهای ATS در فاصلهٔ ۳۰ متری به‌صورت رفت‌وبرگشت انجام گرفت. در طول پیاده‌روی آزمودنی بازخوردی مبنی بر افزایش یا کاهش سرعت دریافت نکردند، ولی اعلام زمان باقی‌مانده و یا کلمات تشویقی دریافت کردند. در نهایت حداکثر مسافتی که فرد در مدت شش دقیقه به‌صورت پیاده‌روی طی کرده است، اندازه‌گیری شد. به‌منظور از بین بردن انحراف در جمع‌آوری اطلاعات، تمام اندازه‌گیری‌های توسط یک محقق انجام گرفت (۲۴،۲۵).

ارزیابی حداکثر اکسیداسیون چربی تمرینی: به‌صورت غیرمستقیم و با استفاده از فرمول ویژهٔ دختران، بر اساس مسافت تحت پوشش طی آزمون شش دقیقه پیاده‌روی و دور کمر (WC) محاسبه شد (۶۲).

$$\text{Fatmax } (mg.min^{-1}) = ۰/۱۳ \times \text{مسافت آزمون ۶ دقیقه پیاده‌روی (m)} - ۰/۲۵ \times \text{دور کمر (cm)} + ۷۸/۲۸$$

پروتکل تمرینی

آزمودنی‌ها در پنج هفته تمرین HIIT با تواتر سه جلسه در هفته (۲) در مجموعهٔ ورزشی سرپوشیدهٔ انقلاب شهرستان نجف‌آباد شرکت کردند. تمرینات با ۱۰ دقیقه گرم کردن عمومی شروع شد و با پنج دقیقه سرد کردن به پایان رسید. به‌منظور افزایش علاقه‌مندی کودکان به اجرا، سعی شد که در طراحی تمرین تنوع و عدم یکنواختی رعایت شود (۱۵). هر جلسه شامل دو بخش تمرینی تناوبی بود که به‌منظور کنترل ضربان قلب شرکت‌کنندگان از ضربان‌سنج (H10) ساخت فنلاند استفاده شد:

الف) بخش اول شامل فعالیت ورزشی در قالب بازی‌های سرگرم‌کننده با شدت بالا با فواصل استراحت فعال دودقیقه‌ای بود (۲۷) که طی پنج هفته بر شدت تمرینات اضافه شد (جدول ۲).

ب) بخش دوم شامل ۱۰ بخش تمرینی ۶۰ ثانیه‌ای اینتروال با شدت بالا با فواصل استراحت فعال ۷۵ ثانیه‌ای بود، که به‌صورت یک برنامهٔ تمرینی ثابت که شامل پنج بازهٔ زمانی دویدن و پنج بازهٔ زمانی تمرین پرشی (برپی، پروانه، اسکوات-پرش، لانج جلو- پرش، پرش‌های زیگزاگی) بود، به مدت ۲۰ دقیقه انجام گرفت (۱۳).

شرکت‌کنندگان تمرینات HIIT را با شدت بیش از ۸۰ درصد ضربان قلب بیشینه انجام دادند که متوسط ضربان قلب هدف در ردهٔ سنی ۷ تا ۹ سال، ۱۶۱/۹۲ bpm تعیین شد. تمرینات HIIT با فواصل استراحت فعال، کمتر از ۷۰ درصد ضربان قلب بیشینه تفکیک شدند (۲). از آنجایی که معادلهٔ کلاسیک سن−۲۲۰ مقادیر حداکثر ضربان قلب در کودکان را بیش‌ازحد ارزیابی می‌کند، از معادلهٔ تاناکا (سن× ۰/۷) − ۲۰۸) که با دقت بالا در سنین ۷ تا ۱۷ سال، می‌تواند حداکثر ضربان قلب را پیش‌بینی کند، استفاده شد (۲۸).

