

## Prediction of maximal heart rate ( $HR_{max}$ ) in healthy children and adolescent boys

Majid 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 science 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 child and adolescent populations in different geographical regions due to the intervening role of the biological maturation process. Therefore, the purpose of this research is 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. Also, anthropometric and physiological variables of the subjects were measured in resting conditions using standard methods. Pearson's correlation was used in order to investigate the relationship between independent variables and the measured  $HR_{max}$ . 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  $202.44 \pm 6.12$  beats per minute. There was a weak and significant correlation between  $HR_{max}$  and the independent variables of age, height and weight ( $R = -0.131 - 0.198$ ) ( $p < 0.05$ ). The  $HR_{max}$  of children and adolescent boys could be estimated according to the native equation "maximal heart rate (bpm) =  $208.015 - 0.452 \times \text{age (years)}$ " ( $p = 0.0002$ ). However, the indicators of the native equation do 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 adolescents' boys is recommended to control the intensity of training in sports and rehabilitation programs. Evaluating the results obtained in the present study for greater confidence and generalization to the child and adolescent community will 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 ( $HR_{max}$ ) in healthy children and adolescent boys. Journal of Sport and Exercise Physiology. 2025;18(3):?-?.

\*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/>).

## بررسی 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:** اندازه گیری و یا برآورد ضربان قلب بیشینه ( $HR_{max}$ ) به عنوان یک شاخص فیزیولوژیک در تنظیم شدت برنامه های تمرینی ورزشی و توانبخشی از اهمیت بالایی برخوردار است. با این حال، به دلیل مشکلات اجرایی در اندازه گیری استاندارد ضربان قلب بیشینه هنگام فعالیت بدنی، متخصصان علوم ورزش و تندرستی، کاربست معادلات برآورد ضربان قلب بیشینه را توصیه می کنند. اغلب این معادلات پیشگوی رگرسیونی خطی / غیرخطی با بهره گیری نمونه های جمعیت های بزرگسال (۲۰ تا ۹۰ سال) طراحی شده است که به نظر می رسد کاربرد چنین معادلات تخمینی را برای جمعیت کودک و نوجوان در مناطق جغرافیایی گوناگون به دلیل نقش مداخله فرایند بلوغ زیستی محدود سازد. بنابراین هدف این پژوهش، طراحی معادله برآورد ضربان قلب بیشینه ویژه پسران سالم کودک و نوجوان می باشد.

**مواد و روش ها:** ضربان قلب بیشینه در ۳۴۹ پسر سالم ۸ تا ۱۷ ساله شهر همدان با شرکت در آزمون درمانده ساز بروس تعدیل شده اندازه گیری شد. همچنین، متغیرهای آنتروپومتری و فیزیولوژیک آزمودنی ها در شرایط استراحت به روش استاندارد اندازه گیری شدند. برای بررسی ارتباط متغیرهای مستقل الگوی رگرسیون با ضربان قلب بیشینه اندازه گیری شده از روش همبستگی استفاده شد. در این راستا جهت طراحی معادله برآورد ضربان قلب بیشینه از روش آماری رگرسیونی گام به گام استفاده شد و شاخص های ضریب تعیین ( $R^2$ )، خطای استاندارد برآورد (SEE)، درصد خطای استاندارد برآورد (SEE%) و توزیع طبیعی خطاها برای ارزیابی کارایی مدل پیشگو استفاده شد.

**نتایج:** میانگین ضربان قلب بیشینه ارگومتری آزمودنی ها  $202/44 \pm 6/12$  ضربه در دقیقه بود. همبستگی ضعیف و معنادار ضربان قلب بیشینه با متغیرهای ملاک شامل سن، قد و وزن بدست آمد ( $R = -0/131 - 0/198$ ) ( $p < 0/05$ ). ضربان قلب بیشینه پسران کودک و نوجوان با معادله رگرسیونی " (سال) سن  $\times 0/452 - 208/015 =$  ضربان قلب بیشینه " برآورد گردید ( $p = 0/0002$ ). با این حال، شاخص های انتخاب شده در این معادله از قدرت بالا برخوردار نبود. به طوری که شاخص ضریب تعیین معادله پیشگو برابر ( $R^2 = 0/04$ ) و شاخص خطای استاندارد برآورد (ضربه در دقیقه  $SEE = 6/14$ ) بود که معادل  $3/03\%$  میانگین ضربان قلب بیشینه اندازه گیری شده بود.

**نتیجه‌گیری:** با ملاحظه قدرت پایین شاخص‌های آماری در معادله مطالعه حاضر، کاربست عدد ۲۰۲ به عنوان ضریب قلب بیشینه پسران سالم جهت کنترل شدت تمرین در برنامه‌های ورزشی و توانبخشی پیشنهاد می‌گردد. ارزیابی نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر جهت اطمینان بیشتر و نیز تعمیم آن به جامعه کودکان و نوجوان بسیار ارزشمند خواهد بود.

**واژه‌های کلیدی:** ضریب قلب بیشینه، پسران، معادله‌های براوردی، شدت تمرین.

**نحوه استناد به این مقاله:** جلیلی م، کمیجانی ر، ناظم ف. براورد ضریب قلب بیشینه در پسران کودک و نوجوان سالم. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۴؛ ۱۸(۳): ۴-۹.

