

Original Article

Prediction of maximal heart rate (HR_{max}) in healthy children and adolescent boysMajid Jalili , Reza Komijani , Farzad Nazem* 

Department of Sport Physiology, Faculty of Sports Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Abstract

Background and Purpose: Measuring or estimating maximal heart rate (HR_{max}) as a physiological indicator is of great importance in adjusting the intensity of exercise training and rehabilitation programs. However, due to the implementation problems of the standard HR_{max} measurement, sports sciences experts recommend HR_{max} estimation equations. Most of these linear/nonlinear regression prediction equations are designed using samples of adult populations (20 to 90 years old), which seems to limit the application of such estimation equations to children's and adolescents' populations in different geographical regions due to the intervening role of the biological maturation process. Therefore, the purpose of this research was to design a native equation for estimating the HR_{max} for healthy Iranian children and adolescent boys.

Material and Methods: In the present study, the HR_{max} was measured in a modified Bruce's test on a treadmill equipped with a respiratory gas analysis device in 349 healthy boys aged 8 to 17 years in Hamedan city. Moreover, for all subjects, anthropometric and physiological variables were measured in resting conditions. Pearson's correlation was used in order to investigate the relationship between independent variables and HR_{max}. Stepwise regression was used to design the native equation for HR_{max} estimation. The indexes of coefficient of determination (R^2), standard error of estimate (SEE), percentage of standard error of estimate (SEE%) and normal distribution of errors were used to evaluate the efficiency of the native model.

Results: The average ergometric HR_{max} of the subjects was 202.44 ± 6.12 beats/min. There was a weak and significant correlation between HR_{max} and the independent variables including age, height and weight ($R = -0.131$ - 0.198 , $p < 0.05$). The HR_{max} of children's and adolescents' boys could be estimated ($p = 0.0002$) according to the native equation "maximal heart rate (bpm) = $208.015 - 0.452 \times \text{age (years)}$ ". However, the indicators of the native equation did not have high power, so that the coefficient of determination of the equation was equal to ($R^2 = 0.04$) and the standard error index was (SEE = 6.14 bpm), which was equivalent to 3% of the average measured HR_{max}.

Conclusions: Considering the low power of the statistical indicators in the native equation of the present study, the use of the number 202 as the upper limit of maximal heart rate for Iranian children and

* Corresponding Author's E-mail: f.nazem@basu.ac.ir

<https://doi.org/10.48308/joeppa.2025.238035.1324>

Received: 22/12/2024

Revised: 12/02/2025

Accepted: 21/02/2025



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

adolescents' boys is recommended to control the intensity of training in exercise, sports and rehabilitation workouts. Evaluating the results of the present study for greater confidence and generalization to the children and adolescents would be very valuable.

Keywords: Maximal heart rate, Boys, Prediction equations, Exercise intensity

How to cite this article: Jalili M, Komijani R, Nazem F. Prediction of maximal heart rate (HRmax) in healthy children and adolescent boys. J Sport Exerc Physiol. 2025;18(2):119-133.

برآورد ضربان قلب بیشینه در پسران کودک و نوجوان سالم

مجید جلیلی[●]، رضا کمیجانی[●]، فرزاد ناظم^{●*}

گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: اندازه‌گیری و یا برآورد ضربان قلب بیشینه (HR_{max}) به‌عنوان یک نمایه فیزیولوژیک در تنظیم شدت برنامه‌های تمرینی ورزشی و توانبخشی از اهمیت بسیاری برخوردار است. با این همه، به‌دلیل مشکلات اجرایی در اندازه‌گیری استاندارد ضربان قلب بیشینه هنگام فعالیت بدنی، متخصصان علوم ورزش و تندرستی، کاربری معادلات برآورد ضربان قلب بیشینه را پیشنهاد می‌کنند. اغلب این معادلات پیشگوی رگرسیونی خطی/غیرخطی با بهره‌گیری نمونه‌های جمعیت‌های بزرگسال (۲۰ تا ۹۰ سال) طراحی شده است که به‌نظر می‌رسد کاربرد چنین معادلات برآوردی را برای جمعیت کودک و نوجوان در مناطق جغرافیایی گوناگون به‌دلیل نقش مداخله فرایند بلوغ زیستی محدود سازد. بنابراین هدف این پژوهش، طراحی معادله برآورد ضربان قلب بیشینه ویژه پسران سالم کودک و نوجوان است.

مواد و روش‌ها: ضربان قلب بیشینه در ۳۴۹ پسر سالم ۸ تا ۱۷ ساله شهر همدان با شرکت در آزمون درمانده‌ساز بروس تعدیل‌شده اندازه‌گیری شد. همچنین متغیرهای آنترپومتر و فیزیولوژیک آزمودنی‌ها در شرایط استراحت به روش استاندارد اندازه‌گیری شد. برای بررسی همبستگی متغیرهای مستقل الگوی رگرسیون با ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری‌شده از روش همبستگی استفاده شد. در این زمینه به‌منظور طراحی معادله برآورد ضربان قلب بیشینه از روش آماری رگرسیونی گام به گام استفاده شد. همچنین از نمایه‌های ضریب تعیین (R^2)، خطای استاندارد برآورد (SEE)، درصد خطای استاندارد برآورد (SEE%) و توزیع طبیعی خطاها برای ارزیابی کارایی الگوی پیشگو استفاده شد.

نتایج: میانگین ضربان قلب بیشینه هنگام کارسنجی آزمودنی‌ها $202/44 \pm 6/12$ ضربه در دقیقه بود. همبستگی ضعیف و معنادار ضربان قلب بیشینه با متغیرهای ملاک شامل سن، قد و وزن به‌دست آمد ($R = -0/131 - 0/198$) ($p < 0/05$). ضربان قلب بیشینه پسران کودک و نوجوان با معادله رگرسیونی «سن $\times 0/452 - 208/015$ = ضربان قلب بیشینه» برآورد شد ($p = 0/002$). با این همه، نمایه‌های برگزیده‌شده در این معادله از قدرت بالا برخوردار نبود، به‌طوری‌که ضریب تعیین معادله پیشگو برابر ($R^2 = 0/04$) و خطای استاندارد برآورد (ضربه در دقیقه $6/14$ SEE) بود که برابر با $3/03$ درصد میانگین ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری‌شده بود.

نتیجه‌گیری: با ملاحظه قدرت پایین نمایه‌های آماری در معادله پژوهش حاضر، کاربری عدد 202 به‌عنوان ضربان قلب بیشینه پسران سالم جهت کنترل شدت تمرین در برنامه‌های ورزشی و توانبخشی پیشنهاد می‌شود. ارزیابی نتایج پژوهش حاضر به‌منظور اطمینان بیشتر و نیز تعمیم آن به جامعه کودکان و نوجوان بسیار ارزشمند خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: ضربان قلب بیشینه، پسران، معادله‌های برآوردی، شدت تمرین

نحوه استناد به این مقاله: جلیلی م، کمیجانی ر، ناظم ف. برآورد ضربان قلب بیشینه در پسران کودک و نوجوان سالم. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۴؛ ۱۸(۲): ۱۱۹-۱۳۳.