جدول ۲. نحوهٔ اجرای تمرینات HIIT در دو بخش مجزا

هفته	مدت زمان کل	بخش اول	بخش دوم	ضربان قلب هدف
هفتهٔ اول و دوم	۲۸ دقیقه	۶ دقیقه بازی - ۲ دقیقه استراحت	۱۰تمرین اینتروال یک‌دقیقه‌ای با فواصل استراحت ۷۵ ثانیه‌ای	۱۶۱,۹۲ bpm
هفتهٔ سوم و چهارم	۳۴ دقیقه	۶ دقیقه بازی- ۲ دقیقه استراحت + ۴ دقیقه بازی-۲ دقیقه استراحت	۱۰تمرین اینتروال یک‌دقیقه‌ای با فواصل استراحت ۷۵ ثانیه‌ای	۱۶۱,۹۲ bpm
هفتهٔ پنجم	۴۰ دقیقه	۶ دقیقه-۲ دقیقه ریکاوری + ۴ دقیقه بازی -۲ دقیقه استراحت + ۴ دقیقه بازی-۲ دقیقه استراحت	۱۰تمرین اینتروال یک‌دقیقه‌ای با فواصل استراحت ۷۵ ثانیه‌ای	۱۶۱,۹۲ bpm

روش‌های آماری

توزیع طبیعی داده‌ها توسط آزمون شاپیروویلک در متغیرهای مختلف بررسی شد. همگونی واریانس‌ها در گروه‌های مختلف نیز توسط آزمون لوین بررسی شد. به‌منظور بررسی تأثیر روش تمرینی از آزمون تی زوجی و برای بررسی تفاوت گروه‌ها از آزمون تحلیل کوواریانس استفاده شد. محاسبات آماری از طریق نرم‌افزار آماری SPSS نگارش ۱۶ و سطح معنادار $P \leq ۰/۰۵$ انجام شده است.

یافته‌های پژوهش

پس از تأیید نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون شاپیروویلک، نتایج تغییرات درون‌گروهی حاصل از آزمون t همبسته بررسی شد که نشان داد که شاخص‌های VO2max، FATmax و RMSSD که برای ارزیابی تغییرپذیری ضربان قلب استفاده شد، افزایش معناداری داشت (P =۰/۰۰). متغیر RPP نیز که از مقادیر زمان استراحت به‌دست آمد،کاهش معناداری را نشان داد (P = ۰/۰۰). تغییرات در این شاخص‌ها در گروه کنترل تفاوت معناداری نداشت (P > ۰/۰۵). درصد تغییرات در شاخص RMSSD نسبت به قبل از مداخلات HIIT، بیش از ۸۰ درصد و در شاخص RPP بیش از ۱۰ درصد بود.

تحلیل کوواریانس به‌منظور بررسی نتایج پس از تمرین ورزشی و مقایسه با گروه کنترل انجام گرفت. با توجه به نتایج آزمون کوواریانس در مورد مقایسهٔ داده‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون تغییرات شاخص‌های RMSSD,RPP,FATmax,VO2max معنادار بود (جدول ۳). تفاوت‌های بین‌گروهی نشان داد که در تمامی شاخص‌های مورد بررسی بین گروه تمرین با گروه کنترل تفاوت معناداری وجود دارد.در گروه کنترل تغییرات محسوسی مشاهده نشد.

