

Original Article

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

Reza Komijani[✉], Majid Jalili[✉], Farzad Nazem*[✉]

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

Abstract

Background and Purpose: The maximal heart rate is a physiological index to control the intensity of physical activity in exercise and rehabilitation. Due to the practical problems of measuring maximal heart rate in strenuous exercise tests, this physiological index is estimated by regression equations. Most scientific sources have used the two equations of Fox (age - 220) and Tanaka (208 -0.7 age) to estimate the maximal heart rate. Fox and Tanaka's equations were designed based on the data obtained from the adult population. Therefore, these two equations may not be highly accurate in the child and adolescent population. The purpose of this research is to evaluate the validity of Fox and Tanaka's equations in estimating the maximal heart rate of children and adolescent boys.

Materials and Methods: In the present study, maximal heart rate was measured in 349 healthy boys aged 8 to 18 years in a direct method by using modified Bruce test on a treadmill equipped with a respiratory gas analyzer. Thereafter, the maximal heart rate was estimated using Fox and Tanaka's equations. In order to validate the equations of Fox and Tanaka, the measured and estimated maximal heart rate were compared in all subjects as well as children and adolescent. For this purpose, Pearson's correlation, pair sample t-test, and Bland-Altman's agreements were used.

Results: With increasing the age of the subjects, there was no noticeable change in the maximal heart rate of the boys. So that, a weak negative correlation was observed between age and maximal heart rate ($r = -0.198$, $p < 0.05$). A significant correlation was observed between the maximal heart rate measured by the standard method with Fox ($r = 0.198$) and Tanaka ($r = 0.198$) equations ($P < 0.05$). However, there was a significant difference between the measured maximal heart rate and estimated maximal heart rate by Fox (mean difference = 5.23 ± 6.32 , equivalent to 2.7% of the mean for maximal heart rate) and Tanaka (mean difference = 3.07 ± 6.17 , equivalent to -1.44 percent of mean for measured maximal heart rate). The Fox and Tanaka equations led to overestimation and underestimation of maximal heart rate, respectively. Furthermore, the Bland-Altman diagram indicated a low agreement between the maximal heart rate equations of Fox and Tanaka compared to the standard method. Even by dividing the subjects into two age groups, 8 to 13 years and 14 to 18 years, no changes in the results were found. No significant correlation was observed between maximal heart rate of Fox and Tanaka equations with standard method ($r = 0.028-0.094$) ($p < 0.05$). In addition, a significant ($P < 0.05$) difference was observed between the standard maximal heart rate and the Fox and Tanaka equations (mean difference = - 3.55 to 6.26 beats per minute).

Conclusion: It seems that the Fox and Tanaka heart rate equations do not have sufficient validity in children and adolescent boys. However, in situations where we have to estimate the maximal heart rate, Tanaka's equation has a lower estimation error. According to the results of this research, it will be beneficial to design a native equation for estimating the maximal heart rate of Iranian children and adolescent boys.

Keywords: Exercise intensity control, Maximal heart rate, Maximal heart rate equations, Children and adolescents.

How to cite this article: Komijani R, Jalili M, Nazem F. Cross-validation of Fox and Tanaka equations in predicting maximal heart rate in Iranian Children and Adolescent boys: Evaluation by the respiratory gas analyzer method in the exhaustive exercise test. *J Sport Exerc Physiol*. 2024;16(4):20-30.

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

<https://doi.org/10.48308/joeppa.2023.232504.1181>

Received: 26/07/2023

Revised: 29/09/2023

Accepted: 06/11/2023



Copyright: © 2023 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/>).

اعتبارسنجی معادلات فاکس و تاناکا در برآورد ضربان قلب بیشینه کودکان و نوجوانان ایرانی: ارزیابی به روش تحلیل گازهای تنفسی در آزمون ورزشی وامانده‌ساز

رضا کمیجانی^۱، مجید جلیلی^۲، فرزاد ناظم^{۳*}

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

چکیده

زمینه و هدف: ضربان قلب بیشینه یک شاخص فیزیولوژیکی به منظور کنترل شدت فعالیت بدنی در حوزه ورزش و توانبخشی ورزشی به شمار می‌رود. به دلیل مشکلات اجرایی اندازه‌گیری ضربان قلب بیشینه در آزمون‌های ورزشی فزاینده، این شاخص فیزیولوژیکی به وسیله معادلات رگرسیونی برآورد می‌شود. اغلب منابع علمی از دو معادله فاکس (سن - ۲۲۰) و تاناکا (سن ۰/۷ - ۲۰۸) به منظور برآورد ضربان قلب بیشینه استفاده کرده‌اند که بر پایه داده‌های حاصل از جمعیت بزرگسال طراحی شده‌اند. بنابراین ممکن است این دو معادله در جمعیت کودک و نوجوان از دقت زیادی برخوردار نباشد. هدف این پژوهش اعتبارسنجی معادلات فاکس و تاناکا در برآورد ضربان قلب بیشینه پسران کودک و نوجوان است.

مواد و روش‌ها: در پژوهش حاضر ضربان قلب بیشینه در آزمون درمانده‌ساز بروس تعدیل شده بر روی نوارگردان مجهز به دستگاه تحلیل گازهای تنفسی به روش مستقیم در ۳۴۹ پسر ۸ تا ۱۸ ساله سالم اندازه‌گیری شد. در ادامه ضربان قلب بیشینه با استفاده از معادلات فاکس و تاناکا برآورد شد. به منظور اعتبارسنجی معادلات فاکس و تاناکا در مجموع آزمودنی و نیز آزمودنی‌های کودک و نوجوان، ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده و برآورد شده با همدیگر مقایسه شدند. برای این کار از همبستگی پیرسون، تی همبسته و توافق بلاند آلتمن استفاده شد.

نتایج: با افزایش سن آزمودنی‌ها تغییر چشمگیری در ضربان قلب بیشینه پسران رخ نداد، به طوری که همبستگی منفی ضعیفی بین سن و ضربان قلب بیشینه دیده شد ($P = 0/198$, $P < 0/05$). همبستگی معناداری بین ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده در روش معیار با معادلات فاکس ($R = 0/198$) و تاناکا ($R = 0/198$) دیده شد ($P < 0/05$). با این همه، تفاوت معناداری بین ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده با ضربان قلب بیشینه برآورد شده فاکس ($5/23 \pm 6/32 =$ میانگین اختلاف، معادل $2/7$ درصد میانگین ضربان قلب بیشینه) و تاناکا ($3/07 \pm 6/17 =$ میانگین اختلاف، معادل $1/44 -$ درصد میانگین ضربان قلب بیشینه) دیده شد ($P < 0/05$). به طوری که معادلات فاکس و تاناکا به ترتیب به بیش تخمینی و کم تخمینی ضربان قلب بیشینه انجامید. همچنین نمودار بلاند-آلتمن حاکی از توافق پایین معادله‌های ضربان قلب بیشینه فاکس و تاناکا در مقایسه با روش معیار بود. در ادامه، با تقسیم آزمودنی‌ها به دو رده سنی ۸ تا ۱۳ سال و ۱۴ تا ۱۸ سال تغییری در نتایج ایجاد نشد، به طوری که همبستگی معناداری بین ضربان قلب بیشینه معادلات فاکس و تاناکا با روش معیار مشاهده نشد ($R = 0/28$ ، $0/94$) ($P > 0/05$). همچنین اختلاف معناداری بین ضربان قلب بیشینه معیار و معادلات فاکس و تاناکا دیده شد (ضربه در دقیقه $3/55 - 6/26 =$ میانگین اختلاف) ($P < 0/05$).