* رایانامه نویسنده مسئول: f.nazem@basu.ac.ir

مقدمه

ضربان قلب بیشینه (HR_{max})^۱ نمایهٔ بارزشی برای پایش فشار فیزیولوژیک و شدت تمرین در قلمرو پزشکی، توانبخشی و فیزیولوژی ورزش به دلیل همبستگی تنگاتنگ میان تغییرات ضربان قلب و اکسیژن مصرفی بدن هنگام کارسنجی است (۱). ضربان قلب بیشینه به نشانهٔ بالاترین ضربان قلب تجربه شدهٔ فرد هنگام فعالیت بدنی اطلاق می‌شود. اندازه‌گیری و یا برآورد ضربان قلب بیشینه از اصول رایج در تجویز و تنظیم برنامه‌های ورزشی است که از آن به عنوان یک نمایه برای دستیابی بیشترین تلاش بدنی و نیز معیار بالینی هنگام آزمون‌های استاندارد آزمایشگاهی استفاده می‌شود (۲). برای نمونه، درصد ضربان قلب بیشینه یا درصد ضربان قلب ذخیره، نمایه‌های منتخب در تجویز شدت برنامهٔ ورزشی به شمار می‌آید. همچنین یکی از ملاک‌های توقف آزمون‌های ورزشی استاندارد، دستیابی فرد به درصدی از ضربان قلب بیشینه برآورد شده است. به بیان دیگر، از نمایهٔ HR_{max} به عنوان یکی از ملاک‌های احراز بیشترین تلاش بدنی هنگام کارسنجی در سنجش مستقیم اکسیژن مصرفی بیشینه (VO_{2max})^۲ استفاده می‌شود (۳).

روش استاندارد اندازه‌گیری ضربان قلب بیشینه، اجرای آزمون ورزشی فزاینده (GXT)^۳ است، اما کاربرد این روش استاندارد در بیشتر موقعیت‌های مکانی مانند سالن‌های ورزشی، مدارس و مراکز توانبخشی شدنی نیست (۴، ۵). بنابراین، پژوهشگران از معادلات پیشگوی رگرسیونی (۴، ۶) و به تازگی از شبکه‌های عصبی (۷) برای برآورد ضربان قلب بیشینه در افراد استفاده می‌کنند.

گزارش‌های علمی آشکار می‌کند که تاکنون معادلات فراوانی جهت برآورد ضربان قلب بیشینه جمعیت‌های سالم و بیمار طراحی شده است ($R^2 = 0.49 - 0.81$) (۴، ۸، ۹). این معادلات پیشگو بر پایهٔ اصل همبستگی

وارونه میان سن و ضربان قلب بیشینه طراحی شده‌اند. به طوری که در جمعیت بزرگسال، کاهش معنادار ضربان قلب بیشینه به موازات افزایش سن تأیید شده است (۱۰). همچنین در بیشتر منابع مرجع فیزیولوژی ورزش و تمرین، معادلات «فاکس» و «تاناکا» برای برآورد ضربان قلب بیشینه معرفی شده است (۲). به طوری که معادلهٔ برتر برآورد ضربان قلب بیشینه تا پیش از سال ۲۰۰۱، معادلهٔ سنتی «فاکس» به صورت $\text{تفاضل سن از عدد ثابت (سن)} - 220 = \text{ضربان قلب بیشینه}$ مطرح بوده است (۶). سپس تاناکا و همکاران در سال ۲۰۰۱ معادلهٔ جدید پیشگوی را طراحی و ارائه کردند ($\text{سن} \times 0.7 - 208 = \text{ضربان قلب بیشینه}$) که برآمده از ارزیابی فراتحلیلی ۳۵۱ پژوهش بود که روی هم رفته ۱۸۷۱۲ بزرگسال را در برمی‌گرفت (۴). بیشتر این بررسی‌ها از دقت بیشتر معادلهٔ پیشگوی «تاناکا» نسبت به رابطهٔ سنتی «فاکس» در جمعیت بزرگسال حکایت دارد (۱۱-۱۳). در پژوهش تاناکا و همکاران همبستگی بسیار بالایی بین ضربان قلب بیشینه و سن ($R = -0.90$) گزارش شد (۴). این گزارش همراستا با پژوهش‌های پیشین در زمینهٔ نقش کاهندهٔ افزایش سن بر ضربان قلب بیشینه بزرگسالان بود. در معادلهٔ «تاناکا» عامل مستقل سن، ۸۰ درصد از تغییرات ضربان قلب بیشینهٔ بزرگسالان را تبیین می‌کند ($R^2 = 0.80$). با وجود استفادهٔ گسترده از معادلات برآورد ضربان قلب بیشینهٔ یادشده در بالا، بیشتر طراحی این دست معادلات پیشگو از نمونه‌های جمعیت بزرگسال (۲۰ تا ۹۰ سال) استفاده شده که به نظر می‌رسد کاربرد آنها را در جمعیت کودک و نوجوان محدود سازد (۱۱). به طوری که پژوهش‌های جدید حاکی از ناکارایی معادلات «فاکس» و «تاناکا» برای جمعیت دختران و پسران کودک و نوجوان است (۱۴). در این زمینه، پژوهش کمیجانی و همکاران

(۱۴۰۲) نشان داد که معادلات فاکس و تاناکا به ترتیب به بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی معنادار ضربان قلب بیشینه در پسران سالم کودک و نوجوان منجر منجر شد (۱۵).

پژوهش‌های محدودی به طراحی معادلات برآورد ضربان قلب بیشینه مختص دامنه سنی کودک و نوجوان اقدام کرده‌اند (۸، ۱۶-۱۸). پژوهش ماهون و همکاران روی ۵۷ کودک و نوجوان ۷ تا ۱۷ سال به طراحی معادله برآورد ضربان قلب بیشینه آن‌ها منجر شد. در این معادله رگرسیون، ضربان قلب بیشینه کودکان با استفاده از متغیرهای سن و ضربان قلب استراحت قابل برآورد شده بود (ضربه در دقیقه $8/54$ ، $SEE = 0/26$ ، $R^2 = 0/18$). همچنین گلبرت و همکاران با بررسی ۴۳۳ ورزشکار ۹ تا ۱۸ ساله، معادله برآورد ضربان قلب بیشینه را بر مبنای متغیرهای ضربان قلب استراحت، جرم بدن و درصد چربی بدن طراحی و ارائه کردند (ضربه در دقیقه $7/54$ ، $SEE = 0/25$ ، $R^2 = 0/16$). در این زمینه نیکولایدیس و همکاران معادله برآورد ضربان قلب بیشینه بر مبنای سن و ویژه نوجوانان فوتبالیست ۱۲ تا ۱۸ ساله را ارائه کردند (ضربه در دقیقه $7/6$ ، $SEE = 0/07$ ، $R^2 = 0/17$). با این همه، نتایج پژوهش حیدری و زرین کلام نشان داد که معادلات یادشده در پسران سالم ۸ تا ۱۲ ساله ناکارآمد است (۱۹).

