AJCM
Avicenna Journal of Clinical Medicine
Avicenna J Clin Med, 2024; 31(1): 62-69. Doi: 10.32592/ajcm.31.1.62
https://sjh.umsha.ac.ir

Original Article

Evaluating the Accuracy of Maximum Heart Rate Prediction Equations to Adjust the Intensity of Physical Activity in 8–12-Year-Old Students

Reza Heidary[1], **Ebrahim Zarrinkalam**[1]

[1] Department of Physical Education and Sport Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

Article history:
Received: 12 January 2024
Revised: 13 March 2024
Accepted: 03 May 2024
ePublished: 14 June 2024

***Corresponding author:**
Ebrahim Zarrinkalam,
Department of Physical Education and Sport Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.
Email: zarrinkalam@gmail.com

Abstract

Background and Objective: Cardiovascular and sports experts recommend the use of oxygen consumption cost indicators, heart rate and fatigue index to control work pressure in sports and rehabilitation. Meanwhile, it is very common to control the intensity of exercise by heart rate index. However, the maximum heart rate (HRmax) must first be measured or estimated as the basis for the calculations. The purpose of the present study is to evaluate the validity of HRmax estimation equations in healthy children.

Materials and Methods: The HRmax was measured and estimated in 205 healthy boys between 8 and 12 years old by two methods, Bruce's incremental exercise test and special equations for children. In order to compare the estimated and measured HRmax, Pearson's correlation, t-correlated and root mean square error (RMSE) were used.

Results: A weak correlation between estimated and measured HRmax was observed (R=0.09-0.18). A significant difference was observed between the estimated and measured HRmax (beats per minute = 1.4-4.8) (P<0.05). So, the Nikolaidis equation led to a significant overestimation and the Shargal and Gelbert equations led to a significant underestimation of the HRmax. Also, the root mean square error values for HRmax estimation equations were high (RMSE = 6.9 - 7.4 beats per minute).

Conclusion: Considering the ineffectiveness of foreign equations for estimating the HRmax in Iranian children, it is recommended to design native equations for estimating the HRmax for Iranian children.

Keywords: Exercise Intensity, Heart Rate, Students

Please cite this article as follows: Heidary R, Zarrinkalam E. Evaluating the Accuracy of Maximum Heart Rate Prediction Equations to Adjust the Intensity of Physical Activity in 8–12-Year-Old Students. *Avicenna J Clin Med.* 2024; 31(1): 62-69. DOI: 10.32592/ajcm.31.1.62

Copyright © 2024 Avicenna Journal of Nursing and Midwifery Care. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (*http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/*) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

AJCM
مجله پزشکی بالینی ابن سینا
دوره ۳۱، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، صفحات: ۶۲-۶۹
https://sjh.umsha.ac.ir

مقاله پژوهشی

ارزیابی کارایی معادلات برآوردی حداکثر ضربان قلب جهت تنظیم شدت فعالیت بدنی در دانش‌آموزان ۸ تا ۱۲ساله

رضا حیدری[۱]، ابراهیم زرین کلام[۱*]

[۱] گروه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

تاریخچه‌ی مقاله:
دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۲
ویرایش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳
پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۴
انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۲۵

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

* **نویسنده‌ی مسئول:** ابراهیم زرین کلام، گروه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران.
ایمیل: zarrinkalam@gmail.com

چکیده

سابقه و هدف: متخصصان قلب و عروق و ورزش برای کنترل فشار کار در ورزش و توان‌بخشی، استفاده از شاخص‌های هزینه‌ی اکسیژن مصرفی، ضربان قلب و شاخص خستگی را توصیه می‌کنند. در این میان، کنترل شدت ورزش به‌وسیله‌ی شاخص ضربان قلب بسیار رایج است. بااین‌حال، در ابتدا باید حداکثر ضربان قلب (HR_{max}) به‌عنوان مبنای محاسبات، اندازه‌گیری یا برآورد شود. هدف از مطالعه‌ی حاضر، ارزیابی روایی معادلات برآورد HR_{max} در دانش‌آموزان ۸ تا ۱۲ساله‌ی سالم بود.

مواد و روش‌ها: در مطالعه‌ی کاربردی حاضر که از نوع هم‌بستگی بود، شاخص HR_{max} به دو روش آزمون ورزشی فزاینده و معادلات رگرسیونی ویژه‌ی کودکان در ۲۰۵ پسر سالم ۸ تا ۱۲ساله به‌ترتیب اندازه‌گیری و برآورد شد. به‌منظور مقایسه‌ی HR_{max} برآوردشده و اندازه‌گیری‌شده از هم‌بستگی پیرسون، تی همبسته و ریشه‌ی میانگین مربعات خطا استفاده شد.

یافته‌ها: هم‌بستگی ضعیفی بین HR_{max} برآوردشده و اندازه‌گیری‌شده مشاهده شد (R=۰/۰۹ - ۰/۱۸). اختلاف معناداری بین HR_{max} برآوردشده و اندازه‌گیری‌شده وجود داشت (ضربه در دقیقه ۴/۸-۱/۴= میانگین اختلاف) (P<۰/۰۵)، به‌طوری که معادله‌ی Nikolaidis به بیش‌تخمینی معنادار و معادلات Shargal و Gelbert به کم‌تخمینی معنادار HR_{max} منجر شد. همچنین، مقادیر ریشه‌ی میانگین مربعات خطا در معادلات برآورد HR_{max}، بالا بود (ضربه در دقیقه ۷/۴ – ۶/۹ = RMSE).

نتیجه‌گیری: با توجه به ناکارآمدی معادلات خارجی برآورد HR_{max} در کودکان ایرانی، طراحی معادلات بومی توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: دانش‌آموزان، شدت تمرینات، ضربان قلب

استناد: حیدری، رضا؛ زرین کلام، ابراهیم. ارزیابی کارایی معادلات برآوردی حداکثر ضربان قلب جهت تنظیم شدت فعالیت بدنی در دانش‌آموزان ۸ تا ۱۲ساله. مجله پزشکی بالینی ابن‌سینا، بهار ۱۴۰۳؛۳۱(۱): ۶۲-۶۹.