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد که در پسران کودک و نوجوان معادلات ضربان قلب فاکس و تاناکا از اعتبار کافی برخوردار نیستند. با این همه، در شرایطی که مجبور به برآورد ضربان قلب بیشینه هستیم، معادله تاناکا از خطای برآورد کمتری برخوردار است. با توجه به نتایج این پژوهش، طراحی معادله بومی به منظور برآورد ضربان قلب بیشینه پسران کودک و نوجوان ایرانی سودمند خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: ضربان قلب بیشینه، کنترل شدت تمرین، کودکان و نوجوانان، معادلات ضربان قلب بیشینه

نحوه استناد به این مقاله: کمیجانی، ر.، جلیلی، م.، ناظم، ف. اعتبارسنجی معادلات فاکس و تاناکا در برآورد ضربان قلب بیشینه کودکان و نوجوانان ایرانی: ارزیابی به روش تحلیل گازهای تنفسی در آزمون ورزشی وامانده‌ساز. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۲؛ ۱۶(۴): ۲۰-۳۰.

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

مقدمه

کنترل شدت تمرین و فشار کار از اصول مهم در برنامه‌ریزی تمرین‌های ورزشی و توانبخشی ورزشی به‌شمار می‌رود. فراگیرترین روش کنترل شدت تمرین که در میادین ورزشی و توانبخشی به‌کار می‌رود، استفاده از شاخص ضربان قلب بیشینه (HR_{max}) است. ضربان قلب بیشینه به‌عنوان بالاترین ضربان قلب تجربه‌شده در آزمون ورزشی درجه‌بندی‌شده فزاینده (GXT) تعریف می‌شود، به طوری که با وجود افزایش شدت آزمون ورزشی، افزایشی در ضربان قلب رخ نمی‌دهد و در اصطلاح ضربان قلب به حالت کفه می‌رسد. به‌منظور کنترل فشار تمرین به‌وسیله شاخص ضربان قلب بیشینه، ابتدا باید ضربان قلب بیشینه هر فرد اندازه‌گیری یا برآورد شده و در ادامه از آن به‌عنوان ملاک محاسبات شدت تمرین یا فشار کار استفاده شود. با در اختیار داشتن ضربان قلب بیشینه، مربی قادر خواهد بود تا بر پایه اهداف برنامه‌تمرینی و با در نظر گرفتن سطح آمادگی ورزشکار یا بیمار، شدت تمرین را در ورزشکاران یا بیماران کنترل کند (۱).

روش استاندارد اندازه‌گیری ضربان قلب بیشینه، اجرای آزمون ورزشی فزاینده روی نوارگردان به‌همراه سنجش گازهای تنفسی است (۱، ۲). با وجود اختصاصی بودن و حساسیت بالای این آزمون‌ها در اندازه‌گیری ضربان قلب بیشینه، استفاده از این روش استاندارد آزمایشگاهی به‌دلیل نیاز به امکانات پیشرفته، هزینه بالا، صرف زمان زیاد، نیاز به تکنیسین‌های ماهر و احتمال حملات قلبی-تنفسی، چندان مقدر و ایمن نیست (۱). همچنین اجرای این آزمون‌های فزاینده نیازمند تلاش حداکثری فرد برای دستیابی به اکسیژن مصرفی بیشینه (VO_{2max}) است که شاید در افراد مبتلا به مشکلات قلبی-عروقی و تنفسی با درجه متوسط تا شدید خطرآفرین باشد (۳). بنابراین پژوهشگران علوم قلب و عروق و ورزش سال‌هاست که از معادلات رگرسیونی برای برآورد ضربان قلب بیشینه استفاده می‌کنند.

در منابع علمی مرتبط با علوم ورزشی و سلامت از دو معادله رگرسیونی فاکس (سن - ۲۲۰ = ضربان قلب بیشینه) (۴) و تاناکا (سن ۰/۷ - ۲۰۸ = ضربان قلب بیشینه) (۲) به‌وفور به‌منظور برآورد ضربان قلب بیشینه استفاده می‌شود. اغلب پژوهش‌ها از دقت بیشتر معادله تاناکا (با خطای کمتر) در مقایسه با معادله فاکس حکایت دارند (۵-۷). این معادلات برآوردی بر پایه وجود همبستگی منفی و بالا (۰/۹۰ - > R) بین ضربان قلب بیشینه و سن در جمعیت جوان تا سالمند طراحی شده‌اند (۲). به بیان دیگر افزایش سن اثر کاهنده بر ضربان قلب بیشینه از دوره جوانی به بعد دارد. با این همه، واضح است که معادلات برآورد ضربان قلب بیشینه فاکس و تاناکا از داده‌های حاصل

از جمعیت‌های بزرگسال (۲۰ تا ۹۰ سال) طراحی شده‌اند که ممکن است در جمعیت‌های کودک یا نوجوان برآورد صحیحی از ضربان قلب بیشینه ارائه ندهند.

برای این چالش می‌توان سازوکارهای فیزیولوژیکی را بیان کرد؛ اول اینکه کاهش ضربان قلب بیشینه وابسته به سن شاید در کودکان کاملاً آشکار نباشد، یا شاید تأثیر خود را پس از بلوغ نشان دهد. به بیان دیگر افراد پیش از بلوغ شاید در حین ورزش، تعدیل سمپاتیک ضعیفی داشته باشند. یکی از دلایل این مسئله ممکن است تفاوت در تنظیم سمپاتوآدرنال باشد، زیرا بر اساس برخی شواهد پاسخ کاتکول‌آمین به ورزش بیشینه شاید در کودکان در مقایسه با بزرگسالان کاهش یابد (۸).

همچنین دوران کودکی نشان‌دهنده محدوده سنی کوتاه برای ارزیابی رابطه بین سن و ضربان قلب بیشینه در مقایسه با محدوده سنی گسترده شرکت‌کنندگان بزرگسال است. به بیان دیگر، محدوده سنی کوتاه در کودکان (به‌طور معمول محدوده ده سال) می‌تواند توانایی الگوسازی رگرسیون را برای توضیح مناسب تغییرات در ضربان قلب بیشینه محدود کند، زیرا در این دامنه محدود سنی تنوع ضربان قلب بیشینه بسیار بیشتر از تغییر سن در گروه کودکان است. مطالعه گذشته‌نگر شارگال و همکاران روی بیش از ۲۸ هزار آزمودنی ۱۰ تا ۸۰ سال نشان داد که ضربان قلب بیشینه با نرخ تقریبی ۰/۷۴ ضربه در دقیقه در سال برای نمونه کلی مطالعه کاهش می‌یابد. اما هنگام بررسی شرکت‌کنندگان جوان‌تر در محدوده سنی کمتر (۱۰ تا ۲۰ سال) به ۰/۵۲ ضربه در دقیقه کاهش می‌یابد (۹). این پدیده به نوبه خود ممکن است پیش‌بینی مربوط به سن را در کودکان محدود کند. همچنین کاهش ضربان قلب بیشینه به موازات افزایش سن در بزرگسالان احتمالاً به‌دلیل کاهش حساسیت قلب به تحریک بتآدرنرژیک، کاهش شار کلسیم و تغییر در بافت گره سینوسی-دهلیزی رخ می‌دهد. بنابراین بیشتر معادلات پیش‌بینی ضربان قلب بیشینه در بزرگسالان بر پایه سن آزمودنی است (۱۰). با این همه، به نظر این تغییرات فیزیولوژیکی در محدوده سنی غیربالغ رخ نمی‌دهد. اگر این ملاحظات اخیر لحاظ شوند، فقدان اثر سن در ضربان قلب بیشینه کودکان و نوجوانان ممکن است محدودیت آماری باشد تا تفاوت فیزیولوژیکی. با این همه، ضروری است که دقت این دو معادله در جمعیت کودک و نوجوان ارزیابی شود.