جدول ۳. نتایج تحلیل کوواریانس جهت بررسی درون‌گروهی و مقایسهٔ دو گروه

متغیر		میانگین± انحراف معیار (پیش‌آزمون)	میانگین ± انحراف معیار (پس‌آزمون)	t	p	درجهٔ آزادی	خطا
RMSSD (ms)	گروه کنترل	۳۵/۷۹ ± ۳/۹	۳۴/۸۷ ± ۴/۲	۳ / ۰۵	۰/۱۴	–	–
	گروه تمرین	۳۶/۵۵ ± ۷/۲	۶۶/۵۱ ± ۵/۱	−۳۲/۲۷	۰/۰۰	۱	۱۷
RPP (bpm.mmhg)	گروه کنترل	۹۲۶۵ ± ۶۰۹	۹۳۹۱/۵ ± ۲۴۰	— ۱/۱۱	۰/۲۹	–	–
	گروه تمرین	۹۵۴۰/۴۰ ± ۴۶۳	۸۵۳۳/ ±۲۰ ۷۶۱	۶	۰/۰۰	۱	۱۷
VO2MAX (ml/kg)	گروه کنترل	۴۴/۲۶ ± ۰/۳۷	۴۳/۸۰ ± ۱/۱	۱/۵۶	۰/۱۵	–	–
	گروه تمرین	۴۴/۵۹ ± ۰/۹۳	۴۶/۵۸ ± ۱/۰۷	−۸/۴۶	۰/۰۰	۱	۱۷
FATmax $(mg.min^{-1})$	گروه کنترل	۱۱۳/۹۴ ± ۷/۱۸	۱۱۵/۹۵ ± ۲/۷۷	−۰/۷۱	۰/۴۹	–	–
	گروه تمرین	۱۱۱/۲۷ ± ۶/ ۳۹	±۱۳۰ ۴/۴	−۹/۶۸	۰/۰۰	۱	۱۷
6mwt (m)	گروه کنترل	۴۴۲/۵ ± ۲۴/۱۵	۴۳۱/۵ ± ۱۷/۱۹	۱/۹۳	۰/۰۸۵	–	–
	گروه تمرین	۴۳۷ ± ۳۰/۰۱	۵۲۶/۵ ± ۱۹/۷۲	−۱۲/۶۹	۰/۰۰	۱	۱۷

بحث و نتیجه‌گیری

سطح پایین فعالیت بدنی در دوران کودکی با اضافه وزن در ارتباط است و ممکن است موجب اختلال قابل توجه در شاخه‌های عصبی خودکار وابران کنترل‌کنندهٔ عملکرد قلب شود (۲۹). این در حالی است که کاهش فعالیت سیستم عصبی خودکار (ANS) ناشی از چاقی در تحقیقات متعدد دیده شده است (۳۰). کودکان مبتلا به چاقی عمدتاً فشارخون بالاتر، به‌ویژه در فشارخون سیستولیک و همچنین فعالیت سمپاتیک بالاتر و فعالیت پاراسمپاتیک پایین‌تر را نشان می‌دهند که نشان‌دهندهٔ غلبهٔ سمپاتیک قلبی در این کودکان است. مشخص شده است که فشارخون به‌طور مستقیم توسط ANS کنترل می‌شود و تعادل این سیستم در حفظ فرایندهای فیزیولوژیکی مانند تنفس، ضربان قلب و فشارخون مهم است (۳۱). فعالیت پاراسمپاتیک توسط مکانیسم‌های مرکزی (فرمان مرکزی) و محیطی (بارورفلکس‌های قلبی و شریانی، آوران‌های عضلانی) تنظیم می‌شود (۳۰). سیستم بارورفلکس به‌عنوان سیستم درگیر در تنظیم فشارخون موجب جلوگیری از تغییرات فشار از طریق تنظیم تون عروق محیطی و برون‌ده قلب می‌شود. از سوی دیگر افزایش وزن بدن به کاهش حساسیت بارورفلکس منجر شده و باروسپتورها ناکارامد شده و نمی‌توانند در برابر تغییرات فشارخون در چاقی به‌طور دائم واکنش مطلوب نشان دهند و در نهایت افزایش تدریجی فشار شریانی و افزایش خطر ابتلا به آریتمی قلبی را شاهد خواهیم بود. این در حالی است که کاهش حساسیت بارورفلکس در کودکان چاق در مقایسه با کودکان با وزن طبیعی شناسایی شده است (۳۲).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که پنج هفته تمرین HIIT موجب افزایش معنادار در RMSSD (درصد تغییرات: ۸۱/۹۶)، هنگام ارزیابی سطح فعالیت بدنی و تغییرپذیری ضربان قلب می‌شود ($F(۱و۱۷) = ۱/۶۱$ ،$p \leq ۰/۰۵$)، بهبود RMSSD نشان‌دهندهٔ افزایش فعالیت تون واگ، غلبهٔ پاراسمپاتیکی و به‌طور کلی بهبود تغییرپذیری ضربان قلب است که با شدت ورزش بالاتر در کودکان رخ می‌دهد. ورزش با شدت بالا، از جمله تمرینات تناوبی با شدت بالا، روش تمرینی بهتری جهت ارتقای آمادگی قلبی- ریوی در نوجوانان است. تمرینات HIIT با تنش‌هایی که در دیوارهٔ عروق ایجاد می‌کند، درجهٔ بیشتری از حساسیت شریان کاروتید را ایجاد می‌کند که بهبود حساسیت بارورفلکس را در پی دارد و در نهایت به مهار تأثیرات سیستم سمپاتیک منجر می‌شود (۳۳،۲۵).