مقدمه

متخصصان قلب و عروق و ورزش برای کنترل شدت فعالیت بدنی و فشار کار در حوزه‌های ورزش، توان‌بخشی و کاردرمانی، از شاخص‌های متنوعی مانند هزینه‌ی اکسیژن مصرفی (MET)، ضربان قلب و شاخص خستگی استفاده می‌کنند[۱،۲] در این میان، کنترل شدت ورزش به‌وسیله‌ی شاخص ضربان قلب رواج بسیار زیادی دارد، به‌طوری که محاسبه‌ی حداکثر ضربان قلب از اصول اولیه در تنظیم برنامه‌های ورزشی است. بااین‌حال، قبل از به‌کارگیری شاخص ضربان قلب، می‌بایست حداکثر ضربان قلب (Maximal Heart Rate; HR_{max}) به‌عنوان مبنای محاسبات شدت ورزش و فشار تمرین، اندازه‌گیری یا برآورد شود. شاخص HR_{max} بیشترین ضربان قلبی است که یک فرد در جریان یک فعالیت ورزشی بیشینه تجربه می‌کند. با در اختیار داشتن HR_{max}، کاردرمانگر یا مربی ورزش قادر خواهد بود تا شدت برنامه‌ی ورزشی را در فرد کنترل کند، به‌طوری که درصد فشار کار مدنظر در HR_{max} ضرب می‌شود و مقدار ضربان قلب هدف به دست می‌آید [۳،۴].

پژوهشگران علوم ورزشی برای به دست آوردن HR_{max}، روش‌های

اندازه‌گیری مستقیم یا برآورد HR_{max} را پیشنهاد می‌کنند. در روش اندازه‌گیری HR_{max}، فرد آزمون ورزشی استانداردی روی تردمیل یا چرخ‌های کارسنجی تا حد واماندگی انجام می‌دهد [۵]. بااین‌حال، استفاده از روش اندازه‌گیری مستقیم در اغلب مواقع به‌دلیل نیاز به امکانات، زمان‌بر بودن، احتمال بروز مشکلات قلبی و تنفسی در حین اجرای آزمون ورزشی فزاینده و نیز بی‌میلی افراد در اجرای آزمون‌های ورزشی چندان مقدور نیست. برای برون‌رفت از این مشکل، پژوهشگران قلب و عروق و ورزش استفاده از معادلات رگرسیونی را برای برآورد HR_{max} پیشنهاد می‌کنند [۶-۸].

به‌منظور برآورد HR_{max}، معادلات مختلفی از سال ۱۹۷۱ تا به امروز در جمعیت‌های مختلف طراحی شده است [۹, ۱۰]. طراحی معادلات HR_{max} بر این اصل استوار است که ارتباطی معکوس و قدرتمند بین سن و HR_{max} در افراد جوان تا سالمند وجود دارد. به بیان دیگر، در افراد بزرگ‌سال به موازات افزایش سن، HR_{max} کاهش می‌یابد. تاکنون دو معادله‌ی Fox (سن - ۲۲۰) [۱۰] و Tanaka (سن × ۰/۷ – ۲۰۸) [۹] بیشترین کاربرد را در برآورد HR_{max} داشته‌اند. اغلب مطالعات انجام‌شده از دقت بیشتر معادله‌ی Tanaka در مقایسه با معادله‌ی سنتی فاکس حکایت دارد [۱۱-۱۳]. بااین‌حال معادلات برآورد HR_{max} یادشده از داده‌های حاصل از جمعیت‌های بزرگ‌سال (۲۰ تا ۹۰ سال) طراحی شده‌اند و به نظر می‌رسد استفاده از این معادلات برای جمعیت‌های کودک یا نوجوان ممکن است برآورد HR_{max} را با خطا روبه‌رو کند، به‌طوری که مطالعات انجام‌شده ناکارآمدی معادلات Fox و Tanaka را در برآورد HR_{max} جمعیت کودک و نوجوان گزارش کرده‌اند [۷, ۱۴, ۱۵]. بنابراین به نظر می‌رسد که HR_{max} در دامنه‌ی سنی کودک و نوجوان مستقل از سن است و این ارتباط چندان چشمگیر نیست [۵, ۱۲].

برای برون‌رفت از محدودیت‌های یادشده، پژوهشگران اقدام به طراحی معادلات برآورد HR_{max} ویژه‌ی دامنه‌ی سنی کودک و نوجوان کرده‌اند. با بررسی‌های صورت‌گرفته چهار معادله‌ی برآورد HR_{max} ویژه‌ی دامنه‌ی سنی کودک و نوجوان مشاهده شد [۵, ۱۸-۱۶]. بااین‌حال، لازم است قبل از استفاده از این معادلات، روایی آن‌ها ارزیابی شود تا مربیان با آسودگی خاطر و اطمینان شدت برنامه‌های ورزشی ایمن را برای دانش‌آموزان کنترل کنند؛ بنابراین، هدف از مطالعه‌ی حاضر ارزیابی روایی معادلات منتخب برآورد HR_{max} در دانش‌آموزان ۸ تا ۱۲ساله‌ی سالم مقطع ابتدایی است.

روش کار

در این مطالعه‌ی کاربردی، ۲۰۵ دانش آموز پسر ۸ تا ۱۲ساله‌ی سالم به‌طور داوطلبانه شرکت کردند. ابتدا ۶ مدرسه‌ی ابتدایی که حاضر به همکاری با پژوهشگر بودند، از نواحی ۱ و ۲ شهر همدان انتخاب شدند. در انتخاب مدارس منتخب، نقاط بالا و پایین شهر (مناطق برخوردار و کم‌برخوردار از لحاظ اقتصادی) لحاظ شد. با توجه به اینکه مطالعه‌ی حاضر از نوع هم‌بستگی بود، بر اساس نمونه‌ی آماری مطالعات قبلی و به‌منظور افزایش توان آماری پژوهش، نمونه‌ی آماری بزرگ‌تری لحاظ شد [۱۹]. ابتدا پرسش‌نامه‌ی سلامتی و رضایتنامه‌ی کتبی به والدین دانش‌آموزان ارائه شد و از آن‌ها درخواست شد که آن را تکمیل امضا کنند و بر آن اثر انگشت بزنند. بدین‌وسیله، دانش‌آموزانی که به مشکلات قلبی و تنفسی، عصبی و عضلانی، آناتومیکی و متابولیک مبتلا بودند، از مطالعه خارج شدند.