چندین تحقیق به ارزیابی اعتبار و کارایی معادلات فاکس و تاناکا پرداختند که به نتایج متنوع و بعضاً ضد و نقیضی منجر شد. نتایج تحقیق ماهون و همکاران نشان داد که معادلات تاناکا و فاکس به‌ترتیب به کم‌تخمینی و بیش‌تخمینی ضربان قلب بیشینه در کودکان و نوجوانان منجر می‌شوند. با این همه، معادله

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: در این تحقیق کاربردی ۳۴۹ دانش‌آموز پسر سالم ۸ تا ۱۸ ساله شهر همدان به‌طور داوطلبانه شرکت کردند. در ابتدا پرسشنامه سلامتی و رضایت‌نامه کتبی مبتنی بر سلامت کامل دانش‌آموزان، به والدین دانش‌آموزان شرکت‌کننده ارائه و از آنها درخواست شد آن را تکمیل، امضا و اثر انگشت کنند. بدین‌وسیله دانش‌آموزان مبتلا به مشکلات قلبی-تنفسی، عصبی-عضلانی، ساختاری و سوخت‌وساز از تحقیق خارج شدند. فرایند پژوهش توسط کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی همدان تأیید شد (کد کمیته اخلاق: IR.BASU.REC.1398.006).

روش اجرای پژوهش: متغیرهای سن (۱/۰ سال)، قد (سانتی‌متر)، وزن (کیلوگرم) و شاخص توده بدن (BMI_{kg/m^2}) به روش استاندارد اندازه‌گیری و محاسبه شدند (۱). ضربان قلب استراحت آزمودنی‌ها به‌وسیله ضربان‌سنج سینه‌ای (نوع Polar Heart Rate Transmitter Model T34 Germany) پس از استراحت حداقل ده دقیقه‌ای روی صندلی اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری VO_{2max} و ضربان قلب بیشینه به روش معیار، از آزمون ورزشی بروس تعدیل‌شده استفاده شد (۱) (جدول ۱). آزمون بروس تعدیل‌شده روی نوار گردان (نوع h/p/cosmos Saturn300/125 Germany) مجهز به دستگاه سنجش و تحلیل گازهای تنفسی (نوع PowerCube, GanshornMedizin Electronic GmbH, Germany) انجام گرفت. در طول اجرای آزمون ضربان قلب آزمودنی‌ها به‌طور پیوسته به‌وسیله ضربان‌سنج (نوع Polar Heart Rate Transmitter Model T34 Germany) که روی قفسه سینه آزمودنی‌ها بسته شده بود، در نمایشگر دستگاه به‌منظور پایش شدت فعالیت آزمودنی‌ها قابل مشاهده بود و ثبت می‌شد. گازهای تنفسی حین اجرای آزمون ورزشی بروس تعدیل‌شده به‌وسیله ماسک لاستیکی (HansRudolph, Kansas City, MS, USA) متناسب با اندازه سر و صورت آزمودنی‌ها، جمع‌آوری و به‌وسیله دستگاه گازآنالایزر تجزیه و تحلیل شد. زمان پایان آزمون 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 درصد ضربان قلب بیشینه نظری مطابق رابطه تاناکا (۲)؛ 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 (۱۷). به‌منظور تعیین VO_{2max} ، بیشترین مقدار اکسیژن مصرفی ۲۰ ثانیه انتهایی آزمون فزاینده ورزشی لحاظ شد. همچنین بیشترین ضربان قلب تجربه‌شده در آزمون فزاینده به‌عنوان ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده لحاظ شد. از آزمودنی‌ها خواسته شده بود که پیش از اجرای آزمون آزمایشگاهی،

تاناکا برای برآورد ضربان قلب بیشینه مناسب‌تر بود (۱۱). نتایج پژوهش ماچادو و همکاران روی پسران ۱۰ تا ۱۶ سال نشان داد که معادله تاناکا در مقایسه با فاکس از دقت برآورد بهتری برخوردار است (۱۲). نتایج پژوهش گلبرت و همکاران روی ورزشکاران ۹ تا ۱۸ ساله نشان داد معادلات فاکس و تاناکا در این جمعیت از اعتبار لازم برخوردار نیستند (۱۳). نتایج تحقیق سایکون و همکاران حاکی از خطای کمتر معادله فاکس در مقایسه با معادله تاناکا در برآورد ضربان قلب بیشینه پسران فوتبالیست بود (۱۴). همچنین نتایج تحقیق صورت‌گرفته روی دختران و پسران برزیلی نشان داد که معادله فاکس به بیش تخمینی ضربان قلب بیشینه منجر می‌شود (۱۵). پژوهش صورت‌گرفته روی والیبالیست‌های دختر نوجوان نشان داد که معادلات تاناکا و فاکس به ترتیب به کم تخمینی و بیش تخمینی ضربان قلب بیشینه منجر می‌شود. با این همه، اختلاف برآورد معادله تاناکا معنادار نبود (۶). تحقیق مروری روی کودکان و نوجوانان نشان می‌دهد که سن به‌تنهایی تعیین‌کننده ضربان قلب بیشینه در این جمعیت نیست. نویسندگان این مقاله مروری بیان می‌کنند که معادلات تاناکا و فاکس به ترتیب به کم تخمینی و بیش تخمینی ضربان قلب بیشینه در کودکان و نوجوانان منجر می‌شوند. به‌طوری‌که میانگین اختلاف برآورد معادلات تاناکا و فاکس در برآورد ضربان قلب بیشینه کودکان و نوجوانان به ترتیب ۲/۰۹ و ۱۲/۹۳ ضربه در دقیقه است، با این همه، معادله تاناکا میانگین خطای برآورد کمتری را در بردارد (۱۶).

گمان می‌رود که متغیرهای جمعیتی مانند نژاد، فرهنگ جغرافیای زندگی، سطح فعالیت بدنی و ترکیب بدن روی ضربان قلب بیشینه تأثیرگذار باشند (۱۰). در نتیجه استفاده از معادلات فاکس و تاناکا ممکن است به برآورد نادرست ضربان قلب بیشینه در جمعیت‌های دیگر منجر شود. این مسئله می‌تواند به تجویز شدت تمرین ورزشی یا توانبخشی در دامنه بالاتر یا کمتر از مقدار صحیح بینجامد. بنابراین با توجه به تنوع گزارش‌های علمی در خصوص اعتبار معادلات فاکس و تاناکا در برآورد ضربان قلب بیشینه کودکان و نوجوانان، قصد داریم اعتبار و صحت این دو معادله را (به دلیل استفاده فراگیر در جامعه) در جمعیت پسران کودک و نوجوان ایرانی به روش استاندارد آزمایشگاهی ارزیابی کنیم. با بررسی‌های صورت‌گرفته در منابع داخلی، روایی معادلات فاکس و تاناکا در جمعیت کودک و نوجوان سالم ایرانی ارزیابی نشده است. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر ارزیابی روایی معادلات فاکس و تاناکا در برآورد ضربان بیشینه پسران سالم کودک و نوجوان است.