با ملاحظه نمایه‌های آماری ضعیف در معادلات پیشگوی طراحی‌شده (ضریب تعیین کم، خطای برآورد بالا و نمونه آماری کم) ویژه جمعیت کودک و نوجوان، می‌توان دریافت که این معادلات برآوردی یادشده از قدرت تعمیم‌دهی زیادی برخوردار نیستند و نمی‌توان در برآورد ضربان قلب کودکان به آن‌ها اعتماد کرد. از سوی دیگر، در نمونه آماری این سه پژوهش مذکور از افراد خاص مانند ورزشکاران کودک و نوجوان استفاده شده است که قابلیت تعمیم‌دهی به

جمعیت کودکان و نوجوانان غیرورزشکار را محدود می‌کند.

از یک سو، با توجه به ناکارایی معادلات فاکس و تاناکا در پسران کودک و نوجوان (۱۵) و نیز برآورد نادرست معادلات مختص دامنه سنی کودک و نوجوان در کودکان (۱۹)، لزوم پژوهش برای طراحی معادله برآورد ضربان قلب بیشینه دانش‌آموزان که در آن آزمودنی‌های با دامنه سنی ۸ تا ۱۷ ساله از جمعیت‌های ورزشکار و غیرورزشکار با دامنه ترکیب بدنی متفاوت لاغر، طبیعی و چاق، شاید قدرت آماری و قابلیت تعمیم و کاربردی‌پذیری معادله پیشگو را افزایش خواهد داد. بنابراین، هدف این پژوهش طراحی معادله برآورد ضربان قلب بیشینه ویژه پسران دانش‌آموز با بهره‌گیری از روش معیار آزمایشگاهی هنگام کارسنجی فزاینده است.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: جامعه آماری شامل دانش‌آموزان پسر سالم هشت تا ۱۷ ساله مشغول به تحصیل در نواحی یک و دو آموزش و پرورش شهر همدان بود. نمونه آماری شامل ۳۴۹ دانش‌آموز پسر سالم هشت تا ۱۷ سال بود که داوطلبانه در پژوهش شرکت کردند. از بین مدارس مقاطع تحصیلی ابتدایی، متوسطه اول و دوم، هر کدام شش مدرسه (روی هم‌رفته ۱۸ مدرسه از مناطق متفاوت جغرافیایی، فرهنگی و اقتصادی شهر همدان) به صورت خوشه‌ای هدفمند انتخاب شد. در این میان، هشت مدرسه به دلیل عدم همکاری عوامل اجرایی و انجمن اولیا آموزشگاه از پژوهش خارج شدند که در نهایت ۱۰ آموزشگاه انتخاب شد. در ابتدا تلاش شد که از هر رده سنی تعداد آزمودنی به طور مساوی انتخاب شوند. با این همه، به دلیل محدودیت‌های زمانی، و عدم همکاری بعضی اولیای دانش‌آموزان و نیز کنار رفتن آزمودنی‌ها به دلیل عدم همکاری تا مراحل

انتهایی پژوهش، به طور میانگین ۳۵ آزمودنی در هر رده سنی جای گرفتند. برای اطلاع از سلامت آزمودنی‌ها، رضایت‌نامه کتبی مبنی بر سلامتی کامل دانش‌آموزان به والدینشان داده شد تا آن را تکمیل، امضا و اثر انگشت کنند. با استفاده از پرسشنامه آمادگی فعالیت بدنی (PAR-Q) از ورود دانش‌آموزان مبتلا به مشکلات قلبی-تنفسی، عصبی-عضلانی، آناتومیک و متابولیک جلوگیری شد. فرایند پژوهش حاضر توسط کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی همدان تأیید شد (کد کمیته اخلاق: IR.BASU.REC.1398.006).

روش اجرای پژوهش: متغیرهای سن (سال)، قد (سانتی‌متر)، وزن (کیلوگرم)، نمایه توده بدن (BMI_{kg/m^2}) به روش استاندارد اندازه‌گیری شدند. ضربان قلب استراحت پسران با ضربان‌سنج سینه‌ای (Polar Heart Rate Transmitter Model T34) (Germany) پس از استراحت دست‌کم ۱۰ دقیقه روی صندلی نشیمن اندازه‌گیری شد. برای سنجش وضعیت بلوغ زیستی آزمودنی‌ها در دو سطح طبیعی و غیرطبیعی (زودرس و دیررس) با روش میروالد (۲۰) بر پایه اندازه انحراف بلوغ^۴ و تعیین زمان رسیدن آزمودنی به اوج سرعت قد، انجام گرفت. به طوری که با سنجش مؤلفه‌های سن، قد، وزن، قد نشسته و طول پا، اندازه انحراف از بلوغ تعیین شد. طبیعی بودن بلوغ آزمودنی با استفاده از رابطه (اندازه انحراف از بلوغ - سن تقویمی = سن اوج سرعت قد)، بررسی شد. چنانچه سن اوج سرعت قد، در دامنه ۱۳-۱۴ سالگی قرار داشت، نشانه بلوغ طبیعی و اندازه پایین‌تر یا بالاتر بودن از این سطح، در دسته بلوغ غیرطبیعی (به ترتیب زودرس و دیررس) تفکیک می‌شد.

روش‌های آزمایشگاهی: در اندازه‌گیری ضربان قلب بیشینه و VO_{2max} از آزمون ورزشی بروس تعدیل‌شده استفاده شد (۵). در انتخاب آزمون ورزشی به گونه‌ای

عمل شد که آزمودنی‌ها قادر باشند آن را در حد توان خود به انتها برسانند. آزمون ورزشی بروس تعدیل‌شده شامل نه مرحله سه دقیقه‌ای است. مراحل اول تا سوم این آزمون دارای فشار باری کم (سرعت ثابت ۲/۷ کیلومتر در ساعت و شیب‌های به ترتیب صفر، ۵ و ۱۰ درصد) است. این ویژگی سبب می‌شد تا به‌ویژه آزمودنی‌های با سنین پایین به راحتی بتوانند الگوی پیاده‌روی و سپس دویدن آرام روی نوار گردان را با کمترین فشار بدنی و استرس انجام دهند (۵، ۲۱).