\* رایانامه نویسنده مسئول: [f.nazem@basu.ac.ir](mailto:f.nazem@basu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۳

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۲

پیش‌پیش‌انتشار

## مقدمه

ضربان قلب بیشینه ( $HR_{max}$ )<sup>۱</sup> یک شاخص عمده جهت کنترل فشار فیزیولوژیک ارگانیسم و شدت تمرین در قلمرو پزشکی، توانبخشی و فیزیولوژی ورزش به دلیل ارتباط تنگاتنگ میان تغییرات تواتر ضربان قلب و اکسیژن مصرفی بدن هنگام ارگومتری است (۱). ضربان قلب بیشینه به نشانه بالاترین حد از ضربان قلب تجربه شده فرد هنگام فعالیت بدنی اطلاق می شود. اندازه گیری و یا برآورد ضربان قلب بیشینه از اصول رایج در تجویز و تنظیم برنامه های ورزشی است که از آن به عنوان یک شاخص برای دستیابی حداکثر تلاش جسمانی و نیز معیار بالینی هنگام آزمون های استاندارد آزمایشگاهی استفاده می شود (۲). برای نمونه، درصد ضربان قلب بیشینه یا درصد ضربان قلب ذخیره، شاخص های منتخب در تجویز شدت برنامه ورزشی بشمار می آید. همچنین، یکی از ملاک های توقف آزمون های ورزشی استاندارد، دستیابی فرد به درصدی از ضربان قلب بیشینه برآورد شده است. به بیان دیگر، از شاخص  $HR_{max}$  به عنوان یکی از ملاک های احراز حداکثر تلاش بدنی هنگام ارگومتری در سنجش مستقیم حداکثر اکسیژن مصرفی ( $VO_{2max}$ ) استفاده می شود (۳).

روش استاندارد اندازه گیری ضربان قلب بیشینه، اجرای آزمون ورزشی فزاینده (GXT) می باشد. اما، کاربرد این روش استاندارد در اغلب موقعیت های مکانی مانند سالن های ورزشی، مدارس و مراکز توانبخشی مقدور نیست (۴، ۵). بنابراین، پژوهشگران از معادلات پیشگوی رگرسیونی (۴، ۶) و به تازگی استفاده از شبکه های عصبی (۷) را جهت برآورد ضربان قلب بیشینه در افراد استفاده می کنند.

گزارش های علمی آشکار می کند که تا کنون معادلات متعدد جهت برآورد ضربان قلب بیشینه جمعیت های سالم و بیمار طراحی شده است ( $R^2 = 0/49 - 0/81$ ) (۴، ۸، ۹). این معادلات پیشگو بر پایه اصل ارتباط معکوس میان سن و ضربان قلب بیشینه طراحی شده اند. به طوری که در جمعیت بزرگسال، کاهش معنی دار ضربان قلب بیشینه به موازات افزایش سن تایید شده است (۱۰). همچنین در اغلب منابع مرجع فیزیولوژی ورزش و تمرین، معادلات "فاکس" و "تاناکا" برای برآورد ضربان قلب بیشینه معرفی شده است (۲). به طوری که معادله برتر برآورد ضربان قلب بیشینه تا قبل از سال ۲۰۰۱، معادله سنتی "فاکس" به صورت تفاضل سن از عدد ثابت (سن - ۲۲۰ = ضربان قلب بیشینه) مطرح بوده است (۶). سپس تاناکا و همکاران در سال ۲۰۰۱ معادله جدید پیشگوی طراحی و آرایه کردند ((سن)  $\times 0/7 - 208 =$  ضربان قلب بیشینه) که برآمده از ارزیابی متآنالیز روی ۳۵۱ مطالعه بود که در مجموع شامل ۱۸۷۱۲ بزرگسال را در بر می گرفت (۴). اغلب این مطالعات از دقت بیشتر معادله پیشگوی "تاناکا" نسبت به رابطه سنتی "فاکس" در جمعیت بزرگسال حکایت دارد (۱۱-۱۳). در مطالعه تاناکا و همکاران همبستگی بسیار بالایی بین ضربان قلب بیشینه و سن ( $R = -0/90$ ) گزارش شد (۴). این گزارش هم راستا با مطالعات قبلی پیرامون نقش کاهنده افزایش سن بر ضربان قلب بیشینه بزرگسالان بود. در معادله "تاناکا" عامل مستقل سن، ۸۰ درصد از تغییرات ضربان قلب بیشینه بزرگسالان را تبیین می کند ( $R^2 = 0/80$ ). علیرغم استفاده گسترده از معادلات برآورد ضربان قلب بیشینه یاد شده در بالا، اغلب طراحی این دست معادلات پیشگو از نمونه های جمعیت بزرگسال (۲۰ تا ۹۰ سال) استفاده شده که به نظر می رسد کاربرد آنها را در جمعیت کودک و نوجوان محدود سازد (۱۱). به طوری که پژوهش های جدید حاکی از عدم کارایی معادلات "فاکس" و "تاناکا" برای جمعیت دختران و پسران کودک و نوجوان می باشد (۱۴). در این زمینه، مطالعه کمیجانی و همکاران در سال ۱۴۰۲ نشان داد که معادلات "فاکس" و "تاناکا" به ترتیب منجر به بیش تخمینی و کم تخمینی معنادار ضربان قلب بیشینه در پسران سالم کودک و نوجوان منجر گردید (۱۵).