ابتدا متغیرهای سن (۰/۱ سال)، قد (سانتی‌متر)، وزن (کیلوگرم) و شاخص توده‌ی بدن ($BMI_{kg/m2}$) دانش‌آموزان به روش استاندارد اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ضربان قلب استراحت، آزمودنی‌ها به مدت ده دقیقه روی صندلی راحتی استراحت کردند. در انتهای این زمان، ضربان قلب با استفاده از دستگاه ضربان‌سنج انگشتی (Pulse Oximeter) (Riester 1905 ri-fox) ساخت آلمان اندازه‌گیری شد. برای اطمینان از صحت اندازه‌گیری ضربان‌سنج انگشتی، در ۱۰ نفر از آزمودنی‌ها هم‌زمان ضربان قلب استراحت به‌وسیله‌ی ضربان‌سنج سینه‌ای (Polar Heart Rate Transmitter Model T34 Germany) اندازه‌گیری و با نتایج دستگاه ضربان‌سنج مقایسه شد، به‌طوری که روایی بالای پالس اکسیمتر در اندازه‌گیری ضربان قلب استراحت تأیید شد (ICC = ۰/۹۸).

برای برآورد HR_{max} آزمودنی‌ها، از معادلات ضربان قلب مختص دامنه‌ی سنی کودکان استفاده شد که عبارت‌اند از: معادلات گلبرت [۵]، نیکولایدیس [۱۶]، ماهون [۱۷] و شارگال [۱۸].

$$HR_{max} = ۲۰۸/۸۵۲ - ۰/۷۴۱ \times (\text{سن}) \quad [۱۸]$$

$$HR_{max} = ۱۸۶ + ۰/۲۵ \times (\text{ضربان قلب استراحت}) - ۰/۱۴ \times (\text{وزن}) \quad [۵]$$

$$HR_{max} = ۱۵۸/۴ + ۰/۴۴ \times (\text{ضربان قلب استراحت}) + ۰/۶۸ \times (\text{سن}) \quad [۱۷]$$

$$HR_{max} = ۲۲۳ - ۱/۴۴ \times (\text{سن}) \quad [۱۶]$$

برای اندازه‌گیری مستقیم HR_{max} از آزمون ورزشی بیشینه‌ی بروس روی تردمیل استفاده شد [۲۰]. از آزمودنی‌ها خواسته شده بود که دو روز قبل از آزمون ورزشی، از انجام فعالیت بدنی شدید پرهیز کنند. همچنین، به آن‌ها توصیه شده بود که وعده‌ی غذایی‌شان را سه ساعت قبل از آزمون ورزشی میل کنند و از خوردن مواد غذایی به‌غیر از آب امتناع نمایند. قبل از شروع آزمون، ضربان‌سنج سینه‌ای روی قفسه‌ی سینه‌ی آزمودنی‌ها بسته شد. در طول آزمون ورزشی، ضربان قلب آزمودنی‌ها در مانیتور مشاهد می‌شد. به‌منظور اطمینان از واقعی بودن HR_{max} اندازه‌گیری‌شده در آزمون ورزشی، ملاک‌های زیر لحاظ شدند: ۱. عبور از ضربان قلب ۱۸۰ ضربه در دقیقه؛ ۲. بیان شاخص درک خستگی روانی (Rating of Perceived Exertion; RPE) بزرگ‌تر یا مساوی ۱۷ در مقیاس ۱۵نقطه‌ای بورگ؛ ۳. مشاهده‌ی تلاش بیشینه، خستگی مفرط و ناتوانی از ادامه دادن آزمون ورزشی [۲۱]. بالاترین ضربان قلب به‌دست‌آمده در انتهای آزمون فزاینده‌ی بروس HR_{max} واقعی

آزمودنی‌ها لحاظ شد [۲۲]. پس از توقف آزمون، در مرحله‌ی سرد کردن، آزمودنی‌ها به مدت ۳ دقیقه روی نوارگردان با سرعت ۵ کیلومتر در ساعت و شیب صفر درجه راه رفتند. برای برآورد بیشینه‌ی اکسیژن مصرفی (VO_{2max}) از معادله‌ی ویژه‌ی آزمون بروس استفاده شد. برای محاسبه‌ی VO_{2max}، زمان سپری‌شده در آزمون بروس در معادله‌ی زیر قرار گرفت [۲۰]:

$$VO_{2max}\ (ml/kg/min) = ۱۴/۸ - (۱/۳۷۹\times T) + (۰/۴۵۱\times T^2) - (۰/۰۱۲\times T^3)$$

T = زمان آزمون بروس (دقیقه)

برای بررسی توزیع طبیعی داده‌ها از آزمون کلموگروف‌اسمیرنوف (K-S) استفاده شد. به‌منظور ارزیابی روایی معادلات برآورد HR_{max}، از هم‌بستگی پیرسون، تی هم‌بسته و ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error; RMSE) استفاده شد، به‌طوری که از هم‌بستگی پیرسون به‌منظور ارزیابی میزان هم‌گرایی ضربان قلب اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده استفاده شد. همچنین، برای ارزیابی میزان اختلاف ضربان‌های قلب برآوردشده به‌وسیله‌ی معادلات با روش معیار اندازه‌گیری‌شده، از آزمون‌های آماری تی هم‌بسته و ریشه‌ی میانگین مربعات خطا استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه‌ی ۲۶ در سطح $P<۰/۰۵$ انجام شد.