از جمله مطالعاتی که به بررسی اثرگذاری پروتکل‌های تمرینی بر تغییرپذیری ضربان قلب در افراد کم‌تحرک یا با مشکلات اضافه وزن یا چاقی پرداخته‌اند، پژوهش ویجالانین (۲۰۱۹) در کودکان ۶ تا ۹ سال بوده است که نشان می‌دهد بی‌تحرکی بیشتر با عملکرد سیستم اتونوم قلبی ضعیف‌تر همراه است (۳۴). همچنین ون بیلجون (۲۰۱۸) در تحقیقات خود مشاهده کرد که تمرینات HIIT در کودکان از طریق افزایش فعالیت واگ، سبب ایجاد تغییرات مطلوب در فعالیت سیستم عصبی خودکار قلب می‌شود (۲). گاملین (۲۰۰۹) در

مطالعات خود، پس از هفت هفته تمرینات HIIT، تغییری در تغییرپذیری ضربان قلب مشاهده نکرد. به‌نظر می‌رسد سطح آمادگی جسمانی افراد یا پروتکل‌های مداخلهٔ تمرینی، می‌توانند بر تنظیمات سیستم اتونوم قلبی مؤثر باشند (۳۵).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که پنج هفته تمرین HIIT موجب کاهش معنادار در میزان RPP استراحت در دختران هفت تا نه‌سالهٔ دارای اضافه وزن شد (درصد تغییرات: ۱۰/۵۵-). در واقع شدت، مدت و حالت مختلف تمرین به‌طور چشمگیری بر تغییرات فشارخون و ضربان قلب پس از تمرین تأثیر می‌گذارد ($p \leq ۰/۰۵$، $F(۱و۱۷) = ۵۱/۹۲$) RPP برای بازتوانی قلبی و همچنین تصمیم‌گیری بالینی برای تجویز ورزش، به‌عنوان ابزاری قابل اعتماد پذیرفته شده است. افراد سالم در مقایسه با کسانی که مشکلات پزشکی دارند، خیلی سریع‌تر پس از ورزش ریکاوری می‌شوند. ریکاوری سریع نیز نشانهٔ وجود تون واگ- پاراسمپاتیک بیشتر و فعالیت سمپاتیک کمتر است، که همچنین سبب کاهش تعداد ضربان قلب می‌شود (۸). این در حالی است که ضربان قلب استراحت بالاتر با افزایش مرگ‌ومیر ناشی از علل مختلف و همچنین مرگ ناشی از بروز بیماری‌های قلبی- عروقی و مرگ قلبی ناگهانی ارتباط دارد (۲۰). شاخص‌های تن‌سنجی مانند WHR، دور کمر و BMI به‌طور چشمگیری با RPP در جوانان سالم مرتبط است و پیش‌بینی‌کنندهٔ مهم رویدادهای قلبی- عروقی است (۳۶). علاوه بر این افزایش VO2max ، ($p \leq ۰/۰۵$، $F(۱و۱۷) = ۴۷/۸۱$) و بهبود برون‌ده قلبی پس از تمرینات HIIT به واسطهٔ افزایش ضربان قلب بیشینه و حجم ضربه‌ای، بیانگر سازگاری‌های سیستم قلبی- تنفسی و تأییدکنندهٔ تغییرات مدولاسیون قلبی است. از آنجایی که انجام تست‌های ورزشی آزمایشگاهی نیاز به هماهنگی و انگیزهٔ بالا دارد، می‌تواند برای کودکان مشکل‌ساز باشد. ازاین‌رو استفاده از آزمون‌های میدانی مانند آزمون ۲۰ متر شاتل ران به‌عنوان پیش‌بینی‌کنندهٔ حداکثر ظرفیت هوازی که اعتبار بالایی در کودکان دارد، می‌تواند جایگزین مناسبی باشد (۱).