= اختلاف ضربان قلب) محاسبه شد. بنابراین مقادیر منفی به منزله کم تخمینی و مقادیر مثبت به منزله بیش تخمینی معادلات برآورد ضربان قلب بیشینه در نظر گرفته شد. در این رابطه مقادیر خطای مطلق (

$$\text{Constant Error} = \sum (\text{predicted} - \text{measured}) / n$$

$$\text{Constant Error} = \sum (\text{predicted} - \text{measured}) / n$$

(و خطای کل

$$\text{Total Error} = \sqrt{\sum (\text{predicted} - \text{measured})^2 / n}$$

$$\text{Total Error} = \sqrt{\sum (\text{predicted} - \text{measured})^2 / n}$$

(معادلات برآورد ضربان قلب بیشینه در آزمودنی‌ها محاسبه شد. خطای مطلق از رابطه مجموع تفاضل ضربان قلب بیشینه برآورد شده و اندازه‌گیری شده تقسیم بر نمونه آماری به دست می‌آید. همچنین خطای کل از رابطه قدر مطلق مجموع تفاضل ضربان قلب بیشینه برآورد شده و اندازه‌گیری شده تقسیم بر نمونه آماری به دست می‌آید. بنابراین در خطای مطلق نتیجه منفی یا مثبت خواهد بود. با این همه، در خطای مطلق نتیجه تنها یک عدد مثبت به دست می‌آید. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۴ در سطح $P < 0/05$ انجام گرفت.

از انجام هرگونه فعالیت بدنی نسبتاً شدید در ظرف ۴۸ ساعت پرهیز کنند. همچنین به آزمودنی‌ها گفته شده بود که وعده غذایی خود را سه ساعت پیش از آزمون میل کنند و سپس از خوردن مواد غذایی به جز آب پرهیزند. تنظیم‌های وابسته به شرایط محیطی، حجم‌ها و نسبت گازهای کپسول اکسیژن مطابق دستورالعمل شرکت سازنده گاز آنالایزر به‌طور روزانه پیش و پس از استفاده از دستگاه صورت می‌گرفت. اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی در دمای ۱۹ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۳۹ تا ۴۳ درصد و ارتفاع ۱۸۶۰ متر از سطح دریا در آزمایشگاه فیزیولوژی ورزشی دانشگاه بوعلی سینا انجام گرفت.

تحلیل آماری: برای بررسی توزیع طبیعی داده‌ها از آزمون کولموگوروف اسمیرنوف (K-S) استفاده شد. به منظور اعتبارسنجی معادلات فاکس و تاناکا ضربان قلب بیشینه برآورد شده با روش معیار اندازه‌گیری شده مقایسه شد. بدین منظور از همبستگی پیرسون، آزمون تی همبسته و توافق بلاند-آلتمن به منظور مقایسه دو روش استفاده شد. اختلاف بین ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده و برآورد شده از رابطه (ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده - ضربان قلب بیشینه برآورد شده

جدول ۱. مشخصات آزمودنی‌های و متغیرهای اندازه‌گیری شده در پژوهش (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
شاخص توده بدن (کیلوگرم/متر مربع)	۱۹/۴ \pm ۵۴/۲۳	۱۲/۴۴	۲۵/۲۷
ضربان قلب استراحت (ضربه/دقیقه)	۸۲/۹ \pm ۶۹/۶۶	۵۸	۱۰۸
اکسیژن مصرفی بیشینه (میلی لیتر/وزن بدن/دقیقه)	۴۱/۶ \pm ۲۴/۰۲	۲۲/۱۰	۵۵/۸۰
نسبت تبادل تنفسی	۱/۰ \pm ۲۱/۰۸	۱/۰۱	۱/۵۰
ضربان قلب بیشینه (ضربه/دقیقه)	۲۰۲/۶ \pm ۴۴/۱۲	۱۹۰	۲۲۲

قلب بیشینه اندازه‌گیری شده روش معیار با معادلات فاکس ($R=0/198$) و تاناکا ($R=0/198$) وجود دارد ($P < 0/05$). با این همه، تفاوت معناداری بین ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده با ضربان قلب بیشینه برآورد شده فاکس ($5/23 \pm 6/32$) میانگین اختلاف، معادل ۲/۷ درصد میانگین ضربان قلب بیشینه و تاناکا ($3/6 \pm 07/17$) = میانگین اختلاف، معادل ۱/۴۴ درصد میانگین ضربان قلب بیشینه دیده شد ($P < 0/05$). به طوری که معادلات فاکس و تاناکا به ترتیب به بیش تخمینی و کم تخمینی ضربان قلب بیشینه منجر شد. همچنین خطای کل معادله فاکس و تاناکا به ترتیب

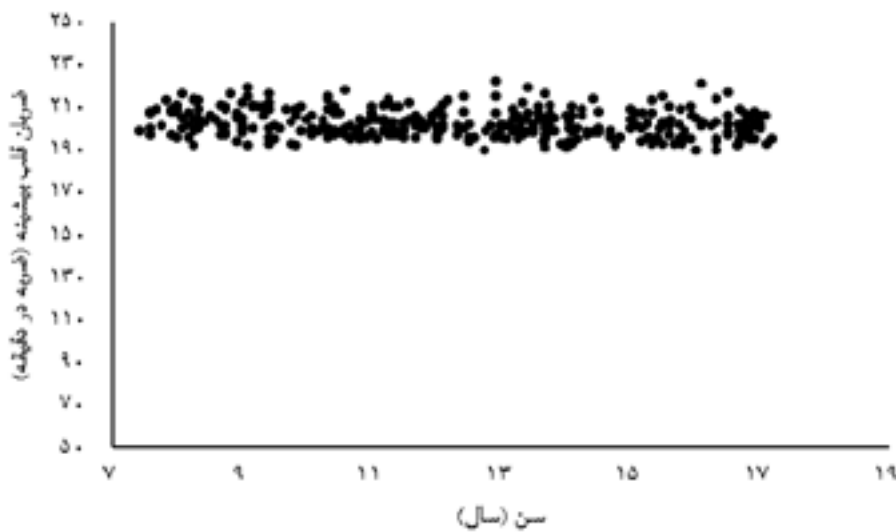
نتایج

مشخصات آزمودنی‌ها در جدول ۱ مشاهده می‌شود. میانگین ضربان قلب بیشینه در رده‌های سنی ۸ تا ۱۷ سال در جدول ۲ مشاهده می‌شود. همچنین تغییرات ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده پسران کودک و نوجوان در تحقیق در نمودار ۱ مشاهده می‌شود. همان‌طور که مشخص است با افزایش سن آزمودنی‌ها تغییر چندانی در ضربان قلب بیشینه پسران رخ نداده است. با این همه، همبستگی منفی معناداری بین سن و ضربان قلب بیشینه دیده شد ($R = -0/198$). نتایج نشان داد که همبستگی معناداری بین ضربان

روش معیار وجود دارد (شکل های ۱ و ۲).