1 Maximal Heart Rate ( $HR_{max}$ )

2 Maximal Oxygen Consumption ( $VO_{2max}$ )

3 Maximal Graded Exercise Test (GXT)

مطالعات محدودی اقدام به طراحی معادلات برآورد ضربان قلب بیشینه مختص دامنه سنی کودک و نوجوان نمودند (۸، ۱۶-۱۸). مطالعه ماهون و همکاران روی ۵۷ کودک و نوجوان ۷ تا ۱۷ سال منجر به طراحی معادله برآورد ضربان قلب بیشینه آنها شد. در این معادله رگرسیون، ضربان قلب بیشینه بچه ها با استفاده از متغیرهای سن و ضربان قلب استراحت قابل برآورد شده بود (ضربه در دقیقه  $SEE = ۸/۵۴$ ،  $R^2 = ۰/۲۶$ ) (۱۸). 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 ارایه کردند (ضربه در دقیقه  $SEE = ۷/۵۴$ ،  $R^2 = ۰/۲۵$ ) (۱۶). در این راستا، نیکولاییدیس و همکاران معادله برآورد ضربان قلب بیشینه بر مبنای سن مختص نوجوانان فوتبالیست ۱۲ تا ۱۸ ساله را ارائه کردند (ضربه در دقیقه  $SEE = ۷/۶$ ،  $R^2 = ۰/۰۷$ ) (۱۷). با این حال، پژوهش حیدری و زرین کلام نشان داد که معادلات یاد شده بالا در پسران سالم ۸ تا ۱۲ ساله ناکارآمد است (۱۹).

با توجه به اینکه ملاحظه شاخص های آماری ضعیف در معادلات پیشگوی طراحی شده (یعنی ضریب تعیین کم، خطای برآورد بالا و نمونه آماری کم) ویژه جمعیت کودک و نوجوان، می توان دریافت که این معادلات تخمینی یاد شده از قدرت تعمیم دهی بالا برخوردار نبوده و نمی توان در برآورد ضربان قلب بچه ها به آنها اعتماد کرد. از سوی دیگر، در نمونه آماری این سه مطالعه مذکور از افراد خاص مانند ورزشکاران کودک و نوجوان استفاده شده که قابلیت تعمیم دهی به جمعیت کودکان و نوجوانان غیر ورزشکار را محدود می کند.

از یک سو، با توجه به عدم کارایی معادلات "فاکس و تاناکا" در پسران کودک و نوجوان (۱۵) و نیز برآورد نادرست معادلات مختص دامنه سنی کودک و نوجوان در بچه ها (۱۹)، لزوم مطالعه برای طراحی معادله برآورد ضربان قلب بیشینه دانش آموزان که در آن آزمودنی های با دامنه سنی ۸ تا ۱۷ ساله از جمعیت های ورزشکار و غیر ورزشکار با دامنه ترکیب بدنی متفاوت لاغر، طبیعی و چاق، احتمالاً قدرت آماری و قابلیت تعمیم و کاربرد پذیری معادله پیشگو را افزایش خواهد داد. بنابراین هدف این پژوهش طراحی معادله برآورد ضربان قلب بیشینه ویژه پسران دانش آموز با بهره گیری از روش معیار آزمایشگاهی هنگام ارگونومی فزاینده می باشد.

## روش پژوهش

**نمونه های پژوهش:** جامعه آماری شامل دانش آموزان پسر سالم ۸ تا ۱۷ ساله مشغول به تحصیل در نواحی یک و دو آموزش و پرورش شهر همدان بود. نمونه آماری شامل ۳۴۹ دانش آموز پسر سالم ۸ تا ۱۷ سال بود که به صورت داوطلبانه در مطالعه شرکت کردند. از میان مدارس مقاطع تحصیلی ابتدایی، متوسطه اول و دوم، هر کدام ۶ مدرسه (در مجموع ۱۸ مدرسه از مناطق متفاوت جغرافیایی، فرهنگی و اقتصادی شهر همدان) بصورت خوشه ای هدفمند انتخاب گردید. در این میان، ۸ مدرسه به دلیل عدم همکاری عوامل اجرایی و انجمن اولیا آموزشگاه از مطالعه خارج شده 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 حال به دلیل محدودیت های زمانی، و عدم همکاری بعضی اولیای دانش آموزان و نیز کنار رفتن آزمودنی ها به دلیل عدم همکاری تا مراحل انتهایی پژوهش، به طور میانگین ۳۵ آزمودنی در هر رده سنی جای گرفتند. جهت اطلاع از سلامتی آزمودنی ها، رضایتنامه کتبی مبنی بر سلامتی کامل دانش آموزان به والدین دانش آموزان داده شد تا آنرا تکمیل، امضا و اثر انگشت نمایند. با استفاده از پرسشنامه آمادگی فعالیت بدنی (PAR-Q) از ورود دانش آموزان مبتلا به مشکلات قلبی-تنفسی، عصبی-عضلانی، آناتومیکی و متابولیک جلوگیری شد. فرایند پژوهش حاضر توسط کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی همدان مورد تایید قرار گرفت (کد کمیته اخلاق: IR.BASU.REC.1398.006).