راجالاشمی (۲۰۱۶) در تحقیقات خود، به تغییرات مختلف فیزیولوژیکی در دوران بلوغ و زمان شروع بلوغ در وضعیت سیستم اتونوم قلبی در هر دو جنس اشاره دارد (۳۷). موتا (۲۰۱۲) نیز به تأثیر الگوهای فعالیت بدنی بر RPP در حال استراحت، به‌عنوان یک نشانگر بار قلبی در کودکان پیش‌دبستانی اشاره دارد (۹). شواهد حاکی از آن است که مداخلات انجام‌گرفته در مدت زمان طولانی‌تر به بهبود بیشتر آمادگی قلبی- تنفسی نسبت به مداخلات کوتاه‌تر منجر شده است. هرچند سطح آمادگی قلبی- تنفسی پس از مداخله به‌تدریج کاهش می‌یابد (۳۸). ازاین‌رو لزوم حفظ تمرینات و انجام آنها به‌طور مداوم امری ضروری است.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که پنج هفته تمرین HIIT موجب افزایش معنادار در حداکثر اکسیداسیون چربی تمرینی در دختران هفت تا نه سال دارای اضافه وزن شد (درصد تغییرات: ۴/۴۶) { $F(1,17) = 66/94$, $P \leq 0/05$ }، چاقی با کاهش حداکثر میزان اکسیداسیون چربی در ورزش مرتبط است که به‌طور کلی با تست نسبت تبادل تنفسی با کمک دوچرخهٔ کارسنج ارزیابی می‌شود. تست شش دقیقه پیاده‌روی یک روش جایگزین و در دسترس را در بیماران ارائه می‌دهد. آزمون شش دقیقه پیاده‌روی به‌خوبی می‌تواند میزان فعالیت‌های بدنی زندگی روزمره را منعکس کند و تحقیقات نشان می‌دهد از قابلیت اطمینان خوبی برخوردار است (۳۹). در پژوهش حاضر تغییر در مسافت طی‌شده در آزمون شش دقیقه پیاده‌روی مشهود بود، درحالی‌که تغییرات خاصی در دور کمر دیده نشد، که علت آن می‌تواند محدود بودن جامعهٔ مورد مطالعه باشد. با وجود کاهش چربی در بدن، کاهش وزن مشاهده نشد، اما این احتمالاً نتیجهٔ افزایش عضله است. مطالعات گذشته نشان می‌دهد که تمرینات HIIT، تارهای عضلانی نوع II را گسترش می‌دهد که به هایپرتروفی عضلانی منجر می‌شود. در واقع HIIT محرکی مؤثر در کاهش سطح چربی بدن (حتی در صورت عدم کاهش وزن) برای افراد با تودهٔ چربی زیاد است.

در پژوهش حاضر به‌منظور مطابقت با معادلهٔ پژوهش مرجع (۲۶) از واژهٔ FATmax با واحد میلی‌گرم بر دقیقه، برای حداکثر اکسیداسیون چربی استفاده شده است (۲۶). اما در تحقیقات اخیر برای حداکثر اکسیداسیون چربی از مخفف MFO با واحد میلی‌گرم بر دقیقه استفاده می‌شود و تعریف FATmax شدتی از تمرین است که در آن حداکثر اکسیداسیون چربی رخ می‌دهد، که به‌طور کلی بین

۳۰ تا ۶۰ درصد از حداکثر جذب اکسیژن رخ می‌دهد (۴۱،۴۰). به‌نظر می‌رسد بررسی معادلهٔ مذکور در جمعیت بزرگ‌تر ضرورت دارد، همچنین تعیین مقادیر مرجع برای جامعه می‌تواند بسیار کمک‌کننده باشد.

تحقیقات متعددی در مورد تأثیر فعالیت‌های جسمانی هوازی بر اساس راه رفتن و آهسته دویدن بر کاهش چربی بدن انجام گرفته است (۳۸،۱۵،۱)، ولی تحقیقات خاص با هدف بررسی تأثیر تمرینات HIIT بر اکسیداسیون چربی با کمک روش‌های میدانی بر روی کودکان در ایران موجود نیست. شایان ذکر است که مداخلات HIIT طولانی‌مدت (بیش از ۱۲ هفته) می‌توانند بیشتر از تمرینات کوتاه‌مدت بر ترکیب بدن کودکان چاق مؤثر باشند (۱). ازاین‌رو انجام تحقیقات گسترده‌تر در این زمینه می‌تواند در کنترل یا کاهش اضافه وزن و چاقی کمک‌کننده باشد.