آزمون کارسنجی روی نوار گردان (h/p/cosmos Saturn300/125 Germany) مجهز به دستگاه سنجش و تحلیل گازهای تنفسی (Power Cube, Ganshorn) : Medizin Electronic GmbH, PC-GMEG (Germany) انجام شد. هنگام اجرای آزمون ورزش فزاینده، ضربان قلب هر آزمودنی پیوسته با ضربان‌سنج (Polar Heart Rate Transmitter Model T34) (Germany) که روی قفسه سینه آزمودنی‌ها بسته شده بود، در نمایشگر دستگاه به منظور پایش شدت فعالیت آزمودنی‌ها قابل دیدن بود و ثبت می‌شد. گازهای تنفسی VO_2 , VCO_2 هنگام اجرای آزمون ورزش استاندارد به وسیله ماسک لاستیکی (Hans Rudolph, Kansas City, MS, USA) متناسب با اندازه سر و صورت آزمودنی‌ها، جمع‌آوری و سپس با دستگاه گازآنالایزر تجزیه و تحلیل می‌شد. شرط پایان یافتن آزمون کارسنجی فزاینده و تعیین VO_{2max} معیار، هنگامی مشخص می‌شد که در هر آزمودنی دست‌کم دو گزینه از چهار ملاک ذیل، مشاهده می‌شد: ۱. رسیدن به ضربان قلب بیشتر از ۸۵ درصد ضربان قلب بیشینه نظری مطابق رابطه تاناکا (۴)، ۲. نسبت تبادل تنفسی (RER) $> 1/1$ ، ۳. مشاهده عدم تعادل در دویدن و ۴. واماندگی ارادی آزمودنی و امتناع از ادامه کار با وجود تشویق‌های کلامی آزمونگر (۲۲). به منظور تعیین VO_{2max} ، بیشترین مقدار اکسیژن مصرفی در ۲۰ ثانیه

انتهایی آزمون فزاینده ورزشی لحاظ شد. همچنین بیشترین ضربان قلب تجربه شده هنگام آزمون فزاینده ورزش به نشانه سنجش واقعی ضربان قلب بیشینه، لحاظ شد.

از آزمودنی‌ها خواسته شد که پیش از اجرای کارسنجی به روش آزمایشگاهی، از انجام هرگونه فعالیت بدنی نسبتاً شدید ظرف ۴۸ ساعت گذشته بپرهیزند. همچنین وعده غذایی خود را دست‌کم سه ساعت پیش از آزمون ورزش میل کنند و سپس از خوردن مواد غذایی به استثنای آب آشامیدنی امتناع ورزند. تنظیم دستگاه گاز آنالایزور با ملاحظه شرایط محیطی، حجم‌ها و نسبت گازهای کپسول اکسیژن، مطابق دستورالعمل دستگاه شرکت سازنده، روزانه پیش و پس از استفاده از دستگاه PC-GMEG صورت می‌گرفت. اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی در دمای محیط ۱۹ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۳۹ تا ۴۳ درصد و ارتفاع ۱۸۶۰ متر از سطح دریا در آزمایشگاه فیزیولوژی کار دانشگاه بوعلی سینا در نوبت پیش از ظهر انجام گرفت. به دلیل فراوانی زیاد آزمودنی‌ها و برخی محدودیت‌های

اجرایی در فرایند پژوهش، اندازه‌گیری‌ها در مدت نه ماه انجام شد.

تحلیل آماری: برای بررسی توزیع طبیعی داده‌ها از آزمون کولموگروف اسمیرنوف و به منظور ارزیابی نقش سطح بلوغ (زودرس، طبیعی و دیررس) و دامنه سنی (کودک و نوجوان) بر ضربان قلب بیشینه واقعی پسران به ترتیب از روش آماری آنوای یکسویه و تی مستقل استفاده شد. از همبستگی پیرسون برای بررسی همبستگی ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده با متغیرهای مستقل (سن، قد، وزن و نمایه توده بدن) استفاده شد. همچنین برای طراحی معادله برآورد ضربان قلب بیشینه پسران از رگرسیون گام به گام^۵ استفاده شد. ملاک انتخاب در معادله پیشگو، تمرکز بر مؤلفه‌های ضریب تعیین (R^2)^۶، خطای استاندارد برآورد (SEE)^۷ و خطای استاندارد برآورد نسبی ($SEE\% = (SEE / VO_{2peak} \text{ اندازه‌گیری شده}) \times 100$)^۸ (میانگین VO_{2peak} اندازه‌گیری شده / SEE) بود (۲۳، ۲۴). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ در سطح $P < 0.05$ انجام گرفت.

جدول ۱. مشخصات آنتروپومتری و فیزیولوژیک هنگام کارسنجی در پسران مورد بررسی (۳۴۹ نفر)

متغیرها	میانگین $\pm$ انحراف معیار	کرانه پایین	کرانه بالا
سن (سال)	۱۲/۲ $\pm$ ۳۳/۸	۷/۴۲	۱۷/۱۷
قد (سانتی‌متر)	۱۵۳/۱۵ $\pm$ ۷۵/۷۸	۱۲۰	۱۹۴
وزن (کیلوگرم)	۴۷/۱۷ $\pm$ ۷۱/۵۹	۲۰/۵	۱۱۳
نمایه توده بدن (کیلوگرم/مترمربع)	۱۹/۴ $\pm$ ۵۴/۲۳	۱۲/۴۴	۳۵/۲۷
ضربان قلب استراحت (ضربه/دقیقه)	۸۲/۹ $\pm$ ۶۹/۶۶	۵۸	۱۰۸
اکسیژن مصرفی بیشینه (میلی‌لیتر/وزن بدن/دقیقه)	۴۱/۶ $\pm$ ۲۴/۰۲	۲۲/۱۰	۵۵/۸۰
نسبت تبادل تنفسی هنگام رسیدن به اکسیژن مصرفی بیشینه	۱/۰ $\pm$ ۲۱/۰۸	۱/۰۱	۱/۵۰
ضربان قلب بیشینه هنگام کارسنجی (ضربه در دقیقه)	۲۰۲/۶ $\pm$ ۴۴/۱۲	۱۹۰	۲۲۲

نتایج

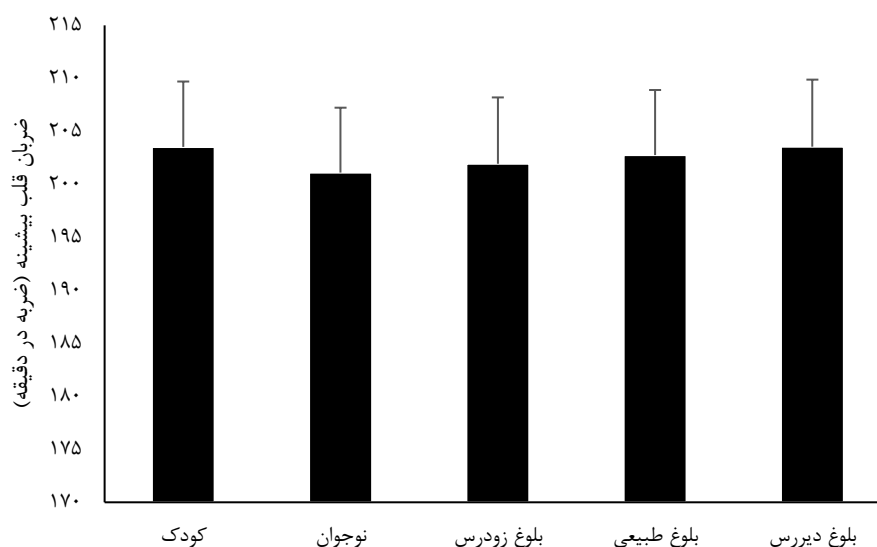
مشخصات آزمودنی‌ها و متغیرهای مورد سنجش در جدول ۱ مشاهده می‌شود. میانگین ضربان قلب بیشینه پسران $202/6 \pm 44/12$ ضربه در دقیقه بود. همچنین میانگین HRmax پسران سالم کودک و نوجوان در رده‌های سنی ۸ تا ۱۷ سال به‌طور مجزا در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است با افزایش سن آزمودنی‌ها به تغییر چشمگیر در ضربان قلب بیشینه پسران نینجامید. اما کاهش اندک در ضربان قلب بیشینه پسران از هشت تا ۱۷ سالگی رخ داد. به‌طوری‌که به ازای هر سال افزایش سن، تنها $0/42$