در ادامه، با تقسیم آزمودنی‌ها به دو رده سنی ۸ تا ۱۳ سال و ۱۴ تا ۱۸ سال تغییری در نتایج ایجاد نشد. به طوری که همبستگی معناداری بین ضربان قلب بیشینه معادلات فاکس و تاناکا با روش معیار مشاهده نشد ($R = 0.028 - 0.094$) ($P > 0.05$). همچنین اختلاف معناداری بین ضربان قلب بیشینه معیار و معادلات فاکس و تاناکا دیده شد (ضربه در دقیقه $6/26 - 3/55$ - میانگین اختلاف) ($P < 0.05$) (جدول ۳).

برابر با $6/90 \pm 4/48$ و $5/31 \pm 4/40$ ضربه در دقیقه بود (جدول ۲). در نمودار گرافیکی بلاند-آلتمن، میانگین ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده و برآورد شد (محور افقی) در برابر اختلاف ضربان قلب بیشینه برآورد شده و اندازه‌گیری شده (محور عمودی) ارائه شده است. میانگین اختلاف‌ها (Mean) و فاصله اطمینان ۹۵ درصد ($Mean \pm 2SD$) به ترتیب به وسیله خطوط نقطه چین و خط چین در شکل های ۱ و ۲ مشخص شده است. طبق این نمودار بلاند-آلتمن تفاوت چشمگیری در پراکندگی اختلاف برآورد در معادلات فاکس و تاناکا در مقایسه با



شکل ۱. تغییرات ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده پسران کودک و نوجوان به موازات افزایش سن

جدول ۲. مقایسه ضربان قلب معادلات فاکس و تاناکا با روش معیار (۳۴۹ نفر)

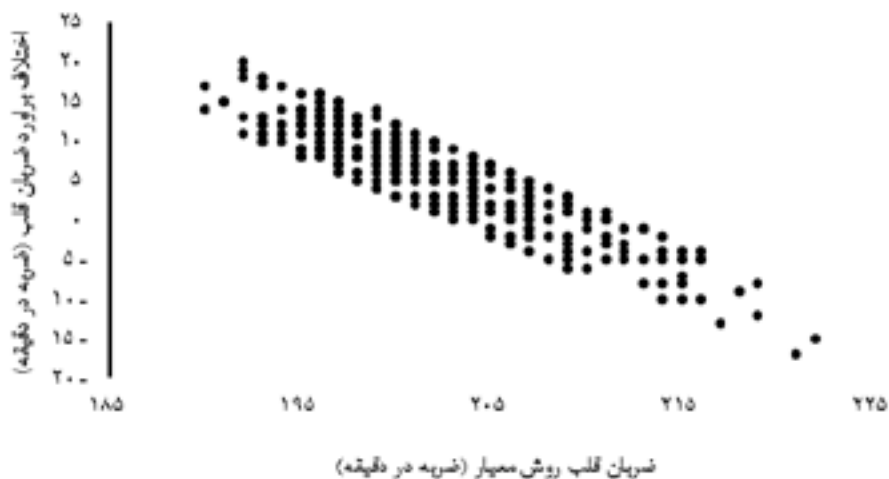
ضربان قلب بیشینه (ضربه در دقیقه)	اندازه‌گیری شده	فاکس	تاناکا
میانگین	۲۰۲/۶ ± ۴۴/۱۲	۲۰۷/۲ ± ۶۷/۷۵	۱۹۹/۱ ± ۳۷/۹۲
کرانه پایین-بالا (ضربه در دقیقه)	۱۹۰-۲۲۲	۲۰۳ - ۲۱۳	۱۹۶ - ۲۰۳
اختلاف برآورد ^۴ (ضربه در دقیقه)	-	۵/۶ ± ۲۳/۳۲*	-۳/۶ ± ۰۷/۱۷*
درصد اختلاف برآورد ^۴ (ضربه در دقیقه)	-	۲/۳ ± ۷۰/۱۵	-۱/۲ ± ۴۴/۹۷
خطای کل (ضربه در دقیقه)	-	۶/۴ ± ۹۰/۴۸	۵/۴ ± ۳۱/۴۰
همبستگی	-	۰/۱۹۸**	۰/۱۹۸**

^۴ اختلاف برآورد یا خطای مطلق (ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده - ضربان قلب بیشینه برآورد شده) = اختلاف برآورد ضربان قلب بیشینه، * $P < 0.05$: تفاوت معنادار بین ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده و برآورد شده، ** $P < 0.05$: همبستگی معنادار بین ضربان قلب بیشینه برآورد شده و اندازه‌گیری شده.

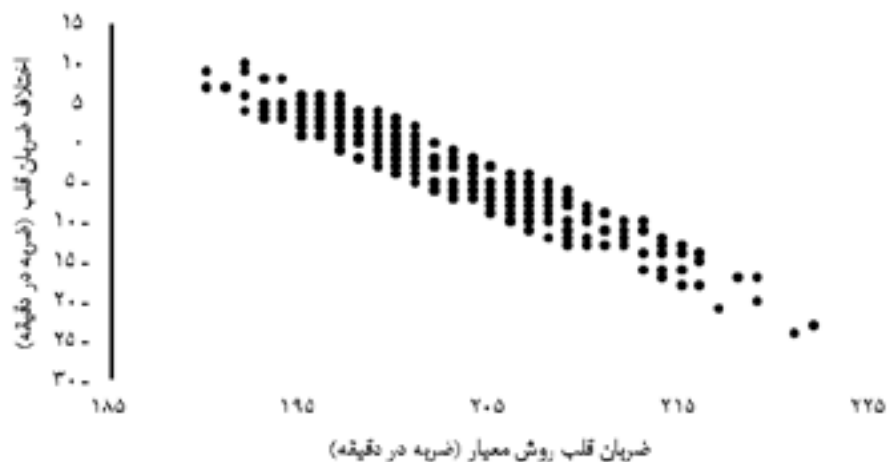
جدول ۳. مقایسه ضربان قلب بیشینه معادلات فاکس و تاناکا با روش معیار در دو رده سنی کودک (۱۹۲ نفر) و نوجوان (۱۵۷ نفر)

رده سنی (سال)	ضربان قلب بیشینه (ضربه در دقیقه)	اندازه‌گیری شده	فاکس	تاناکا
۸ تا ۱۳	میانگین	۲۰۳/۶±۵۳/۱۷	۲۰۹/۱±۷۹/۴۹	۲۰۰/۱±۸۵/۰۴
	همبستگی	-	۰/۰۹۴	۰/۰۹۴
	اختلاف برآورد ^۴ (ضربه در دقیقه)	-	۶/۶±۲۶/۲۱°	-۲/۶±۶۸/۱۶°
۱۴ تا ۱۸	میانگین	۲۰۱/۶±۱۱/۱۲	۲۰۵/۱±۰۸/۳۵	۱۹۷/۰±۵۵/۹۵
	همبستگی	-	۰/۲۸۰	۰/۰۲۸
	اختلاف برآورد ^۴ (ضربه در دقیقه)	-	۳/۶±۹۷/۲۳°	-۳/۶±۵۵/۱۶°

^۴ اختلاف برآورد (ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده - ضربان قلب بیشینه برآورد شده = اختلاف برآورد ضربان قلب بیشینه)، °/۰۵ p: اختلاف معنادار بین ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده و برآورد شده.