یافته‌های پژوهش حاضر بر سودمندی تمرینات HIIT در ایجاد تغییرات مطلوب در کودکان با مشکل اضافه وزن تأکید می‌کند. در واقع تمرینات HIIT همراه با بازی و لذت، می‌تواند جایگزین مناسبی برای تمرینات استقامتی یا مقاومتی در کودکان باشد. عدم نیاز به امکانات گران‌قیمت (سیستم‌های لحظه‌ای گزارش ضربان قلب)، تسهیل در کنترل و دستکاری شدت تمرین برای مربیان و همین‌طور حساسیت به نیمرخ حرکتی از مزیت‌های انکارناپذیر برنامه‌ریزی با تمرینات HIIT است. با توجه به تغییرات معنادار در HRV و RPP که نشان‌دهندهٔ سازگاری با تمرین است و همچنین افزایش اکسیداسیون چربی در افراد دارای اضافه وزن، به‌نظر می‌رسد این تمرینات با بهبود مدولاسیون سیستم خودکار قلبی- عروقی و کنترل وزن می‌توانند به‌طور وسیعی توسط مربیان علوم ورزشی به‌کار گرفته شوند. علاوه‌بر این ارزیابی RPP, HRV و حداکثر اکسیداسیون چربی تمرینی از طریق معادلهٔ مکنی (۲۰۱۲)، معیارهایی ساده و در دسترس برای شناسایی افراد در معرض خطر را در اختیار ما قرار می‌دهد که می‌توانند جایگزین‌های مناسبی برای یکدیگر در مطالعات و بررسی های بالینی باشند. از سوی دیگر تهیهٔ مقادیر مرجع برای شاخص‌های مورد ارزیابی، در رده‌های سنی مختلف می‌توانند در بررسی‌های بالینی بسیار سودمند باشند.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از همکاری ورزشکاران محترم و همچنین استادانی که در انجام این پژوهش و با ارائهٔ نظرهای ساختاری ما را یاری کردند، تقدیر و تشکر می‌شود.

References

1. Cao M, Tang Y, Zou Y. Integrating High-Intensity Interval Training into a School Setting Improve Body Composition, Cardiorespiratory Fitness and Physical Activity in Children with Obesity: A Randomized Controlled Trial. Journal of Clinical Medicine. 2022 Sep 16;11(18):5436.

2. van Biljon A, McKune AJ, DuBose KD, Kolanisi U, Semple SJ. Short-term high-intensity interval training is superior to moderate-intensity continuous training in improving cardiac autonomic function in children. Cardiology. 2018;141(1):1-8.

3. Paschoal MA. Cardiac Autonomic Modulation in children and Preadolescents obese. New Insights Obes Gene Beyond. 2017;1:007-9.

4. Ahmadian M, Dabidi Roshan V, Dabirian M. Effect of Arm and Leg Exercise on Heart Autonomic Function in Children. International Journal of Sport Studies. 2014;4(7):799-805.

5. Hartmann R, Schmidt FM, Sander C, Hegerl U. Heart Rate Variability as Indicator of Clinical State in Depression. Frontiers in Psychiatry. 2019;9(۷۳۵)