نتایج

مشخصات آزمودنی‌ها در جدول ۱ مشاهده می‌شود. هم‌بستگی ضعیف و معناداری بین HR_{max} اندازه‌گیری‌شده در آزمون بروس با مقادیر برآوردشده به‌وسیله‌ی معادلات گلبرت (R=۰/۱۸) و ماهون (R=۰/۱۷) مشاهده شد (P<۰/۰۵). بااین‌حال، بین HR_{max} اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده به‌وسیله‌ی معادلات شارگال و نیکولایدیس (R=۰/۰۹) هم‌بستگی معناداری مشاهده نشد (P>۰/۰۵).

همچنین، تفاوت معناداری بین HR_{max} معیار با مقادیر برآوردشده از معادلات شارگال، گلبرت و نیکولایدیس مشاهده شد (P<۰/۰۵). معادله‌ی نیکولایدیس به بیش‌تخمینی معنادار و معادلات شارگال و گلبرت به کم‌تخمینی معنادار HR_{max} انجامید. بااین‌حال، تفاوت معناداری بین HR_{max} اندازه‌گیری‌شده و معادله‌ی ماهون مشاهده نشد (P>۰/۰۵) (جدول ۲ و شکل ۱). علاوه بر این، مقادیر ریشه‌ی میانگین مربعات خطای معادلات منتخب برآورد HR_{max} بالا بود (ضربه در دقیقه RMSE = ۶/۹ – ۷/۶). همچنین، نمودار گرافیکی توزیع ریشه‌ی مربعات خطا در شکل ۲ مشاهده می‌شود. طبق این شکل، اختلاف زیادی بین روش معیار و معادلات برآوردی مشاهده می‌شود.

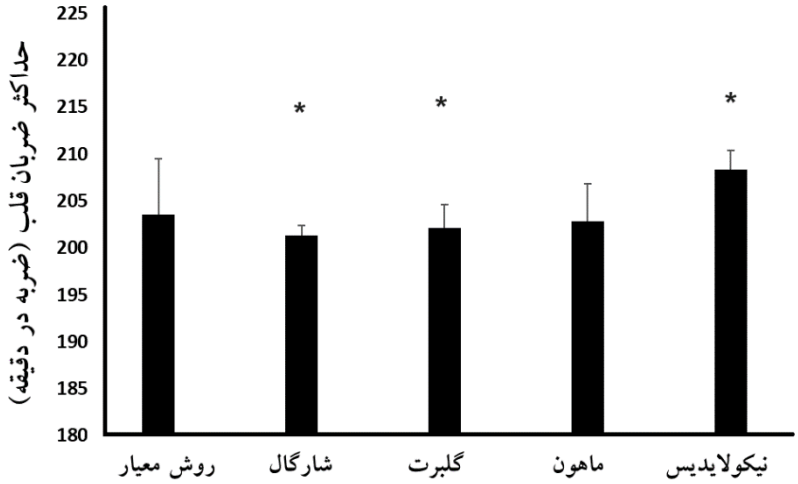
جدول ۱: مشخصات آزمودنی‌ها و متغیرهای اندازه‌گیری‌شده در مطالعه (N=۲۰۵)

متغیرها	میانگین ± انحراف معیار	کرانه‌ی پایین	کرانه‌ی بالا
سن (سال)	۱۰/۱±۲/۳	۸/۱۰	۱۲/۶
قد (سانتی‌متر)	۱۴۲/۵±۹/۵	۱۲۰/۰	۱۶۸/۴
وزن (کیلوگرم)	۳۷/۱±۱۰/۱	۲۱/۲	۶۸/۰
شاخص توده‌ی بدن (کیلوگرم بر مترمربع)	۱۸/۱±۳/۳	۱۱/۸	۲۹/۱
ضربان قلب استراحت (ضربه در دقیقه)	۸۵/۲±۸/۹	۶۴/۰	۱۰۰/۰
حداکثر اکسیژن مصرفی (میلی‌لیتر بر کیلوگرم در دقیقه)	۴۳/۲±۶/۱	۲۳/۵	۵۶/۷

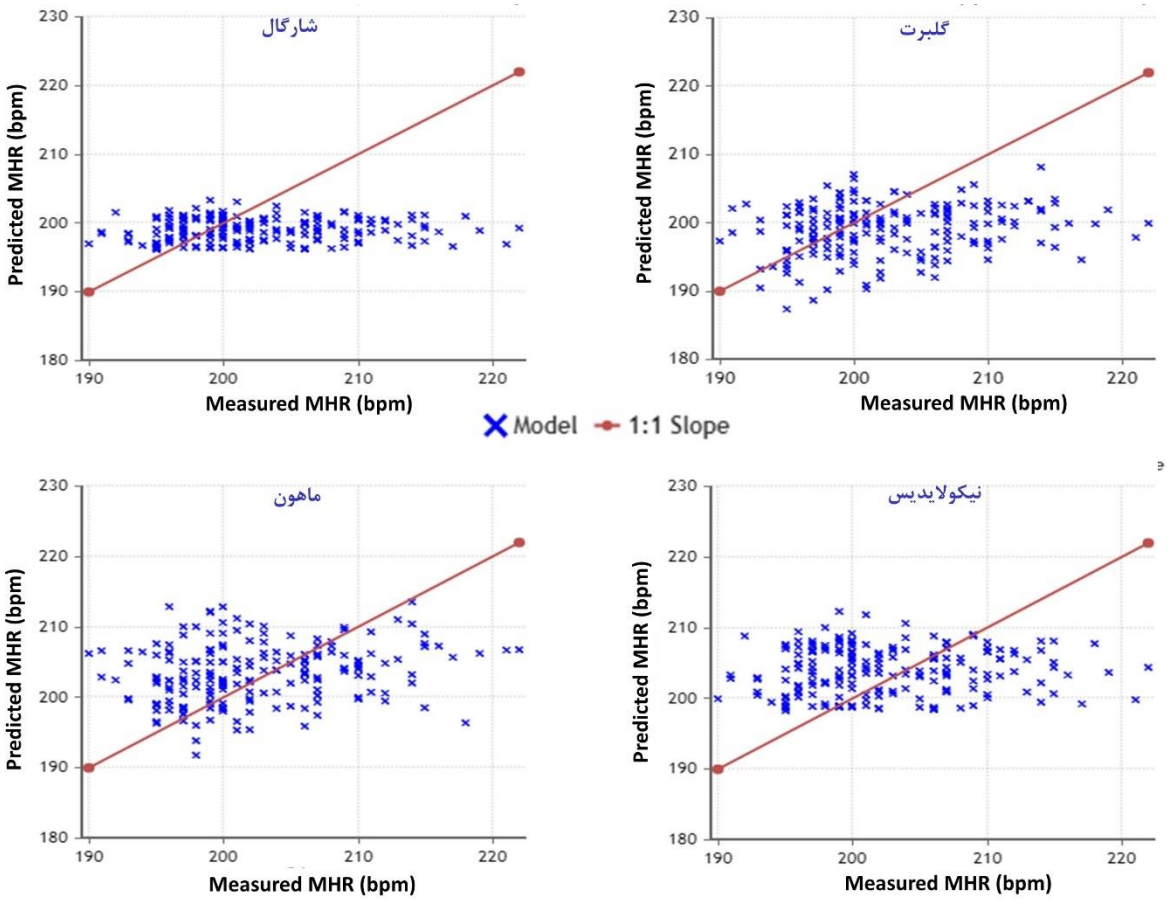
جدول ۲: مقایسه‌ی ضربان قلب برآوردشده با روش معیار اندازه‌گیری‌شده (N=۲۰۵)