ضربه در دقیقه از ضربان قلب بیشینه کودکان کاسته می‌شد. بین ضربان قلب بیشینه واقعی کودکان ($201/11 \pm 6/12$) و افراد نوجوان ($203/53 \pm 6/17$) هنگام کارسنجی اختلاف جزئی ولی معنادار ($P < 0/05$)، $2/42 =$ میانگین اختلاف) دیده شد (شکل ۱). با این همه، سطوح بلوغ زیستی آزمودنی‌ها تأثیر معنادار در ضربان قلب بیشینه واقعی نداشت. به‌طوری‌که هنگام کارسنجی، ضربان قلب بیشینه در گروه‌های با بلوغ زودرس ($203/55 \pm 6/26$)، طبیعی ($202/76 \pm 6/14$) و بلوغ دیررس ($201/6 \pm 94/33$) اختلاف معنادار با یکدیگر نداشتند ($P = 0/258$) (شکل ۱).

جدول ۲. ضربان قلب بیشینه هنگام کارسنجی در مانده‌ساز پسران ۸ تا ۱۷ ساله (۳۴۹ نفر)

سن (سال)	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
آزمودنی (نفر)	۳۶	۳۷	۳۴	۴۳	۳۵	۳۶	۴۱	۲۸	۲۸	۳۱
میانگین*	$204/75$	$204/65$	$203/21$	$201/79$	$203/17$	$202/14$	$201/34$	$200/71$	$201/57$	$200/52$
انحراف معیار*	$5/84$	$7/20$	$6/23$	$5/08$	$5/34$	$6/77$	$6/12$	$6/16$	$7/90$	$4/77$
کمینه*	۱۹۲	۱۹۲	۱۹۲	۱۹۵	۱۹۴	۱۹۰	۱۹۱	۱۹۲	۱۹۰	۱۹۲
بیشینه*	۲۱۶	۲۱۹	۲۱۸	۲۱۴	۲۱۵	۲۲۲	۲۱۶	۲۱۵	۲۲۱	۲۰۹

* واحد ضربان قلب بیشینه واقعی (ضربه در دقیقه)



شکل ۱. مقایسه میانگین ضربان قلب بیشینه هنگام کارسنجی فزاینده در پسران کودک (۱۹۲ نفر) و نوجوان (۱۵۷ نفر) * اختلاف معنادار ضربان قلب بیشینه با پسران نوجوان هنگام کارسنجی ($P < 0/05$)

مطابق جدول ۳، همبستگی ضعیف و معنادار بین ضربان قلب بیشینه واقعی و متغیرهای مستقل در الگو رگرسیون خطی وجود دارد ($R=0/131 - 0/198$) ($P<0/05$). در این بخش، اگرچه عامل سن بیشترین همبستگی را با ضربان قلب بیشینه برآوردی آنها داشت، اما اندازه همبستگی ضعیف بود ($P= - 0/198$). ضربان قلب بیشینه پسران طبق طراحی معادله، قابل برآورد بود ($P=0/002$)، به طوری که ضریب تعیین در

معادله برآورد ضربان قلب بیشینه کودکان ($R^2=0/04$) و خطای استاندارد برآورد (ضربه در دقیقه $SEE=6/14$) بود که حدوداً برابر با ۳ درصد میانگین ضربان قلب بیشینه واقعی است (جدول ۴). همچنین خطای برآورد معادله رگرسیون از توزیع طبیعی برخوردار نبود ($P<0/05$).
 $=$ (ضربه در دقیقه) ضربان قلب بیشینه
 (سال) سن $\times 0/452 - 208/015$

جدول ۳. همبستگی ضربان قلب بیشینه هنگام کارسنجی با متغیرهای مستقل الگو رگرسیون در پسران ۸ تا ۱۷ ساله

متغیرها:	سن (سال)	قد (CM)	وزن (KG)	نمایه توده بدن
ضربان قلب بیشینه (b/min)	$-0/198^*$	$-0/160^*$	$-0/131^*$	$-0/074$

*: $P<0/01$

جدول ۴. الگوی رگرسیون خطی برآورد ضربان قلب بیشینه پسران هشت تا ۱۷ ساله

معادله *	Coefficients (B)	p	R	R ²	SEE
Constant	$208/015$	$0/0002$	$0/198$	$0/04$	$6/14$
سن (سال)	$-0/452$	$0/0002$			

*: (سال) سن $\times 0/452 - 208/015 =$ برآورد ضربان قلب بیشینه (ضربه در دقیقه)

بحث و نتیجه گیری

در پژوهش حاضر با افزایش سن پسران سالم، تغییر چشمگیری در ضربان قلب بیشینه آنها رخ نداد. با این همه، با افزایش سن در هر سال برابر با $0/42$ از ضربان قلب بیشینه آنها کاسته می شد. همچنین بین ضربان قلب بیشینه پسران در مقطع سنی کودک ($203/6 \pm 53/17$) و نوجوان ($201/11 \pm 6/12$) اختلاف معنادار ($P<0/05$)، $2/42 =$ میانگین اختلاف) دیده شد (شکل ۱). با این همه، سطوح بلوغ زیستی آزمودنی ها تأثیر بارز در ضربان قلب بیشینه آزمودنی ها نداشت ($P=0/258$) (شکل ۱). اگرچه معادله رگرسیونی طراحی شده از لحاظ آماری معنادار بود ($P<0/01$)، اما با ملاحظه آماره های ضریب تعیین ($R^2=0/04$) و خطای برآورد (ضربه در دقیقه $SEE=6/14$) در این معادله

پیشگو، می توان گفت که برآورد ضربان قلب بیشینه پسران کودک و نوجوان با استفاده از معادله طراحی شده بر مبنای سن، از قدرت برآورد مناسب برخوردار نیست و ارزیابی اعتبار آن منوط به پژوهش های آتی خواهد بود. با این همه، به نظر می رسد که استفاده از عدد ثابت 202 ضربه در دقیقه به مفهوم میانگین نمایه ضربان قلب بیشینه نظری پسران کودک و نوجوان برای اهداف کنترل شدت برنامه های تمرین ورزشی و توانبخشی راهگشا باشد.