شکل ۲. نمودار توافق بلاند-آلتمن معادله فاکس: میانگین ضربان قلب بیشینه برآورد شده با معادله فاکس و روش معیار (محور افقی) در برابر اختلاف ضربان قلب بیشینه برآورد شده و اندازه‌گیری شده (محور عمودی). میانگین اختلاف‌ها و فاصله اطمینان ۹۵ درصد به ترتیب با خطوط نقطه چین (...) و خط چین (---) مشخص شده است.



شکل ۳. نمودار توافق بلاند-آلتمن معادله تاناکا: میانگین ضربان قلب بیشینه برآورد شده با معادله فاکس و روش معیار (محور افقی) در برابر اختلاف ضربان قلب بیشینه برآورد شده و اندازه‌گیری شده (محور عمودی). میانگین اختلاف‌ها و فاصله اطمینان ۹۵ درصد به ترتیب با خطوط نقطه چین (...) و خط چین (---) مشخص شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، همبستگی ضعیفی بین ضربان قلب بیشینه برآورد شده به وسیله معادلات فاکس و تاناکا با ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده در روش معیار دیده شد ($R=0/198$). با این همه، تفاوت معناداری بین ضربان های قلب برآوردی به وسیله معادلات فاکس و تاناکا با روش معیار دیده شد ($P<0/05$)، ضربه در دقیقه $5/23 - 3/07 =$ میانگین اختلاف). به طوری که، معادله فاکس به بیش تخمینی معنادار و معادله تاناکا به کم تخمینی معنادار ضربان قلب بیشینه در پسران کودک و نوجوان منجر شد ($P<0/05$).

ارزیابی معتبر آمادگی قلبی-تنفسی از اهمیت زیادی در حیطه‌های ورزش، تندرستی و بهداشت برخوردار است (۱۸، ۱۹). وجود همبستگی مثبت و بالا بین ضربان قلب و اکسیژن مصرفی بدن، این امکان را فراهم کرده است تا مربیان و پژوهشگران علوم ورزشی و توانبخشی از ضربان قلب به عنوان شاخص فشار فیزیولوژیکی در ورزش استفاده کنند. به طوری که ضربان قلب بیشینه به عنوان حد بالایی عملکرد قلبی-عروقی لحاظ می‌شود. اغلب از شاخص ضربان قلب بیشینه به دلیل ماهیت غیرتهاجمی بودن آن، به منظور تجویز و نظارت بر شدت تمرین در محیط‌های ورزشی، توانبخشی استفاده می‌شود (۱۶). با این همه، با توجه به اینکه همیشه اندازه‌گیری استاندارد ضربان قلب بیشینه امکان پذیر نیست، اغلب از معادلات رگرسیونی مبتنی بر سن به منظور برآورد ضربان قلب بیشینه استفاده می‌شود. این دست معادلات بر پایه ارتباط معکوس بین سن و ضربان قلب بیشینه در بزرگسالان طراحی شده‌اند (۲، ۴).

با توجه به اهمیت کنترل شدت ورزش و فعالیت بدنی در برنامه‌های ورزشی در سنین پایه و نیز در درس تربیت بدنی مدارس، در اختیار داشتن شاخص شدت ورزش، ابزار بسیار ارزشمندی برای مربیان ورزش و معلم‌های تربیت بدنی است. با بررسی‌های صورت گرفته در منابع داخلی، پژوهشی به منظور ارزیابی روایی معادلات فاکس و تاناکا جهت برآورد ضربان قلب بیشینه در کودکان و نوجوان ایرانی صورت نگرفته است. از سوی دیگر، طبق توصیه متخصصان علوم آمار پیش از استفاده از معادلات برآورد ضربان قلب بیشینه باید روایی آنها در جامعه مورد بررسی ارزیابی شود. این اقدام به این علت است که معادلات فاکس و تاناکا ممکن است به بیش تخمینی یا کم تخمینی ضربان قلب بیشینه منجر شوند.

در پژوهش حاضر میانگین ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده آزمودنی‌ها در آزمون ورزشی فزاینده $22/44 \pm 6/12$ ضربه در دقیقه بود (جدول ۱). ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده پسران در بررسی حاضر در دامنه به دست آمده در تحقیقات قلبی در کشورهای

متفاوت بود. به طوری که 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 (۹). میانگین ضربان قلب بیشینه کودکان و نوجوانان ۷ تا ۱۷ ساله دختر و پسر در پژوهش ماهون و همکاران 201 ± 10 ضربه در دقیقه گزارش شد (۱۱). ماجادو و همکاران، میانگین ضربان قلب بیشینه $200/2 \pm 8$ ضربه در دقیقه را در پسران سالم ۱۰ تا ۱۶ ساله گزارش کردند (۲۰). همچنین نتایج تحقیق مروری سایکن و همکاران نشان داد که ضربان قلب بیشینه پسران و دختران ۵ تا ۱۹ ساله در دامنه ۱۸۵ تا ۲۰۵ ضربه در دقیقه است. آنها خاطر نشان کردند که دلیل بروز اختلاف در ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده به دلیل وجود اختلاف در عواملی از جمله سن، سطح فعالیت بدنی، سطح آمادگی بدنی، نوع آزمون ورزشی فزاینده مورد استفاده در پژوهش و میزان انگیزه آزمونی‌ها هنگام انجام آزمون ورزشی است (۱۶). همچنین تفاوت‌های فردی در ضربان قلب بیشینه ممکن است به عواملی به غیر از سن از جمله جنسیت، سطح بلوغ (زودرس، طبیعی و دیررس)، ضربان قلب استراحت، ترکیب بدن و سطح آمادگی قلبی-تنفسی مرتبط باشد (۵، ۱۱، ۲۱). همچنین برخی پژوهشگران بیان کرده‌اند که نوع آزمون ورزشی بیشینه ممکن است بر توانایی آزمونی‌ها برای دستیابی به حداکثر تلاش واقعی جهت احراز ضربان قلب بیشینه تأثیر بگذارد (۲۱). در پژوهش حاضر تغییرات ضربان قلب بیشینه به موازات افزایش سن در آزمودنی‌ها چندان چشمگیر نبود، به طوری که همبستگی ضعیف و معناداری بین سن و ضربان قلب بیشینه دیده شد ($P<0/05$ ، $R=0/198$) (شکل ۱). وجود همبستگی ضعیف بین سن و ضربان قلب بیشینه در دامنه سنی کودک و نوجوان در تحقیقات قلبی نیز پذیرفته شده است (۲۲). به طوری که پژوهش‌ها بیان می‌کنند که ضربان قلب بیشینه در کودکان و نوجوانان مستقل از سن است (۲۲-۲۴) و با افزایش سن در دوره کودکی و نوجوانی، کاهش ضربان قلب بیشینه به طور معناداری رخ نمی‌دهد. بدان معنا که در این دوره سنی ارتباط سن با ضربان قلب بیشینه چشمگیر نیست. تحقیق ماجادو و همکاران روی پسران سالم ۱۰ تا ۱۶ سال، حاکی از عدم ارتباط معنادار بین سن و ضربان قلب بیشینه بود ($P>0/05$ ، $R=0/96$) (۲۰). با این همه، با عبور دانش‌آموزان از سنین بلوغ، کاهش ضربان قلب بیشینه با افزایش سن رخ خواهد داد (۲۵). وجود همبستگی بالا و نبود اختلاف معنادار از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی روایی معادلات برآورد ضربان قلب بیشینه محسوب می‌شوند. با این همه، بروز همبستگی بالا بین دو روش، لزوماً به معنای صحت و دقت روش جدید نیست. در واقع، همبستگی میزان همگرایی دو روش اندازه‌گیری را ارائه می‌دهد. بنابراین مشاهده