حداکثر ضربان قلب (در دقیقه)	اندازه‌گیری‌شده	شارگال	گلبرت	ماهون	نیکولایدیس
میانگین	۲۰۳/۵±۶/۲	۲۰۱/۳±۱/۱	۲۰۲/۱±۲/۵	۲۰۲/۸±۴/۰	۲۰۸/۳±۲/۱
کرانه‌ی پایین و بالا	۱۹۲-۲۲۲	۱۹۹-۲۰۳	۱۹۶-۲۰۸	۱۹۲-۲۱۴	۲۰۴-۲۱۲
میانگین اختلاف [ϵ]	–	۲/۳±۶/۲*	۱/۴±۶/۳*	۰/۷±۶/۸	-۴/۸±۶/۳*
هم‌بستگی	–	۰/۰۹	۰/۱۸**	۰/۱۷ **	۰/۰۹
ریشه‌ی میانگین مربعات خطا	–	۷/۴	۷/۶	۶/۹	۷/۲

[ϵ] (حداکثر ضربان قلب برآوردشده – حداکثر ضربان قلب اندازه‌گیری‌شده = میانگین اختلاف حداکثر ضربان قلب) ، * P<۰/۰۵: تفاوت معنادار حداکثر ضربان قلب اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده، **P<۰/۰۵: هم‌بستگی معنادار بین حداکثر ضربان قلب برآوردشده و اندازه‌گیری‌شده.



شکل ۱: مقایسه‌ی میانگین‌های حداکثر ضربان قلب به روش معیار و معادلات برآوردی
* اختلاف معنادار حداکثر ضربان قلب برآوردشده با روش اندازه‌گیری‌مستقیم



شکل ۲: ریشه‌ی میانگین مربعات خطای (RMSE) معادلات برآورد حداکثر ضربان قلب در مقایسه با روش معیار

بحث

در مطالعه‌ی حاضر، HR_{max} برآوردشده به روش معادلات منتخب کودکان، هم‌بستگی ضعیفی با روش معیار اندازه‌گیری‌شده در آزمون ورزشی استاندارد ورزشی داشت (R=۰/۰۹ - ۰/۱۸). همچنین، میانگین اختلاف برآورد HR_{max} معادلات ویژه‌ی کودکان معنادار بود، به‌طوری که معادله‌ی Nikolaidis به بیش‌تخمینی معنادار و معادلات Shargal و Gelbart به کم‌تخمینی معنادار HR_{max} انجامید. همچنین، مقادیر ریشه‌ی میانگین مربعات خطا برای معادلات یادشده بالا بود (ضربه در دقیقه ۷/۴ – ۶/۹ = RMSE).

طبق منابع علمی، روش معیار اندازه‌گیری HR_{max}، اندازه‌گیری آن در آزمون‌های ورزشی بیشینه روی تردمیل است [۲۴, ۲۳]. بااین‌حال، با توجه به هزینه‌های بالا، صرف زمان زیاد، عدم در

دسترس بودن، نیاز به پرسنل متخصص و امکان خطر حملات قلبی و تنفسی در آزمودنی‌های ورزشی بیشینه، اجرای این روش استاندارد محدود است. متخصصان قلب و عروق و علوم ورزشی برای غلبه بر این محدودیت‌ها، اقدام به طراحی معادلات رگرسیونی با هدف برآورد HR_{max} کرده‌اند [۸, ۱۲, ۱۶, ۱۷]. در این روش که بسیار ساده و ایمن است، از متغیر مستقل سن برای برآورد HR_{max} استفاده می‌شود. بااین‌حال، مطالعات انجام‌شده بیان می‌کند که معادلات ویژه‌ی بزرگ‌سالان از کارایی لازم در جمعیت کودک و نوجوان برخوردار نیست، به‌طوری که استفاده از آن‌ها ممکن است به بیش‌تخمینی یا کم‌تخمینی HR_{max} در بچه‌ها منجر شود [۷, ۱۴, ۱۵].

در مطالعه‌ی حاضر، میانگین HR_{max} اندازه‌گیری شده‌ی دانش‌آموزان پسر ۸ تا ۱۲ساله در آزمون ورزشی فزاینده برابر با ۲۰۳/۵±۶/۲ ضربه در دقیقه بود. این مقدار اندازه‌گیری‌شده همسو با دامنه‌ی HR_{max} اندازه‌گیری‌شده در مطالعات قبلی بود. برای مثال، در مطالعه‌ی Shargal و همکاران، میانگین HR_{max} اندازه‌گیری‌شده در پسران و دختران ۱۰ تا ۱۹ساله برابر با ۱۹۶/۱±۷/۷ ضربه در دقیقه بود [۱۸] در مطالعه‌ی Mahon و همکاران، میانگین HR_{max} اندازه‌گیری‌شده‌ی دختران و پسران ۷ تا ۱۷ساله برابر با ۲۰۱±۱۰ گزارش شد [۱۷].