**روش اجرای پژوهش:** متغیرهای سن (سال)، قد (سانتیمتر)، وزن (کیلوگرم)، شاخص جرم بدن ( $BMI_{kg/m^2}$ ) به روش استاندارد اندازه گیری شدند. ضربان قلب استراحت پسران با ضربان سنج سینه ای مدل (Polar Heart Rate Transmitter Model T34 Germany) پس از استراحت حداقل ۱۰ دقیقه روی صندلی نشیمن اندازه گیری شد. برای سنجش وضعیت بلوغ زیستی آزمودنی

ها در دو سطح طبیعی و غیر طبیعی (زودرس و دیررس) با روش میروالد (۲۰) بر پایه اندازه انحراف بلوغ و تعیین زمان رسیدن آزمودنی به اوج سرعت قد، انجام گرفت. به طوری که با سنجش مولفه‌های سن، قد، وزن، قد نشسته و طول پا، اندازه انحراف از بلوغ تعیین گردید. طبیعی بودن بلوغ آزمودنی با استفاده از رابطه: (اندازه انحراف از بلوغ - سن تقویمی = سن اوج سرعت قد)، مورد بررسی قرار گرفت. چنانچه سن اوج سرعت قد، در دامنه ۱۴-۱۳ سالگی قرار داشت، نشانه بلوغ طبیعی و اندازه پایین‌تر یا بالاتر بودن از این سطح، در دسته بلوغ غیر طبیعی (به ترتیب زودرس و دیررس) تفکیک می‌گردید.

**روش های آزمایشگاهی:** در اندازه‌گیری ضربان قلب بیشینه و  $VO_{2max}$  از آزمون ورزشی بروس تعدیل شده استفاده گردید (۵). در انتخاب آزمون ورزشی به گونه‌ای عمل شد که آزمودنی‌ها قادر باشند آنرا در حد توان خود به انتها برسانند. آزمون ورزشی بروس تعدیل شده شامل ۹ مرحله ۳ 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) می‌باشد. این ویژگی باعث می‌شود تا بویژه آزمودنی‌های با سنین پایین‌تر بتوانند الگوی پیاده‌روی و سپس دویدن آرام روی نوارگردان را با کمترین فشار فیزیکی و استرس انجام دهند (۵). (۲۱).

آزمون ارگومتری روی تردمیل مدل (h/p/cosmos Saturn300/125 Germany) مجهز به دستگاه سنجش و تحلیل گازهای تنفسی مدل (Power Cube, Ganshorn Medizin Electronic GmbH, PC-GMEG : Germany) انجام شد. هنگام اجرای آزمون ورزش فزاینده، ضربان قلب هر آزمودنی پیوسته با ضربان سنج مدل (Polar Heart Rate Transmitter Model T34 Germany) که روی قفسه سینه آزمودنی‌ها بسته شده بود، در مانیتور دستگاه به منظور پایش شدت فعالیت آزمودنی‌ها قابل مشاهده و ثبت می‌گردید. گازهای تنفسی  $VO_2$ ،  $VCO_2$  حین اجرای آزمون ورزش استاندارد بوسیله ماسک لاستیکی (Hans Rudolph, Kansas City, MS, USA) متناسب با اندازه سر و صورت آزمودنی‌ها، جمع‌آوری و سپس با دستگاه گازآنالایزر مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گرفت. شرط پایان یافتن آزمون ارگومتری فزاینده و تعیین  $VO_{2max}$  معیار، هنگامی مشخص می‌شد که در هر آزمودنی حداقل دو گزینه از چهار ملاک ذیل، مشاهده می‌شد؛ (۱) رسیدن به ضربان قلب بزرگتر از ۸۵٪ ضربان قلب بیشینه نظری مطابق رابطه تاناکا (۴)، (۲) نسبت تبادل تنفسی ( $RER < 1/1$ ، ۳) مشاهده عدم تعادل در دویدن، (۴) واماندگی ارادی آزمودنی و امتناع از ادامه کار علیرغم تشویق‌های کلامی آزمونگر (۲۲). به منظور تعیین  $VO_{2max}$ ، بیشترین مقدار اکسیژن مصرفی در ۲۰ ثانیه انتهایی آزمون فزاینده ورزشی لحاظ گردید. همچنین، بیشترین ضربان قلب تجربه شده هنگام آزمون فزاینده ورزش به نشانه سنجش واقعی ضربان قلب بیشینه، لحاظ گردید.

از آزمودنی‌ها خواسته شد که قبل از اجرای ارگومتری به روش آزمایشگاهی، از انجام هر گونه فعالیت بدنی نسبتاً شدید ظرف ۴۸ ساعت گذشته پرهیز کنند. همچنین وعده غذایی خود را حداقل سه ساعت قبل از آزمون ورزش میل نموده و سپس از خوردن مواد غذایی به استثنای آب آشامیدنی امتناع نمایند. کالیبراسیون‌های دستگاه گاز آنالایزر با ملاحظه شرایط محیطی، حجم‌ها و نسبت گازهای کپسول اکسیژن، مطابق دستورالعمل دستگاه شرکت سازنده، روزه قبل و بعد استفاده از دستگاه PC-GMEG صورت می‌گرفت. اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی در دمای محیط ۱۹ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۳۹٪ تا ۴۳٪ و ارتفاع ۱۸۶۰ متر از سطح دریا در آزمایشگاه فیزیولوژی کار دانشگاه بوعلی سینا در نوبت پیش از ظهر انجام گرفت. به دلیل تعداد زیاد آزمودنی‌ها و برخی محدودیت‌های اجرایی در فرایند پژوهش، اندازه‌گیری‌ها در مدت ۹ ماه انجام شد.