یافته های علمی آشکار می کند که در حوزه ورزش و توانبخشی کنترل هریک از نمایه های شدت تمرین ($VO2MAX\%$, $VO2R\%$, $HRR\%$, $HRMAX\%$)، در مرتبه نخست نیازمند در اختیار داشتن نمایه ضربان قلب بیشینه فرد است. با توجه به در

دسترس نبودن و مشکلات اجرایی روش استاندارد اندازه‌گیری ضربان قلب بیشینه، پژوهشگران علوم تندرستی معادلات رگرسیونی را جهت برآورد ضربان قلب بیشینه پیشنهاد می‌کنند (۲۵). با این همه، معادلات پیشگوی ضربان قلب بیشینه مبتنی بر سن، بیشتر بر پایه داده‌های جمعیت زنان و مردان بزرگسال طراحی شده است. از این رو محدودیت اصلی کاربست چنین معادلات برآوردی HRmax، ناکارآمدی آن‌ها برای جمعیت‌های نابالغ زیر ۲۰ سال است. به‌طوری‌که خطای برآورد ضربان قلب بیشینه نظری به میزان بیش از ۱۰ ضربه در دقیقه هم گزارش شده است (۹). بنابراین، امکان دارد که معادلات رایج پیشگوی ضربان قلب بیشینه برای جمعیت کودک و نوجوان با خطای برآورد بیشتری همراه باشد. در نتیجه، با توجه به نبود معادله‌های معتبر در برآورد ضربان قلب بیشینه نظری پسران کودک و نوجوان، یافته‌های پژوهش حاضر قابل تأمل خواهد بود.

میانگین ضربان قلب بیشینه پسران کودک و نوجوان در پژوهش حاضر برابر با $202/44 \pm 6/12$ ضربه در دقیقه بود (جدول ۱). همچنین بین ضربان قلب بیشینه پسران کودک ($203/53 \pm 6/17$) و نوجوان ($201/6 \pm 11/12$) اختلاف اندک و معنادار ($P < 0/05$)، $2/42 =$ میانگین اختلاف) دیده شد (شکل ۱، دو ستون سیاه). همچنین، سطوح بلوغ زیستی یعنی زودرس ($203/6 \pm 55/26$)، طبیعی ($202/76 \pm 6/14$) و دیررس ($201/94 \pm 6/33$) تأثیر بارز در ضربان قلب بیشینه آزمودنی‌ها نداشت ($P = 0/258$) (شکل ۱، سه ستون خاکستری). میانگین‌های HRmax در پژوهش حاضر، همسو با پژوهش‌های پیشین در دیگر کشورها بود. در پژوهش شارگارل و همکاران، میانگین ضربان قلب بیشینه پسران و دختران ۱۰ تا ۱۹ ساله $196/1 \pm 7/64$ ضربه در دقیقه گزارش شد (۸). همچنین در بررسی ماهون و همکاران، میانگین ضربان قلب بیشینه

دختران و پسران هفت تا ۱۷ ساله 201 ± 10 ضربه در دقیقه گزارش شد (۱۸). ماچادو و همکاران، میانگین ضربان قلب بیشینه $200/2 \pm 8$ ضربه در دقیقه در پسران سالم ۱۰ تا ۱۶ ساله را گزارش کردند (۲۶). پژوهش مروری سایکن و همکاران، ضربان قلب بیشینه پسران و دختران پنج تا ۱۹ ساله در دامنه ۱۸۵ تا ۲۰۵ ضربه در دقیقه را نشان داد (۲۷). به‌نظر می‌رسد دلیل بروز تنوع در میانگین ضربان قلب بیشینه وجود اختلاف در عواملی همچون جنسیت، دامنه سنی آزمودنی‌ها، ترکیب بدن، سطوح پایه فعالیت بدنی و آمادگی بدنی آزمودنی‌ها، انتخاب نوع آزمون ورزشی فزاینده و سطح انگیزش افراد هنگام انجام آزمون ورزشی باشد (۱۱، ۱۸، ۲۷).

در پژوهش حاضر همسو با افزایش سن آزمودنی‌ها، شاهد کاهش اندک ضربان قلب بیشینه پسران از هشت تا ۱۷ سالگی بودیم، به‌طوری‌که در هر سال تنها $0/42$ ضربه در دقیقه از ضربان قلب بیشینه آن‌ها کاسته می‌شد (جدول ۲). این در حالی است که در دامنه سنی بزرگسالان، ضربان قلب بیشینه به‌طور متوسط هر سال یک ضربه در دقیقه کاهش می‌یابد (۴، ۱۰). در واقع یک باور مشترک وجود دارد که خاطرنشان می‌کند، ضربان قلب بیشینه کودکان و نوجوانان، مستقل از عامل سن است و کاهش HRmax با افزایش سن کودکان چندان آشکار نیست (۲۷).

در پژوهش حاضر، همبستگی ضعیف و معنادار بین ضربان قلب بیشینه و متغیرهای سن، قد و وزن بدن دیده شد ($P < 0/05$ ، $R = 0/198 - 0/131$) (جدول ۳). در این زمینه نتایج پژوهش حاضر همسو با پژوهش‌های پیشین است که آشکار می‌سازد ضربان قلب بیشینه در دامنه سنی کودکان و نوجوانان، همبستگی چشمگیر با عوامل وزن، توده بدنی، جنسیت، نژاد، سطح فعالیت بدنی و آمادگی قلبی - تنفسی آنها ندارد (۴، ۱۶، ۲۸، ۲۹). به‌ویژه، وجود

همبستگی ضعیف میان سن و HRmax در دامنه سنی کودک و نوجوان در پژوهش‌های پیشین نیز پذیرفته شده است. به‌طوری‌که پیشینه‌های علمی نشان می‌دهد که ضربان قلب بیشینه کودکان و نوجوانان مستقل از عامل سن است و با افزایش سن، کاهش ضربان قلب بیشینه در دوره بلوغ به‌طور معناداری رخ نمی‌دهد، بلکه با عبور کودکان از سن بلوغ، افت ضربان قلب بیشینه همراه با افزایش سن شایان توجه خواهد بود (۳۰).