در مطالعه‌ی Machado و همکاران که درباره‌ی ۶۹ پسر سالم ۱۰ تا ۱۶ساله انجام شد، میانگین HR_{max} اندازه‌گیری شده برابر با ۲۰۰/۲±۸ ضربه در دقیقه گزارش شد [۲۵]. همچنین، مطالعه‌ی مروری Cicone و همکاران نشان داد که HR_{max} واقعی پسران و دختران ۵ تا ۱۹ساله در دامنه‌ی ۱۸۵ تا ۲۰۵ ضربه در دقیقه است. آن‌ها خاطرنشان کردند که دلیل بروز اختلاف در حداکثر ضربان قلب اندازه‌گیری‌شده وجود اختلاف در عواملی از جمله سن، سطح فعالیت بدنی، سطح آمادگی جسمانی، نوع آزمون ورزشی مورد استفاده در پژوهش و میزان انگیزه‌ی آزمونی‌ها هنگام اجرای آزمون ورزشی است [۷]. در واقع، تفاوت‌های فردی در حداکثر ضربان قلب ممکن است به عواملی به‌غیر از سن، از جمله جنسیت افراد، سطح بلوغ (زودرس، طبیعی، دیررس)، ضربان قلب استراحت، ترکیب بدن و ظرفیت هوازی مرتبط باشد [۱۱, ۱۷, ۲۶]. همچنین، برخی از پژوهشگران نشان داده‌اند که نوع آزمون ورزشی بیشینه ممکن است بر توانایی آزمودنی‌ها برای دستیابی به حداکثر تلاش واقعی برای احراز حداکثر ضربان قلب تأثیر بگذارد [۲۶].

در مطالعه‌ی حاضر، هم‌بستگی ضعیفی بین مقادیر HR_{max} اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده به‌وسیله‌ی معادلات گلبرت (R=۰/۱۸) [۵] و ماهون (R=۰/۱۷) [۱۷] مشاهده شد؛ اما بین HR_{max} اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده به‌وسیله‌ی معادلات شارگال (R=۰/۰۹) [۱۸] و نیکولایدیس (R=۰/۰۹) [۱۶] هم‌بستگی معناداری مشاهده نشد. طبق منابع علمی، ضریب هم‌بستگی بزرگ‌تر از ۰/۷۰ هم‌بستگی بالا، بین ۰/۵۰ تا ۰/۷۰ هم‌بستگی خوب، بین ۰/۳۰ تا ۰/۵۰ هم‌بستگی متوسط و کمتر از ۰/۳۰ هم‌بستگی ضعیف لحاظ می‌شود. شایان ذکر است که وجود هم‌بستگی معنادار بین دو روش، شرط لازم برای روایی و صحت است؛ اما شرط کافی نیست. بنابراین، در ادامه از شاخص‌های آماری میانگین اختلاف و ریشه‌ی میانگین مربعات خطا نیز استفاده شد.

نتایج این مطالعه نشان داد که تفاوت معناداری بین مقادیر HR_{max} اندازه‌گیری‌شده (۲۰۳/۵±۶/۲ ضربه در دقیقه) و برآوردشده به‌وسیله معادلات شارگال (۲۰۱/۳±۱/۱ ضربه در دقیقه)، گلبرت (۲۰۲/۱±۲/۵ ضربه در دقیقه) و نیکولایدیس (۲۰۸/۳±۳/۱ ضربه در دقیقه) وجود دارد، به‌طوری که معادله‌ی نیکولایدیس به بیش‌تخمینی معنادار (۴/۸±۶/۳ ضربه در دقیقه) و معادلات شارگال (۲/۶±۶/۲ ضربه در دقیقه) و گلبرت (۱/۴±۶/۳ ضربه در دقیقه) به کم‌تخمینی معنادار HR_{max} منجر شد. بااین‌حال، تفاوت معناداری بین HR_{max} روش معیار و معادله‌ی ماهون (۰/۷±۶/۸ ضربه در دقیقه) مشاهده نشد. در این زمینه، مطالعات همسو با مطالعه‌ی حاضر از اختلاف معنادار HR_{max} اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده در کودکان و نوجوانان حکایت می‌کند. Cicone و همکاران در پژوهش خود درباره‌ی ۳۰ ورزش‌کار فوتبالیست نوجوان گزارش کردند که معادله‌ی شارگال به کم‌تخمینی معنادار در برآورد HR_{max} منجر می‌شود [۱۱]. همچنین، در پژوهش دیگری که درباره‌ی ۱۴۷ دختر و پسر ورزش‌کار کودک و نوجوان انجام شد، نویسندگان گزارش کردند که معادله‌ی نیکولایدیس به بیش‌تخمینی HR_{max} منجر می‌شود [۲۷].

در مطالعه‌ی حاضر علاوه بر اندازه‌گیری میانگین اختلاف، شاخص آماری ریشه‌ی میانگین مربعات خطا برای معادلات منتخب برآورد HR_{max} محاسبه شد. همان‌طور که در نتایج مشاهده می‌شود، مقادیر ریشه‌ی میانگین مربعات خطا برای معادلات منتخب برآورد HR_{max} بالا بود (ضربه در دقیقه ۷/۶ – ۶/۹ = RMSE). ریشه‌ی میانگین مربعات خطا معیاری است که نشان می‌دهد برحسب میانگین، مقادیر برآوردشده‌ی یک متغیر از مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی همان متغیر در مدل تحلیل رگرسیون تا چه اندازه فاصله دارد.

در واقع، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا راهی مؤثر برای مشاهده‌ی این نکته است که چگونه مدل رگرسیون قادر به نشان دادن برازش مجموعه‌ای از داده‌ها است، به‌طوری که هرچه مقدار این شاخص بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی این واقعیت است که مدل برآورد رگرسیون مدنظر نسبت به داده‌های واقعی، هم‌گرایی و انطباق کمتری دارد. برعکس، هرچه مقدار آن کوچک‌تر باشد، مدل رگرسیون مدنظر بهتر می‌تواند داده‌ها را برازش کند [۲۸].