آنتونی و همکاران حاکی از این است که معادلات تاناکا و فاکس به ترتیب به کم تخمینی و بیش تخمینی ضربان قلب بیشینه در کودکان و نوجوانان منجر می‌شوند. با این همه، معادله خطای برآورد معادله تاناکا کمتر است (۱۱). نتایج تحقیق ماچادو و همکاران روی پسران کودک و نوجوان نشان داد که معادله تاناکا از دقت برآورد بهتری در مقایسه با معادله فاکس برخوردار است (۱۲). نتایج پژوهش دیگری نیز حاکی از کم تخمینی معادله تاناکا و بیش تخمینی معادله فاکس در برآورد ضربان قلب بیشینه در والیبالیست‌های دختر نوجوان بود. با این همه، مقدار اختلاف برآورد در معادله تاناکا معنادار نبود (۶). در مقابل، تحقیق سایکون و همکاران نشان داد که معادله فاکس در مقایسه با معادله تاناکا از خطای کمتری در برآورد ضربان قلب بیشینه پسران فوتبالیست برخوردار است (۱۴). پژوهش گلبرت و همکاران روی بچه‌های فعال ۹ تا ۱۸ ساله حاکی از عدم اعتبار معادلات فاکس و تاناکا در برآورد ضربان قلب بیشینه بود (۱۳). همچنین تحقیقی روی دختران و پسران برزیلی حاکی از بیش تخمینی معادله فاکس در برآورد ضربان قلب بیشینه بود (۱۵). طبق نتایج یک تحقیق مروری، معادلات تاناکا و فاکس به ترتیب به کم تخمینی و بیش تخمینی ضربان قلب بیشینه در کودکان و نوجوانان منجر می‌شوند. به طوری که میانگین اختلاف برآورد معادلات تاناکا و فاکس در برآورد ضربان قلب بیشینه کودکان و نوجوانان به ترتیب ۲/۰۹ و ۱۲/۹۳ ضربه در دقیقه است. با این همه، معادله تاناکا میانگین خطای برآورد کمتری را در بردارد (۱۶). به نظر می‌رسد که به دلیل همبستگی پایین سن با ضربان قلب بیشینه از عوامل تأثیرگذار بر دقت پایین معادلات فاکس و تاناکا در برآورد ضربان قلب بیشینه پسران تحقیق حاضر باشد. به طوری که پژوهش‌های مروری بیان می‌کنند که در سنین کودکی و نوجوانی متغیر سن عامل اصلی در مقدار ضربان قلب بیشینه نیست (۱۶، ۲۹).

در نمودار گرافیکی بلاند-آلتمن، میانگین ضربان قلب بیشینه برآورد شده و اندازه‌گیری شده (محور افقی) در برابر اختلاف ضربان قلب بیشینه برآورد شده و اندازه‌گیری شده (محور عمودی) ارائه شده است. میانگین اختلاف‌ها (Mean) و فاصله اطمینان ۹۵ درصد ($Mean \pm 2SD$) به ترتیب به وسیله خطوط نقطه چین و خط چین در معادلات فاکس و تاناکا در شکل‌های ۲ و ۳ مشخص شده است. طبق این نمودار تفاوت چشمگیری در پراکندگی اختلاف میانگین‌ها بین روش معیار و معادله فاکس و تاناکا وجود دارد. در این نمودار هرچه میانگین اختلاف دو روش به عدد صفر نزدیک باشد، نشان از دقت روش جایگزین در مقایسه با روش معیار است. همان‌طور که مشهود است میانگین اختلاف و پراکندگی اختلاف‌ها در هر دو معادله برآورد ضربان

ضریب همبستگی بالا بین دو روش شرط لازم برای اعتبار یک روش جدید است، اما شرط کافی و قابل اطمینانی نیست. نکته این است که ضریب همبستگی از توانایی کافی در بیان مقدار اختلاف بین دو روش، برخوردار نبوده و قادر به ارائه مقدار خطای اندازه‌گیری نیست (۲۶). بنابراین باید از روش‌های آماری دیگری نیز مانند آزمون تی همبسته و آزمون توافق بلاند-آلتمن (۲۷) استفاده کرد. توانایی این دو آزمون آماری، در بیان اختلاف میانگین‌ها در دو روش معیار و روش جایگزین بالاست. در ادامه نتایج ارزیابی روایی دو معادله فاکس و تاناکا تفسیر می‌شود.

در آزمودنی‌های حاضر بین ضربان قلب بیشینه برآورد شده به وسیله معادله فاکس و تاناکا و ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده در روش معیار همبستگی معناداری دیده شد ($R=0/198, P<0/05$) (جدول ۲). با این همه، مقدار این همبستگی پایین تفسیر می‌شود. طبق منابع علوم آمار، ضریب همبستگی بزرگ‌تر از ۰/۷۰ به عنوان همبستگی بالا، بین ۰/۵۰ تا ۰/۷۰ به عنوان همبستگی خوب، بین ۰/۳۰ تا ۰/۵۰ به عنوان همبستگی متوسط و کمتر از ۰/۳۰ به عنوان همبستگی ضعیف لحاظ می‌شود (۲۸). در واقع، آنچه از لحاظ آماری باید توجه داشته باشیم این است که وجود همبستگی معنادار بین دو روش یا وسیله اندازه‌گیری، شرط لازم جهت روایی و صحت است، اما شرط کافی نیست؛ یعنی صرف وجود همبستگی معنادار بین معادلات فاکس و تاناکا با روش معیار، نشانه روایی این دو معادله در برآورد ضربان قلب بیشینه پسران در تحقیق ما محسوب نمی‌شود. بنابراین، در گام تکمیلی باید میانگین اختلاف ضربان قلب بیشینه روش‌های برآوردی با روش معیار ارزیابی شود (۲۷).

نتایج این پژوهش نشان داد که اختلاف معناداری بین ضربان قلب بیشینه اندازه‌گیری شده در روش معیار آزمایشگاهی ($202/6 \pm 44/12$ ضربه در دقیقه) و ضربان قلب بیشینه برآورد شده با معادله فاکس ($207/67 \pm 2/75$) و تاناکا ($199/1 \pm 37/92$) ضربه در دقیقه) وجود داشت. به طوری که معادله فاکس به بیش تخمینی معنادار ($5/23 \pm 6/32$ ضربه در دقیقه) و معادله تاناکا به کم تخمینی معنادار ($3/07 \pm 6/17$ - ضربه در دقیقه) در ضربان قلب بیشینه انجامید ($P<0/05$) (جدول ۲). با این همه، اختلاف برآورد معادله تاناکا در مقایسه با معادله فاکس کمتر بود، به طوری که اختلاف برآورد معادلات فاکس و تاناکا به ترتیب معادل ۲/۷ و ۱/۴۴- درصد میانگین ضربان قلب اندازه‌گیری شده در روش معیار بود. در این زمینه پژوهش‌ها بیان می‌کنند که معادلات فاکس و تاناکا می‌توانند به بیش تخمینی یا کم تخمینی معنادار برآورد ضربان قلب بیشینه افراد نابالغ منجر شوند. تحقیق

($P < 0.05$)، ضربه در دقیقه $5/23 - 3/7 =$ میانگین (اختلاف). با این همه، در شرایطی که مجبور به برآورد ضربان قلب بیشینه هستیم، مقدار خطای برآورد معادله تاناکا در مقایسه با معادله فاکس کمتر است. بنابراین نویسندگان این مقاله بیان می‌کنند که معادله برآورد ضربان قلب بیشینه مختص پسران ایرانی به‌منظور کنترل شدت ورزش و فعالیت بدنی در این جمعیت کودک و نوجوان دختر و پسر ایرانی طراحی شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از دانش‌آموزان شرکت‌کننده و همکاری والدین آنها تشکر و قدردانی می‌کنند.