**تحلیل آماری:** برای بررسی توزیع طبیعی داده‌ها از آزمون کلموگروف اسمیرنوف جهت 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 یک سویه و تی مستقل استفاده شد. از همبستگی پیرسون برای مطالعه ارتباط ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده با متغیرهای

مستقل (سن، قد، وزن، شاخص توده بدن) استفاده گردید. همچنین برای طراحی معادله براورد ضربان قلب بیشینه پسران از مدل رگرسیون گام به گام<sup>۱</sup> استفاده شد. ملاک انتخاب در معادله پیشگو، تمرکز به مولفه‌های ضریب تعیین ( $R^2$ )، خطای استاندارد براورد (SEE) و خطای استاندارد براورد نسبی ( $SEE\% = (SEE / \text{اندازه گیری شده}) \times 100$ ) میانگین  $VO_{2peak}$  اندازه گیری شده / SEE) بود (۲۳، ۲۴). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۴ در سطح  $P < 0.05$  انجام شد.

جدول ۱: مشخصات آنترپومتری و فیزیولوژیک هنگام ارگومتری در پسران تحت مطالعه (۳۴۹ نفر)

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

## نتایج

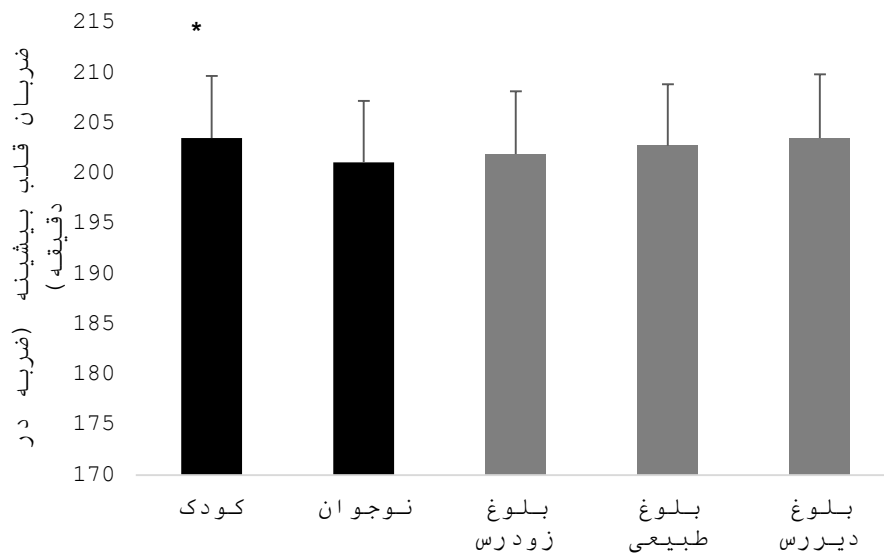
مشخصات آزمودنی‌ها و متغیرهای مورد سنجش در جدول ۱ مشاهده می‌شود. میانگین ضربان قلب بیشینه پسران  $202/44 \pm 6/12$  ضربه در دقیقه بود. همچنین، میانگین  $HR_{max}$  پسران سالم کودک و نوجوان در رده‌های سنی ۸ تا ۱۷ سال به طور مجزا در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که مشخص است با افزایش سن آزمودنی‌ها به تغییر چشمگیر در ضربان قلب بیشینه پسران نینجامید. اما کاهش اندک در ضربان قلب بیشینه پسران از ۸ تا ۱۷ سالگی رخ داد. به طوری که به ازای هر سال افزایش سن، تنها  $0/42$  ضربه در دقیقه از ضربان قلب بیشینه بچه‌ها کاسته می‌شد. بین ضربان قلب بیشینه واقعی بچه‌ها ( $203/6 \pm 53/17$ ) و افراد نوجوان ( $201/11 \pm 6/12$ ) هنگام ارگومتری اختلاف جزئی ولی معنادار ( $p < 0/05$ )،  $2/42$  = میانگین اختلاف) مشاهده شد (شکل ۱). با این حال، سطوح بلوغ زیستی آزمودنی‌ها تاثیر معنادار در ضربان قلب بیشینه واقعی نداشت. به طوری که هنگام ارگومتری، 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 ارگومتری درمانده ساز پسران در سنین ۸ تا ۱۷ سال (۳۴۹ نفر)

- 1-Stepwise Regression Model
- 2- The coefficient of determination ( $R^2$ )
- 3- Standard Error of Estimate (SEE)
- 4  $SEE\% = (SEE / \text{measured } HR_{max}) \times 100$

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*	۲۰۴/۷۵	۲۰۴/۶۵	۲۰۳/۲۱	۲۰۱/۷۹	۲۰۳/۱۷	۲۰۲/۱۴	۲۰۱/۳۴	۲۰۰/۷۱	۲۰۱/۵۷	۲۰۰/۵۲
انحراف معیار*	۵/۸۴	۷/۲۰	۶/۲۳	۵/۰۸	۵/۳۴	۶/۷۷	۶/۱۲	۶/۱۶	۷/۹۰	۴/۷۷
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 ارگومتری فزاینده در پسران کودک (۱۹۲ نفر) و نوجوان (۱۵۷ نفر)