در مطالعه‌ی حاضر، ارزیابی شاخص ریشه‌ی میانگین مربعات خطا حاکی از اختلاف برآورد HR_{max} معادلات منتخب در مقایسه با روش معیار بود، به‌طوری که مقادیر ریشه‌ی میانگین مربعات خطا در معادلات شارگال، گلبرت، ماهون و نیکولایدیس به‌ترتیب برابر با ۷/۴، ۷/۶، ۶/۹ و ۷/۲ ضربه در دقیقه بود؛ بنابراین، به نظر می‌رسد که اختلاف زیادی بین روش معیار و معادلات برآورد HR_{max} در پسران ۸ تا ۱۲ساله‌ی مطالعه‌ی حاضر وجود دارد.

وجود هم‌بستگی بالا و نیز نبود اختلاف معنادار از شاخص‌های مهم در ارزیابی روایی وسیله‌ها یا روش‌های اندازه‌گیری جدید است. در پژوهش حاضر، معادلات منتخب برآورد HR_{max} مختص کودکان از روایی کافی برخوردار نبود. بااین‌حال معادله‌ی ماهون و همکاران کمترین خطای برآورد را داشت. به نظر می‌رسد که یکی از دلایل نتایج به‌دست‌آمده در مطالعه‌ی حاضر این باشد که معادلات برآورد HR_{max} برای جمعیت‌هایی متفاوت با کودکان ایرانی طراحی شده‌اند. این ویژگی می‌تواند قابلیت تعمیم‌پذیری معادلات را در جمعیت‌های دیگر محدود کند، به‌طوری که اختلاف در عوامل مداخله‌گری همچون جغرافیای زندگی، نژاد، جنسیت، ترکیب بدن و سطح آمادگی بدنی ممکن است دقت برآورد معادلات HR_{max} در دیگر جمعیت‌ها را تحت‌الشعاع قرار دهد [۷].

اهمیت این موضوع زمانی مشخص می‌شود که از این معادلات برای برنامه‌ریزی و کنترل شدت فعالیت‌های ورزشی استفاده شود؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود که روایی معادلات برآورد HR_{max} ویژه‌ی بچه‌ها در جمعیت دختر ایرانی نیز ارزیابی شود. مهم‌تر از این، طراحی معادلات بومی برآورد HR_{max} برای دانش‌آموزان دختر و پسر با استفاده از یک نمونه‌ی آماری گسترده به‌منظور استفاده‌ی مربیان ورزش بسیار سودمند و کاربردی خواهد بود.

از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به محدودیت دامنه‌ی سنی آزمودنی‌های و نیز نبود داده‌های مربوط به جمعیت دختران اشاره کرد. در اجرای آزمون ورزشی بیشینه، اندازه‌گیری و کنترل میزان انگیزه‌ی آزمودنی‌ها برای دستیابی به HR_{max} واقعی در اختیار پژوهشگران نبود. علاوه بر این، با توجه به اینکه مطالعه‌ی حاضر بر اساس مشارکت اختیاری دانش‌آموزان بود، این امکان وجود دارد که درصد مشارکت دانش‌آموزان کم‌تحرک در این پژوهش کمتر باشد.

نتیجه‌گیری

نتیجه‌ی نهایی اینکه معادلات منتخب برآورد HR_{max} از اعتبار لازم در پسران سالم ۸ تا ۱۲ساله برخوردار نبود، به‌طوری که این معادلات به بیش‌تخمینی و کم‌تخمینی معنی‌دار HR_{max} در دانش‌آموزان پسر منجر شد؛ بنابراین، طراحی معادله‌ی بومی برای برآورد حداکثر ضربان قلب در جمعیت دانش‌آموزان ایرانی توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه‌ی دانشجویی مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان است. نویسندگان این اثر بدین‌وسیله از دانش‌آموزان شرکت‌کننده در این پژوهش قدردانی می‌کنند.

تضاد منافع

در مقاله‌ی حاضر تضاد منافع وجود ندارد.

ملاحظات اخلاقی

مطالعه‌ی حاضر در کمیته‌ی اخلاق دانشگاه علوم پزشکی همدان با شناسه‌ی اخلاق IR.UMSHA.REC.1394.116 تأیید و تصویب شده است. همچنین، اصل محرمانگی اطلاعات فردی مشارکت‌کنندگان در مطالعه حفظ شده است.

سهم نویسندگان

نویسنده‌ی اول (پژوهشگر اصلی): تهیه و تنظیم پروپوزال، جمع‌آوری داده‌ها، تدوین پیشینه‌ی پژوهش، نگارش مقاله (۵۰ درصد)؛ نویسنده‌ی دوم (پژوهشگر اصلی): مسئول مکاتبات، ایده‌ی اولیه، طراحی پروژه، تدوین بخش‌های مختلف طرح، ویرایش علمی مقاله (۵۰ درصد).

حمایت مالی

منابع مالی این مطالعه را نویسندگان تأمین کرده‌اند.