6.Grandemange, Morgane, et al. "Blood pressure, heart rate variability, and adiposity in Caribbean pre-pubertal children." *Frontiers in Pediatrics* 7 (2019): 269.
7. Oliveira RS, Barker AR, Wilkinson KM, Abbott RA, Williams CA.Is cardiac autonomic function associated with cardiorespiratory fitness and physical activity in children and adolescents?Asystematic review of cross-sectional studies. International journal of cardiology. 2017 Jun 1;236:113-22.
8.Tomlinson S .The Usefulness of the Rate Pressure Product (RPP) for Cardiac Rehabilitation Exercise Prescription. Internal Medicine. 2017;2:1-3.
9.Mota J, Soares-Miranda L, Silva JM, Dos Santos SS, Vale S. Influence of body fat and level of physical activity on rate-pressure product at rest in preschool children. Am J Hum Biol. 2012;24(5):661-5.
10. Speer KE, Naumovski N, Semple S, McKune AJ. Lifestyle Modification for Enhancing Autonomic Cardiac Regulation in Children: The Role of Exercise. Children (Basel). 2019;6(11):127.
11. Abreu RM, Rehder-Santos P, Simões RP, Catai AM. Can high-intensity interval training change cardiac autonomic control? A systematic review. Braz J Phys Ther. 2019;23(4):279-89.
12. García-Hermoso A, Cerrillo-Urbina AJ, Herrera-Valenzuela T, Cristi-Montero C, Saavedra JM, Martínez-Vizcaíno V. Is high-intensity interval training more effective on improving cardiometabolic risk and aerobic capacity than other forms of exercise in overweight and obese youth? A meta-analysis. Obes Rev. 2016;17(6):531-40.
13. Martínez SR, Ríos LJC, Tamayo IM, Almeida LG, López-Gomez MA, Jara CC. An After-School, high-intensity, interval physical activity programme improves health-related fitness in children. Motriz: Revista de Educação Física. 2016;22:359-67.
14. Lucini D, de Giacomi G, Tosi F, Malacarne M, Respizzi S, Pagani M. Altered cardiovascular autonomic regulation in overweight children engaged in regular physical activity. Heart. 2013;99(6):376-81.
15. Duncombe SL, Barker AR, Bond B, Earle R, Varley-Campbell J, Vlachopoulos D, et al. (2022) School-based high-intensity interval training programs in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. PLoS ONE 17(5): e0266427
16. Onis MD, Onyango AW, Borghi E, Siyam A, Nishida C, Siekmann J. Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents. Bulletin of the World health Organization. 2007 Sep;85(9):660-7.
17. Rabbani M, Bambaeichi E, Esfarjani F, Rabbani A. Effects of 8 weeks of high-intensity interval training with two different intensity control methods on aerobic power and heart rate variability in young active girls. Journal of Sport in Biomotor Sciences. 2017;8.۳۲ - ۲٤:(۲)
18. Leppänen M.H., Haapala E.A., Veijalainen A., Seppälä S., Oliveira R.S., Lintu N., Laitinen T., Tarvainen M.P., Lakka T.A. Associations of Cardiometabolic Risk Factors with Heart Rate Variability in 6- to 8-year-oldChildren:The PANIC Study.Pediatr.Diabetes.2020;21:251–258.
19. Gui-Ling X, Jing-Hua W, Yan Z, Hui X, Jing-Hui S, Si-Rui Y. Association of high blood pressure with heart rate variability in children. Iran J Pediatr. 2013;23(1):37-44.
20. Leite DM, Reis J, De BL, Pires W, Deresz L, Guimarães J. Physical inactivity is associated with reduced heart rate variability in exercising eutrophic, type 1 diabetic and obese children. J Phys Educ Sport. 2019 Feb 1;350.
21. Dangi A, Deo M. Prediction Equation For Shuttle Run Distance Using 20 Metre Shuttle Run Test In Healthy, Indian Children Aged 7 To 19 Years.
22. Ernesto C, Martins da Silva F, Pereira LA, De Melo GF. Cross Validation of Different Equations to Predict Aerobic Fitness by the Shuttle Run 20 Meters Test in Brazilian Students. Journal of Exercise Physiology Online. 2015 Feb 1;18(1).