\*: اختلاف معنادار ضربان قلب بیشینه با پسران نوجوان هنگام ارگومتری ( $p < 0.05$ )

مطابق جدول شماره ۳، همبستگی ضعیف و معنادار بین ضربان قلب بیشینه واقعی و متغیرهای مستقل هر مدل رگرسیون خطی مشاهده گردید ( $R = 0.131 - 0.198$ ) ( $p < 0.05$ ). در این بخش، گرچه عامل سن بیشترین همبستگی را با ضربان قلب بیشینه تخمینی آنها داشت. اما اندازه همبستگی ضعیف بود ( $P = -0.198$ ). ضربان قلب بیشینه پسران طبق طراحی معادله، قابل برآورد بود ( $p = 0.0002$ ). بطوری که ضریب تعیین در معادله برآورد ضربان قلب بیشینه بچه ها ( $R^2 = 0.04$ ) و خطای استاندارد برآورد (ضربه در دقیقه  $SEE = 6.14$ ) بود که حدوداً معادل ۳٪ میانگین ضربان قلب بیشینه واقعی است (جدول ۴). همچنین، خطای برآورد معادله رگرسیون از توزیع طبیعی برخوردار نبود ( $p < 0.05$ ).

$$\text{ضربان قلب بیشینه (سال)} = 0.452 \times \text{سن} - 208.15 = (\text{ضربه در دقیقه})$$

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



متغیرها:	سن (سال)	قد (CM)	وزن (KG)	شاخص جرم بدن
ضربان قلب بیشینه (b/min)	-۰/۱۹۸*	-۰/۱۶۰*	-۰/۱۳۱*	-۰/۰۷۴

\*:  $p < 0.01$

جدول ۴. مدل رگرسیون خطی براورد ضربان قلب بیشینه پسران ۸ تا ۱۷ ساله

معادله *	Coefficients (B)	p	R	R <sup>2</sup>	SEE
Constant	۲۰۸/۰۱۵	۰/۰۰۰	۰/۱۹۸	۰/۰۴	۶/۱۴
سن (سال)	-۰/۴۵۲	۰/۰۰۰۲			

\*: (سال) سن  $\times$  -۰/۴۵۲ + ۲۰۸/۰۱۵ = براورد 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 حال، با افزایش سن در هر سال معادل ۰/۴۲ از ضربان قلب بیشینه آنها کاسته می شد. همچنین، بین ضربان قلب بیشینه پسران در مقطع سنی کودک (۲۰۳/۵۳±۶/۱۷) و نوجوان (۲۰۱/۱۱±۶/۱۲) اختلاف معنادار ( $p < 0.05$ ، میانگین اختلاف) مشاهده گردید (شکل ۱). با این حال، سطوح بلوغ زیستی آزمودنی ها تأثیر بارز در ضربان قلب بیشینه آزمودنی ها نداشت ( $p = 0.258$ ) (شکل ۱). گرچه 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 براورد (ضربه در دقیقه  $SEE = 6/14$ ) در این معادله پیشگو، می توان اظهار داشت که براورد ضربان قلب بیشینه پسران کودک و نوجوان با استفاده از معادله طراحی شده بر مبنای سن، از قدرت براورد مناسب برخوردار نبوده و ارزیابی اعتبار آن منوط به مطالعات آتی خواهد بود. با این حال، به نظر می رسد که استفاده از عدد ثابت ۲۰۲ ضربه در دقیقه به مفهوم میانگین شاخص ضربان قلب بیشینه نظری پسران کودک و نوجوان برای اهداف کنترل شدت برنامه های تمرین ورزشی و توانبخشی راهگشا باشد.

شواهد علمی آشکار می کند که در حوزه ورزش و توانبخشی کنترل هر یک از شاخص های شدت تمرین ( $VO2MAX\%$ ،  $MET$ ،  $HRR\%$ ،  $HRMAX\%$ ،  $VO2R\%$ ) در مرتبه نخست نیازمند در اختیار داشتن شاخص ضربان قلب بیشینه فرد است. با توجه به در دسترس نبودن و مشکلات اجرایی روش استاندارد اندازه گیری ضربان قلب بیشینه، پژوهشگران علوم تندرستی معادلات رگرسیونی را جهت براورد ضربان قلب بیشینه توصیه می کنند (۲۵). با این حال، معادلات پیشگوی ضربان قلب بیشینه مبتنی بر سن، اغلب بر اساس داده های جمعیت زنان و مردان بزرگسال طراحی شده است. از این رو، محدودیت اصلی کار بست چنین معادلات تخمینی  $HRmax$ ، ناکارآمدی آنها برای جمعیت های نابالغ زیر ۲۰ سال است. به طوری که، خطای براورد 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 براورد بیشتری همراه باشد. در نتیجه، با توجه به نبود معادله های معتبر در براورد ضربان قلب بیشینه نظری پسران کودک و نوجوان، یافته های پژوهش حاضر قابل تامل خواهد بود.