REFERENCES

1. Prieto-González P, Yagin FH. Energy expenditure, oxygen consumption, and heart rate while exercising on seven different indoor cardio machines at maximum and self-selected submaximal intensity. *Front Sports Act Living*. 2024;**6**:1313886. PMID: 38390229 DOI: 10.3389/fspor.2024.1313886
2. Kasiak PS, Wiecha S, Cieśliński I, Takken T, Lach J, Lewandowski M, et al. Validity of the maximal heart rate prediction models among runners and cyclists. *J. Clin. Med*. 2023;**12**(8):2884. DOI: 10.3390/jcm12082884
3. Ruojiang L, Jinmei Q, Weizhen X, Feng W, Huihui Z. Consistency between the Standardized Methods of Exercise Prescription and the Target Heart Rate for the Cardiopulmonary Exercise Test in Individuals with Metabolic Syndrome.2024. DOI: 10.21203/rs.3.rs-4002742/v1
4. Shookster D, Lindsey B, Cortes N, Martin JR. Accuracy of Commonly Used Age-Predicted Maximal Heart Rate Equations. *Int J Exerc Sci*. 2020;**13**(7):1242-50. PMID: 33042384
5. Gelbart M, Ziv-Baran T, Williams CA, Yarom Y, Dubnov-Raz G. Prediction of Maximal Heart Rate in Children and Adolescents. *Clin J Sport Med*. 2017;**27**(2):139-44. PMID: 27177205 DOI: 10.1097/JSM.0000000000000315
6. Lach J, Wiecha S, Śliż D, Price S, Zaborski M, Cieśliński I, Postuła M, Knechtle B, Mamcarz A. HR max prediction based on age, body composition, fitness level, testing modality and sex in physically active population. *Frontiers in physiology*. 2021;**12**:695950. DOI: 10.3389/fphys.2021.695950
7. Cicone ZS, Holmes CJ, Fedewa MV, MacDonald HV, Esco MR. Age-Based Prediction of Maximal Heart Rate in Children and Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Res Q Exerc Sport*. 2019;**90**(3):417-28. PMID: 31157608 DOI: 10.1080/02701367.2019.1615605
8. Kittrell HD, DiMenna FJ, Arad AD, Oh W, Hofer I, Walker RW, et al. Discrepancy between predicted and measured exercise intensity for eliciting the maximal rate of lipid oxidation. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*. 2023;**33**(11):2189-98. DOI: 10.1016/j.numecd.2023.07.014
9. Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. **J Am Coll Cardiol**. 2001;**37**(1):153-6. PMID: 11153730 DOI: 10.1016/s0735-1097(00)01054-8
10. Fox SM 3rd, Haskell WL. Physical activity and the prevention of coronary heart disease. Bull N Y Acad Med. 1968;**44**(8):950-67. PMID: 5243890
11. Cicone ZS, Holmes CJ, Fedewa MV, MacDonald HV, Esco MR. The Validity Of Age-based Maximal Heart Rate Equations In Youth: A Systematic Review And Meta-analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2018; **50**(5S):665.
12. Nikolaidis PT, Padulo J, Chtourou H, Torres-Luque G, Afonso J, Heller J. Estimating maximal heart rate with the '220-age'formula in adolescent female volleyball

players: a preliminary study. *Human Movement*. 2014; **15**(3):166-70. DOI: 10.1515/humo-2015-0007
13. Cruz-Martínez LE, Rojas-Valencia JT, Correa-Mesa JF, Correa-Morales C. Maximum Heart Rate during exercise: Reliability of the 220-age and Tanaka formulas in healthy young people at a moderate elevation. *Revista de la Facultad de Medicina*. 2014; **62**(4):579-85.
14. Pedroni AS, Schiavo A, Macedo ED, de Campos NE, Winck AD, Heinzmann-Filho JP. Predictive maximal heart rate equations in child and adolescent athletes: a systematic review. *Fisioterapia em Movimento*. 2018 ;**31**:e003131. DOI: 10.1590/1980-5918.031.AO31
15. Komijani R, Jalili M, Nazem F. Cross-validation of Fox and Tanaka equations in predicting maximal heart rate of Iranian Children and Adolescent boys: Evaluation by the respiratory gas analyzer method in the exhaustive exercise test. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2024;**16**(4):20-30. DOI: 10.48308/joeppa.2023.232504.1181
16. Nikolaidis PT. Maximal heart rate in soccer players: measured versus age-predicted. *Biomed J*. 2015;**38**(1):84-9. PMID: 25179696 DOI: 10.4103/2319-4170.131397
17. Mahon AD, Marjerrison AD, Lee JD, Woodruff ME, Hanna LE. Evaluating the prediction of maximal heart rate in children and adolescents. *Res Q Exerc Sport*. 2010;**81**(4):466-71. PMID: 21268470 DOI: 10.1080/02701367.2010.10599707
18. Shargal E, Kislev-Cohen R, Zigel L, Epstein S, Pilz-Burstein R, Tenenbaum G. Age-related maximal heart rate: examination and refinement of prediction equations. *J Sports Med Phys Fitness*. 2015;**55**(10):1207-8.
19. Bujang MA, Baharum N. Sample size guideline for correlation analysis. *World*. 2016;**3**(1):37-46.
20. Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am Heart J*. 1973;**85**(4):546-62. PMID: 4632004 DOI: 10.1016/0002-8703(73)90502-4
21. Armstrong N, Welsman JR. Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. *Exercise and sport sciences reviews*. 1994;**22**(1):435-76.
22. Wilder RP, Greene JA, Winters KL, Long WB 3rd, Gubler K, Edlich RF. Physical fitness assessment: an update. J Long Term Eff Med Implants. 2006;16)2:(193-204 .DOI: 10.1615/jlongtermeffmedimplants.v16.i2.90. PMID: 16700660.
23. Rowland TW. Evolution of maximal oxygen uptake in children. *Pediatric fitness*. 2007;**50**:200-9. DOI: 10.1159/000101392
24. Keteyian SJ, Steenson K, Grimshaw C, Mandel N, Koester-Qualters W, Berry R, et al. Among patients taking beta-adrenergic blockade therapy, use measured (not predicted) maximal heart rate to calculate a target heart rate for cardiac rehabilitation. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2023; **43**(6): 427-32. DOI: 10.1097/HCR.0000000000000806
25. Machado FA, Denadai BS. Validity of maximum heart rate prediction equations for children and adolescents. *Arquivos brasileiros de cardiologia*. 2011;**97**:136-40.
26. Londeree BR, Moeschberger ML. Effect of age and other factors on maximal heart rate. Research quarterly for exercise and sport. 1982;**53**(4):297-304. DOI: 10.1080/02701367.1982.10605252
27. Nikolaidis PT. Age-predicted vs. measured maximal heart rate in young team sport athletes. *Niger Med J*. 2014;**55**(4):314-20. PMID: 25114367 DOI: 10.4103/0300-1652.137192
28. Atkinson G, Nevill AM. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med*. 1998;**26**(4):217-38. PMID: 9820922 DOI: 10.2165/00007256-199826040-00002