از دلایل همبستگی پایین HRmax با عامل سن ($R = -0.198$) در کودکان و نوجوانان مورد بررسی را می‌توان به دامنه سنی کوتاه در این گروه نسبت داد. به بیان دیگر، دامنه سنی کودکان و نوجوان بسیار کمتر از دامنه سنی بزرگسالان است. به‌گونه‌ای که محدوده سنی کودکان و نوجوانان از هشت تا ۱۸ سالگی برابر با ۱۰ سال، اما در بزرگسالان از ۲۰ تا ۹۰ سالگی برابر ۷۰ سال است (۴، ۸، ۲۹). شارگال و همکاران در بررسی بیش از ۲۸۰۰۰ شرکت‌کننده، نشان دادند که تغییرات ضربان قلب بیشینه افراد در دامنه سنی گسترده ۱۰ تا ۸۰ سال، با کاهش چشمگیری روبه‌روست. درحالی‌که این روند نزولی HRmax در زیرگروه‌هایی با دامنه سنی ۱۰ سال از شیب ملایم‌تر برخوردار است. به بیان دیگر، دوران کودکی یک محدوده سنی کوتاه‌مدت برای ارزیابی رابطه بین سن و ضربان قلب بیشینه است. در مقابل، در دامنه سنی بزرگسالان، با دامنه سنی وسیعی مواجهیم (۸). به‌نظر می‌رسد که سطح پایین همبستگی، برآورد HRmax بر مبنای سن را در کودکان و نوجوانان محدود می‌سازد که در پاراگراف بعد به این نکته می‌پردازیم. بنابراین، معادلات برآورد ضربان قلب بیشینه کودکان بسیار محدود است و آن‌ها از روایی و قدرت برآورد بالا برخوردار نیستند. بررسی‌های دیگر نشان می‌دهد که اغلب معادلات

پیشگوی ضربان قلب بیشینه مبتنی بر سن، در گروه‌های سنی افراد نابالغ دارای خطای پیش‌بینی بالا برابر با ۱۰ ضربه در دقیقه است (۳۱).

نتایج آمار رگرسیونی خطی نیز نشان داد که HRmax پسران سالم هشت تا ۱۷ ساله با انتخاب متغیر سن طبق معادله ۱ قابل برآورد است. در این رابطه رگرسیونی، متغیر مستقل سن، حدود چهار درصد ($R^2 = 0.039$) از واریانس ضربان قلب بیشینه پسران کودک و نوجوان مورد بررسی را تبیین می‌کند. خطای استاندارد برآورد (SEE) در این معادله برابر ۶/۱۴ ضربه در دقیقه یعنی سه درصد میانگین ضربان قلب بیشینه واقعی بود (جدول ۴). این در حالی است که نمونه آماری ۳۴۹ نفر در معادله طراحی شده، یک مزیت آماری به‌شمار می‌آید (۳۲). همسو با پژوهش حاضر، پژوهش ماهون و همکاران معادله پیشگو را کودکان و نوجوانان طراحی کردند که در آن HRmax به‌وسیله متغیرهای سن و ضربان قلب استراحت قابل برآورد بود (ضربه در دقیقه $SEE = 8/54$ ، $R^2 = 0.26$). گلبرت و همکاران در پژوهشی روی ورزشکاران کودک و نوجوان، معادله برآورد ضربان قلب بیشینه را بر پایه متغیرهای ضربان قلب استراحت، وزن بدن و درصد چربی بدن با ضریب تعیین مشابه طراحی کردند (ضربه در دقیقه $SEE = 7/54$ ، $R^2 = 0.25$) (۱۶). همچنین نیکولایدیس و همکاران معادله برآورد HRmax ورزشکاران فوتبال‌لیست ۱۲ تا ۱۸ ساله را با استفاده از عامل سن با ضریب تعیین اندک گزارش کردند (ضربه در دقیقه $SEE = 7/6$ ، $R^2 = 0.07$) (۱۷). با این همه، معادلات پژوهش‌های پیشین و نیز معادله پژوهش حاضر دارای مؤلفه‌های آماری ضعیفی بودند.

همان‌طور که در پاراگراف بالا نمایان است، نمایه‌های آماری در معادلات رگرسیونی پژوهش حاضر و پژوهش‌های مشابه پیشین از قدرت بالا جهت برآورد

نسبتاً دقیق HRmax کودکان و نوجوانان برخوردار نیستند، به طوری که ضریب تعیین این معادلات پایین است، در نتیجه باید از این دست معادلات پیشگو با احتیاط استفاده کرد (۲۳). به طور کلی، به نظر می‌رسد که در مقطع سنی کودک و نوجوان، به دلیل روند رو به رشد و تکامل، معادلات برآورد ضربان قلب بیشینه نظری جهت تعیین سطح شدت تمرین چندان کارآمد نیستند. علت اندازه پایین ضریب تعیین پژوهش حاضر و تحقیقات پیشین را می‌توان به همبستگی ضعیف میان عامل سن با ضربان قلب بیشینه نظری در سنین کودکی و نوجوانی نسبت داد. به بیان دیگر، HRmax کودکان و نوجوانان مستقل از عامل سن است و در این رده سنی، ارتباط ضربان قلب بیشینه با سن چشمگیر نیست (۱۲)، باید توجه داشت که یک معادله رگرسیونی توانمند، نیازمند وجود همبستگی بالا میان متغیرهای مستقل (در پژوهش ما سن) و متغیر ملاک (ضربان قلب بیشینه) است. در نتیجه می‌توان کارایی پایین طراحی چنین معادلات برآورد ضربان قلب بیشینه برای جمعیت کودک و نوجوان را به وسیله نمایه‌های آماری ضعیف در معادلات پیشگو آشکار کرد.

کاهش اندک ضربان قلب بیشینه به موازات افزایش سن در جمعیت‌های غیربالغ، برخی نویسندگان را بر آن داشته است که استفاده از اندازه ثابت ۱۹۷ ضربه در دقیقه را به عنوان ضربان قلب بیشینه در این جمعیت پیشنهاد کنند (۱۶، ۳۳). پژوهش گذشته نگر شارگال و همکاران، میانگین ضربان قلب بیشینه $196/1 \pm 7/6$ را در جمعیت ۶۵۵۷ نفری دختران و پسران با میانگین سنی $15/5 \pm 2/4$ سال گزارش کرد (۸). همچنین ماچادو و همکاران میانگین ۲۰۰ ضربه در دقیقه را به عنوان نمایه HRmax پسران سالم ۱۰ تا ۱۶ ساله پیشنهاد کردند (۲۶). پژوهش گذشته نگر در مقیاس بزرگ گلبرت و همکاران روی ۴۳۳ ورزشکار نوجوان، میانگین $197 \pm 8/6$ ضربه در دقیقه را گزارش کرد

(۱۶). علاوه بر این، نویسندگان این مقاله، به دنبال شناسایی یک روش دقیق برای پیش‌بینی ضربان قلب بیشینه جوانان و همچنین، عوامل مؤثر بر ضربان قلب بیشینه آن‌ها بودند. آن‌ها به کمک تحلیل رگرسیون چندگانه، متغیرهای ضربان قلب استراحت، ترکیب بدن، وزن بدن و درصد چربی را به عنوان عوامل پیشگوی معنادار برای ضربان قلب بیشینه معرفی کردند، اگرچه در طراحی معادله رگرسیون آن‌ها روی هم‌رفته کمتر از ۳۰ درصد از واریانس به ضربان قلب بیشینه اختصاص داشت. نویسندگان در نهایت استفاده از اندازه ثابت ۱۹۷ ضربه در دقیقه را برای کودکان و نوجوانان به دلیل توانایی پایین پیش‌بینی در الگوهای رگرسیون پیشنهاد کردند (۱۶).