میانگین ضربان قلب بیشینه پسران کودک و نوجوان در مطالعه ما برابر با  $202/44 \pm 6/12$  ضربه در دقیقه بود (جدول ۱). همچنین، بین ضربان قلب بیشینه پسران کودک (۲۰۳/۵۳±۶/۱۷) و نوجوان (۲۰۱/۱۱±۶/۱۲) اختلاف اندک و معنادار ( $p < 0.05$ ، میانگین اختلاف) مشاهده شد (شکل ۱، دو ستون سیاه). همچنین، سطوح بلوغ زیستی یعنی زودرس (۲۰۳/۶±۵۵/۲۶)، طبیعی (۲۰۲/۷۶±۶/۱۴) و دیررس (۲۰۱/۶±۹۴/۳۳) تأثیر بارز در ضربان قلب بیشینه آزمودنی ها نداشت

(شکل ۱،  $p=0/258$ ) سه ستون خاکستری). میانگین های HRmax در مطالعه حاضر، همسو با مطالعات قبلی در دیگر کشورها بود. در مطالعه شارگال 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 ۷ تا ۱۷ ساله  $201 \pm 10$  ضربه در دقیقه گزارش گردید (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). مطالعه مروری سایکن و همکاران، ضربان قلب بیشینه پسران و دختران ۵ تا ۱۹ ساله در دامنه ۱۸۵ تا ۲۰۵ ضربه در دقیقه را نشان داد (۲۷). به نظر می رسد، دلیل بروز تنوع در میانگین ضربان قلب بیشینه به دلیل وجود اختلاف در عواملی همچون، جنسیت، دامنه سنی آزمودنی ها، ترکیب بدن، سطوح پایه فعالیت بدنی و آمادگی جسمانی آزمودنی ها، انتخاب نوع آزمون ورزشی فزاینده و سطح انگیزش افراد هنگام انجام آزمون ورزشی باشد (۱۱، ۱۸، ۲۷).

در مطالعه حاضر همسو با افزایش سن آزمودنی ها، شاهد کاهش اندک ضربان قلب بیشینه پسران از سن ۸ تا ۱۷ سالگی بودیم. به طوری که در هر سال تنها  $0/42$  ضربه در دقیقه از ضربان قلب بیشینه آنها کاسته می شد (جدول ۲). این در حالی است که، در دامنه سنی بزرگسالان، ضربان قلب بیشینه به طور متوسط هر سال یک ضربه در دقیقه کاهش می یابد (۴، ۱۰). در واقع یک باور مشترک هست که خطر نشان می کند، ضربان قلب بیشینه کودکان و نوجوانان، مستقل از عامل سن بوده و کاهش HRmax با افزایش سن کودکان چندان آشکار نمی باشد (۲۷).

در پژوهش حاضر، همبستگی ضعیف و معنادار بین ضربان قلب بیشینه و متغیرهای سن، قد و وزن بدن مشاهده شد ( $P < 0/05$ ،  $R = 0/131 - 0/198$ ) (جدول ۳). در این راستا، نتایج مطالعه ما همسو با مطالعات قبلی است که آشکار می سازد حداکثر ضربان قلب در دامنه سنی کودکان و نوجوانان، همبستگی چشمگیری با عوامل وزن، توده بدنی، جنسیت، نژاد، سطح فعالیت بدنی و آمادگی قلبی - تنفسی آنها ندارد (۴، ۱۶، ۲۸، ۲۹). به ویژه، وجود همبستگی ضعیف میان سن و HRmax در طیف سنی کودک و نوجوان در مطالعات قبلی نیز پذیرفته شده است. به طوری که پیشینه های علمی نشان می دهد که ضربان قلب بیشینه کودکان و نوجوانان مستقل از عامل سن است و با افزایش یافتن سن، کاهش ضربان قلب بیشینه در دوره بلوغ به طور معناداری رخ نداده بلکه با عبور بچه ها از سن بلوغ، افت ضربان قلب بیشینه همراه با افزایش سن قابل توجه خواهد داد (۳۰).

از دلایل همبستگی پایین HRmax با عامل سن ( $R = -0/198$ ) در کودکان و نوجوانان تحت مطالعه را می توان به دامنه سنی کوتاه در این طیف نسبت داد. به بیان دیگر، دامنه سنی کودکان و نوجوان بسیار کمتر از دامنه سنی بزرگسالان است. به گونه ای که محدوده سنی کودکان و نوجوانان از ۸ تا ۱۸ سالگی معادل ۱۰ سال بوده اما در بزرگسالان از ۲۰ تا ۹۰ سالگی برابر ۷۰ سال می باشد (۴، ۸، ۲۹). شارگال و همکاران در بررسی بیش از ۲۸۰۰۰ شرکت کننده، نشان دادند که تغییرات حداکثر ضربان قلب افراد در دامنه سنی گسترده ۱۰ تا ۸۰ سال، با کاهش قابل ملاحظه روبروست. در حالی که این روند نزولی HRmax در زیر گروه هایی با دامنه سنی ۱۰ سال از شیب ملایمتر برخوردار است. به بیان دیگر، دوران کودکی یک محدوده سنی کوتاه مدت برای ارزیابی رابطه بین سن و ضربان قلب بیشینه است. در مقابل، در طیف سنی بزرگسالان، با یک دامنه سنی وسیع مواجه هستیم (۸). به نظر می رسد که سطح پایین همبستگی، برآورد HRmax بر مبنای سن را در کودکان و نوجوانان محدود می سازد که در پاراگراف بعد به این نکته می پردازیم. بنابراین، معادلات برآورد حداکثر ضربان قلب بچه ها بسیار محدود بوده و آنها از روایی و قدرت برآورد بالا برخوردار نیستند. تحقیقات دیگر نشان می دهد که اغلب معادلات پیشگوی حداکثر ضربان قلب مبتنی بر سن، در گروه های سنی افراد نابالغ دارای خطای بیش بینی بالا معادل ۱۰ ضربه در دقیقه است (۳۱).