23.Kolimechkov S, Petrov L, Alexandrova A, Cholakov K. BeepShuttle junior: software for the administration of the 20m shuttle run test in children and adolescents. Journal of Advanced Sport Technology. 2018 Jul 1;2(2):35-40.
24.Jalili M, Nazem F, Sazvar A. Design and cross-validation of prediction equation based on 6-minute walk test for assessing the cardiorespiratory efficiency in Iranian adolescent boys. J Shahrekord Univ Med Sci. 2019;21(1):19-24.
25. Morinder G, Mattsson E, Sollander C, Marcus C, Larsson UE. Six-minute walk test in obese children and adolescents: Reproducibility and validity. Physiotherapy Research International. 2009 Jun;14(2):91-104.
26. Makni E, Moalla W, Trabelsi Y, Lac G, Brun JF, Tabka Z, Elloumi M. Six-minute walking test predicts maximal fat oxidation in obese children. *International journal of obesity*. 2012 Jul;36(7):908-13.
27.Lambrick D, Westrupp N, Kaufmann S, Stoner L, Faulkner J. The effectiveness of a high-intensity games intervention on improving indices of health in young children. J Sports Sci. 2016;34(3):190-8.
28. Martins RM, Duncan MJ, Clark CC, Eyre EL. Exploring the Acute Effects of the Daily Mile™ vs. Shuttle Runs on Children's Cognitive and Affective Responses. Sports. 2022 Sep 22;10(10):142.
29. Ariningsih DM. THE EFFECTIVENESS OF HIGH INTENSITY INTERVAL TRAINING ON HEART RATE VARIABILITY IN OVERWEIGHT AND OBESITY. Sport and Fitness Journal. 2021 May 28;9(2):96-102.
30.Ahmadian M, Dabidi Roshan V, Rezvan K, Leicht AS. Impact of exercise in high-humidity on heart rate variability and salivary oxidative stress in obese and lightweight asthmatic children. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. 2020;60:779-85.
31.Campos JO, Barros MA, Oliveira TL, Nobre IG, de Morais AS, Santos MA, Leandro CG, Costa-Silva JH. Cardiac autonomic dysfunction in school age children with overweight and obesity. Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases. 2022 Oct 1;32(10):2410-7.
32.Konstantinidou SK, Argyrakopoulou G, Tentolouris N, Karalis V, Kokkinos A. Interplay between baroreflex sensitivity, obesity and related cardiometabolic risk factors. Experimental and Therapeutic Medicine. 2022 Jan 1;23(1):1-3
33.Wang D, Qu K, Yangm M, Yang X, Lu A, Ren J. Cardiorespiratory Benefits of Exercise.In Cardiorespiratory Fitness-New Topics 2022 Oct 3. IntechOpen.
34. Veijalainen A, Haapala EA, Väistö J, Leppänen MH, Lintu N, Tompuri T, Seppälä S, Ekelund U, Tarvainen MP, Westgate K, Brage S. Associations of physical activity, sedentary time, and cardiorespiratory fitness with heart rate variability in 6-to 9-year-old children: the PANIC study. *European journal of applied physiology*. 2019 Dec;119(11):2487-98.
35.Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, et al. Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. Eur J Appl Physiol. 2009;105(5):731-8.
36.Katamba, Godfrey, et al. "Relationship of anthropometric indices with rate pressure product, pulse pressure and mean arterial pressure among secondary adolescents of 12–17 years." *BMC research notes* 14.1 (2021): 1-6.
37..Rajalakshmi, R., et al. "Comparison of Cardiovascular Parameters and Cardiac Autonomic Activity of Obese and Normal Weight School Children in Puducherry." *Indian J Physiol Pharmacol* 60.3 (2016): 247-254.
38.Mijalković S, Stanković D, Tomljanović M, Batez M, Grle M, Grle I, Brkljačić I, Jularić J, Sporiš G, Fišer SŽ. School-Based Exercise Programs for Promoting Cardiorespiratory Fitness in Overweight and Obese Children Aged 6 to 10. Children. 2022 Aug 30;9(9):1323.

39. Makni, Emna, et al. "Six-minute walk distance equation in children and adolescents with obesity." *Acta Paediatrica* 109.12 (2020): 2729-2737.
40. Maunder E, Plews DJ, Kilding AE. Contextualising maximal fat oxidation during exercise: determinants and normative values. *Frontiers in Physiology*. 2018 May 23;9:599.
41. Amaro-Gahete FJ, Sanchez-Delgado G, Jurado-Fasoli L, De-la-O A, Castillo MJ, Helge JW, Ruiz JR. Assessment of maximal fat oxidation during exercise: A systematic review. *Scandinavian journal of medicine & science in sport*s. 2019 Jul;29(7):910-21.