با ملاحظه نمایه‌های آماری در معادله پیشگو، نویسندگان این مقاله استفاده از اندازه ثابت ۲۰۲ ضربه در دقیقه را به عنوان میانگین ضربان قلب بیشینه نظری برای جمعیت پسران کودک و نوجوان سالم جهت کنترل شدت تمرینات ورزشی پیشنهاد می‌دهند. در این میان کاربست مقادیر ثابت ۲۰۴ و ۲۰۱ ضربه در دقیقه به ترتیب به عنوان میانگین ضربان قلب بیشینه برای کودکان و افراد نوجوان در تنظیم شدت تمرین‌های ورزشی قابل تأمل خواهد بود.

به عنوان جمع‌بندی این پژوهش، به نظر می‌رسد در سنین کودکی و نوجوانی به دلیل فرایند رشد و نمو بدن و نیز ارتباط ضعیف سن با ضربان قلب بیشینه نظری، کاربست معادلات رگرسیونی پیشگو قادر به برآورد دقیق ضربان قلب بیشینه در این دامنه سنی نابالیده نیستند. با استناد به نتایج پژوهش حاضر، نویسندگان این مقاله، میانگین ۲۰۲ ضربه در دقیقه را به نشانه برآورد ضربان قلب بیشینه نظری پسران سالم هشت تا ۱۷ سال پیشنهاد می‌دهند. همچنین ارزیابی نتایج پژوهش حاضر به منظور اطمینان بیشتر و نیز تعمیم آن به جامعه کودکان و نوجوان بسیار ارزشمند خواهد بود.

International journal of sports medicine.
2018;39(03):198-203.

4. Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. Journal of the American College of Cardiology. 2001;37(1):153-6.
5. Medicine ACoS. ACSM's health-related physical fitness assessment manual: Lippincott Williams & Wilkins; 2013.
6. Fox 3rd S, Naughton JP, Haskell W. Physical activity and the prevention of coronary heart disease. Annals of clinical research. 1971;3(6):404-32.
7. Cundrič L, Bosnić Z, Kaminsky LA, Myers J, Peterman JE, Markovic V, et al. A Machine Learning Approach to Developing an Accurate Prediction of Maximal Heart Rate During Exercise Testing in Apparently Healthy Adults. Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention. 2023;10.1097.
8. 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. The Journal of sports medicine and physical fitness. 2015;55(10):1207-18.
9. Robergs RA, Landwehr R. The surprising history of the "HRmax= 220-age" equation. Journal of Exercise Physiology Online. 2002;5(2):1-10.
10. Gellish RL, Goslin BR, Olson RE, McDONALD A, Russi GD, Moudgil VK. Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. Medicine and science in sports and exercise. 2007;39(5):822-9.

تشکر و قدردانی

از دانش‌آموزان شرکت‌کننده و همکاری انجمن اولیا و مربیان سپاسگزاریم.

حمایت مالی

این پژوهش برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته علوم ورزشی، گرایش فیزیولوژی ورزشی است و بدون هیچ‌گونه حمایت مالی انجام گرفته است. همچنین تضاد منافع در این مقاله وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به‌طور مساوی در طراحی، اجرا، تحلیل داده‌ها و نوشتن مقاله مشارکت داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

پی‌نوشت‌ها

- ¹ Maximal Heart Rate (HRmax)
- ² Maximal Oxygen Consumption (VO2max)
- ³ Maximal Graded Exercise Test (GXT)
- ⁴ Maturity offset
- ⁵ Stepwise Regression Model
- ⁶ The coefficient of determination (R²)
- ⁷ Standard Error of Estimate (SEE)
- ⁸ $SEE\% = (SEE / \text{measured HRmax}) \times 100$

منابع

1. Gibson AL, Wagner D, Heyward V. Advanced fitness assessment and exercise prescription, 8E: Human kinetics; 2019.
2. Kraemer WJ, Fleck SJ, Deschenes MR. Exercise physiology: integrating theory and application: Lippincott Williams & Wilkins; 2011.
3. Keiller D, Gordon D. Confirming Maximal Oxygen Uptake: Is Heart Rate the Answer?

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.
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. Park JH, Jung HC, Jung YS, Song JK, Lee JM. Re-Visiting Maximal Heart Rate Prediction Using Cross-Validation in Population Aged 7-55 Years. *International journal of environmental research and public health*. 2022;19(14).
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.
16. Gelbart M, Ziv-Baran T, Williams CA, Yarom Y, Dubnov-Raz G. Prediction of maximal heart rate in children and adolescents. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2017;27(2):139-44.
17. Nikolaidis P. Maximal heart rate in soccer players: measured versus age-predicted. *Biomedical journal*. 2015;38(1).
18. Mahon AD, Marjerrison AD, Lee JD, Woodruff ME, Hanna LE. Evaluating the prediction of maximal heart rate in children and adolescents. *Research quarterly for exercise and sport*. 2010;81(4):466-71.
19. 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 Journal of Clinical Medicine*. 2024;31(1):62-9.
20. Mirwald RL, Baxter-Jones AD, Bailey DA, Beunen GP. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2002;34(4):689-94.
21. Medicine ACoS. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription: Lippincott Williams & Wilkins; 2013.
22. Winter EM, Jones AM, Davison RR, Bromley PD, Mercer TH. Sport and Exercise Physiology Testing Guidelines: Volume I–Sport Testing: The British Association of Sport and Exercise Sciences Guide: Routledge; 2006.
23. Kemp F. Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*. 2003;52(4):691-.
24. Hinkle DE, Wiersma W, Jurs SG. Applied statistics for the behavioral sciences. 2003.
25. Rowland TW. Evolution of maximal oxygen uptake in children. *Pediatric Fitness*. 50: Karger Publishers; 2007. p. 200-9.

26. Machado FA, Denadai BS. Validity of maximum heart rate prediction equations for children and adolescents. *Arquivos brasileiros de cardiologia*. 2011;97(2):136-40.
27. Ciccone 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. *Research quarterly for exercise and sport*. 2019;90(3):417-28.
28. 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.
29. Nes B, Janszky I, Wisløff U, Støylen A, Karlsen T. Age-predicted maximal heart rate in healthy subjects: The HUNT Fitness Study. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2013;23(6):697-704.
30. Washington R, Bricker J, Alpert B, Daniels S, Deckelbaum R, Fisher E, et al. Guidelines for exercise testing in the pediatric age group. From the Committee on Atherosclerosis and Hypertension in Children, Council on Cardiovascular Disease in the Young, the American Heart Association. *Circulation*. 1994;90(4):2166-79.
31. Robertson RJ, Goss FL, Boer NF, Peoples JA, Foreman AJ, Dabayebeh IM, et al. Children's OMNI scale of perceived exertion: mixed gender and race validation. *Medicine and science in sports and exercise*. 2000;32(2):452-8.
32. Ogundimu EO, Altman DG, Collins GS. Adequate sample size for developing prediction models is not simply related to events per variable. *J Clin Epidemiol*. 2016;76:175-82.
33. Machado FA, Denadai BS. Validity of maximum heart rate prediction equations for children and adolescents. *Arquivos brasileiros de cardiologia*. 2011;97(2):136-40.