نتایج آمار رگرسیونی خطی نیز نشان داد که HRmax پسران سالم ۸ تا ۱۷ ساله با انتخاب متغیر سن طبق معادله شماره 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 تحت مطالعه را تبیین می کند. خطای استاندارد برآورد (SEE) در این معادله برابر  $6/14$  ضربه در دقیقه

یعنی ۳ 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 به شمار می آید (۳۲). همسو با پژوهش حاضر، مطالعه ماهون و همکاران معادله پیشگو را کودکان و نوجوانان طراحی کردند که در آن HRmax بوسیله متغیرهای سن و ضربان قلب استراحت قابل برآورد بود (ضربه در دقیقه ۸/۵۴،  $SEE = 0/26$ ،  $R^2 = 0/18$ ). در مطالعه ای دیگر، گلبرت و همکاران 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 ۷/۵۴،  $SEE = 0/25$ ،  $R^2 = 0/16$ ). همچنین، نیکولایدیس و همکاران معادله برآورد HRmax ورزشکاران فوتبالیست ۱۲ تا ۱۸ ساله را با استفاده از عامل سن با ضریب تعیین اندک گزارش کردند (ضربه در دقیقه ۷/۶،  $SEE = 0/07$ ،  $R^2 = 0/17$ ). با این حال، معادلات مطالعات قبلی و نیز معادله مطالعه حاضر دارای مولفه های آماری ضعیفی بودند.

همانطور که در پاراگراف بالا نمایان است، شاخص های آماری در معادلات رگرسیونی مطالعه ما و پژوهش های 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 می بایست از این دست معادلات پیشگو با احتیاط استفاده نمود (۲۳). بطور کلی، به نظر می رسد که در مقطع سنی کودک و نوجوان، به دلیل روند روبه رشد و تکامل ارگانیسم، معادلات برآورد حداکثر ضربان قلب نظری جهت تعیین سطح شدت تمرین چندان کارآمد نیستند. علت اندازه پایین ضریب تعیین مطالعه حاضر و مطالعات پیشین را می توان 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 بوده و در این رده سنی، ارتباط ضربان قلب بیشینه با سن چشمگیر نیست (۱۲، ۱۶). باید توجه داشت که یک معادله رگرسیونی توانمند، نیازمند وجود همبستگی بالا میان متغیرهای مستقل (در مطالعه ما سن) و متغیر ملاک (ضربان قلب بیشینه) می باشد. در نتیجه می توان کارایی پایین طراحی چنین معادلات برآورد ضربان قلب بیشینه برای جمعیت کودک و نوجوان را بوسیله شاخص های آماری ضعیف در معادلات پیشگو اشکار نمود.

کاهش اندک ضربان قلب بیشینه به موازات افزایش سن در جمعیت های غیر بالغ، برخی از 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). مطالعه گذشته نگر شارگال و همکاران، میانگین ضربان قلب بیشینه  $7/6 \pm 196/1$  را در جمعیت ۶۵۵۷ نفری دختران و پسران با میانگین سنی  $15/5 \pm 2/4$  گزارش کرد (۸). همچنین، ماچادو و همکاران میانگین ۲۰۰ ضربه در دقیقه را به عنوان شاخص HRmax پسران سالم ۱۰ تا ۱۶ ساله پیشنهاد کردند (۲۶). یک مطالعه گذشته نگر در مقیاس بزرگ توسط گلبرت و همکاران روی ۴۳۳ ورزشکار نوجوان، میانگین  $8/6 \pm 197$  ضربه در دقیقه را گزارش کرد (۱۶). علاوه بر این، نویسندگان این مقاله، به دنبال شناسایی یک روش دقیق برای پیش بینی 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 معنی دار برای ضربان قلب بیشینه معرفی کردند، اگرچه در طراحی معادله رگرسیونی آنها در مجموع کمتر از ۳۰ درصد از واریانس مشاهده شده 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 پیش بینی در مدل های رگرسیون توصیه کردند (۱۶). بنابراین، با ملاحظه شاخص های 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 می دهند. 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 تمرین های ورزشی قابل تامل خواهد بود.

به عنوان جمع بندی این پژوهش، به نظر می رسد 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 طیف سنی نابالیده نمی باشند. با استناد به نتایج مطالعه حاضر، نویسندگان این مقاله، میانگین ۲۰۲ ضربه در دقیقه را به نشانه

برآورد ضربان قلب بی‌شینه نظری پسران سالم ۸ تا ۱۷ سال پیشنهاده می‌دهند. همچنین، ارزیابی نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر جهت اطمینان بیشتر و نیز تعمیم آن به جامعه کودکان و نوجوان بسیار ارزشمند خواهد بود.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان از دانش آموزان شرکت کننده و همکاری انجمن اولیا و مربیان تشکر و قدردانی می‌نمایند.

## 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? 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. Cundrić 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.
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. 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. *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, Dabayeb 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.