حامی / حامیان مالی

مقاله حاضر حاصل رساله کارشناسی ارشد دانشگاه بوعلی سیناست و حامی مالی ندارد.

مشارکت نویسندگان

تمامی نویسندگان در آماده‌سازی مقاله مشارکت یکسان داشتند.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تعارض منافی در این پژوهش وجود ندارد.

منابع

1. Medicine ACoS. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription: Lippincott Williams & Wilkins; 2013.
2. Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*. 2001;37(1):153-6.
3. Medicine ACoS. ACSM's health-related physical fitness assessment manual: Lippincott Williams & Wilkins; 2013.
4. 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.
5. 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.
6. 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.

قلب بیشینه فاکس و تاناکا تفاوت چشمگیری با مقدار بهینه دارد.

در پژوهش حاضر تأثیر دامنه سنی کودک و نوجوان بر روایی معادلات فاکس و تاناکا بررسی شد. برای این منظور آزمودنی‌ها در رده سنی ۸ تا ۱۳ سال و ۱۴ تا ۱۸ سال تقسیم شدند. اما باز هم مشاهده شد که این معادلات فاکس و تاناکا در دوره سنی از روایی برخوردار نیستند. به طوری که همبستگی معناداری بین ضربان قلب بیشینه معادلات فاکس و تاناکا با روش معیار مشاهده نشد ($R = 0.094 - 0.28$) ($P > 0.05$). همچنین باز هم اختلاف معناداری بین ضربان قلب بیشینه به روش معیار و معادلات فاکس و تاناکا دیده شد (ضربه در دقیقه $6/26 - 3/55 =$ میانگین اختلاف) ($P < 0.05$). این نتیجه نشان می‌دهد که دامنه سنی کودک و نوجوان تأثیری بر روایی و دقت معادلات فاکس و تاناکا ندارد. البته مقدار خطا در دامنه سنی ۱۴ تا ۱۸ سال در مقایسه با رده سنی ۸ تا ۱۳ ساله کمتر بود. با این همه، به نظر می‌رسد تأثیر کاهش ضربان قلب بیشینه به موازات افزایش سن از سنین بزرگسالی به بعد رخ می‌دهد که همسو با تحقیقات قبلی است (۹).

با توجه به پاراگراف‌های بالا، در تحقیق حاضر معادلات فاکس و تاناکا ملاک‌های لازم به‌منظور احراز روایی برآورد ضربان قلب بیشینه در پسران سالم کودک و نوجوان را احراز نکردند. شاید دلیل این نتیجه این باشد که معادلات فاکس و تاناکا به‌ویژه برای جمعیت بزرگسال طراحی شده باشند، به طوری که داده‌های معادلات فاکس و تاناکا دارای دامنه سنی ۲۰ تا ۸۵ سال گزارش شده است (۲، ۴). بنابراین پیشنهاد می‌شود که یک معادله بومی ویژه دامنه سنی کودک و نوجوان در جمعیت ایران با نمونه آماری گسترده طراحی شود. وجود معادله برآورد ضربان قلب بیشینه معتبر ویژه دامنه سنی کودک و نوجوان ایرانی برای استفاده مربیان ورزشی سودمند خواهد بود.

نمونه آماری نسبتاً بزرگ (۳۴۹ نفر) و اندازه‌گیری مستقیم ضربان قلب بیشینه و VO_{2max} به روش تحلیل گازهای تنفسی با استفاده از آزمون ورزشی فزاینده بروس تعدیل شده روی نوار گردان از نقاط قوت این تحقیق به‌شمار می‌رود. تحقیقات نشان می‌دهند که اندازه‌گیری ضربان قلب در آزمون‌های ورزشی فزاینده روی نوار گردان به واقعیت نزدیک‌ترند. از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به نبود داده‌های مربوط به دختران اشاره کرد که قابلیت تعمیم نتایج ما را دختران محدود می‌کند. بنابراین پیشنهاد می‌شود که پژوهش مشابه روی دختران انجام گیرد.

در پژوهش حاضر، معادلات فاکس و تاناکا به ترتیب به بیش تخمینی و کم تخمینی معنادار در برآورد ضربان قلب بیشینه پسران سالم کودک و نوجوان منجر شدند

7. 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.
8. Lehmann M, Keul J, Korsten-Reck U. The influence of graduated treadmill exercise on plasma catecholamines, aerobic and anaerobic capacity in boys and adults. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1981;47(3):301-11.
9. 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.
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. 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.
12. Machado FA, Denadai BS. Validity of maximum heart rate prediction equations for children and adolescents. *Arquivos brasileiros de cardiologia*. 2011;97(2):136-40.
13. 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.
14. Cicone ZS, Sinelnikov OA, Esco MR. Age-Predicted Maximal Heart Rate Equations Are Inaccurate for Use in Youth Male Soccer Players. *Pediatric exercise science*. 2018;20(XX):1-5.
15. Colantonio E, Peduti Dal Molin Kiss MA. Is the HRmax= 220-age equation valid to prescribe exercise training in children? *Journal of exercise Physiology online*. 2013;16(1).
16. 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.
17. 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.
18. Bahreini Nejad A, Moflahi D, Abbaspour M. Evaluation of intermittent protocol at incremental laboratory test in measuring physiological indices of soccer players. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2022;15(2):41-51. [In Persian]
19. Hozourri T, Fashi M, Hasanloei Ha. The effect of four weeks of polarized training on aerobic fitness and performance of professional rowers. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2022;15(4):31-41. [In Persian]
20. Machado FA, Denadai BS. Validity of maximum heart rate prediction equations for children and adolescents. *Arquivos brasileiros de cardiologia*. 2011;97(2):136-40.
21. Londeree B, Moeschberger M. Effect of Age and Other Factors on Maximal Heart Rate. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 2013;53:297-304.
22. Bar-Or O. Physiologic responses to exercise of the healthy child. *Pediatric Sports Medicine for the Practitioner*: Springer; 1983. p. 1-65.
23. Rowland T, Maresh C, Charkoudian N, Vanderburgh P, Castellani J, Armstrong L. Plasma norepinephrine responses to cycle exercise in boys and men. *International journal of sports medicine*. 1996;17(01):22-6.
24. Astrand P-O. Experimental studies of physical work capacity in relation to sex and age. *Dissertation*. 1952.
25. 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.
26. Atkinson G, Nevill AM. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med*. 1998;26(4):217-38.
27. Bland JM, Altman D. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The lancet*. 1986;327(8476):307-10.
28. Hinkle DE, Wiersma W, Jurs SG. *Applied statistics for the behavioral sciences*. 2003.
29. 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.