Design and Validation of Non-Exercise Equations for Estimation of Aerobic Capacity in Iranian Boys

Farzad Nazem^{1*} , Abbas Rezaei¹ , Majid Jalili¹, Hossein Saki¹

1. Department of Physical Education and Sport Sciences, Section of Sport Physiology, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

Article Info

Received: 2019/12/24;

Accepted: 2020/08/17;

ePublished: 2020/10/15

doi: [10.30699/jergon.8.2.50](https://doi.org/10.30699/jergon.8.2.50)

Use your device to scan
and read the article online

Corresponding Author

Farzad Nazem

Department of Physical
Education and Sport Sciences,
Section of Sport Physiology, Bu-
Ali Sina University, Hamadan,
Iran

Email:

f.nazem1336@gmail.com

ABSTRACT

Background and Objectives: Accurate and rapid measurement of cardiorespiratory system performance by estimation methods regardless of basic physiological fitness level, geographical environment, culture and nutrition is of paramount importance. The purpose of this study was to design linear regression equations to estimate the aerobic capacity of healthy adolescent boys without the use of sport tests and validation of this equations.

Methods: In the present semi-experimental study, 156 healthy adolescent boys aged 13 to 17 years with a mean body mass index of $21.43 \pm 4.5 \text{ Kg/m}^2$ were selected by purposive sampling method. To design the non-sport equation for estimating maximum oxygen consumption ($\text{VO}_{2\text{peak}}$), a multiple regression linear model and Pearson correlation were used to validate the equations.

Results: Significant correlations were observed between the measured $\text{VO}_{2\text{peak}}$ and the anthropometric and physiological variables ($R=0.122 - 0.799$, $P<0.001$). Also, a valid non-exercise linear equation for boys' $\text{VO}_{2\text{peak}}$ prediction was designed with variables such as age, BMI and resting heart rate ($\text{SEE} = 3.59 \text{ mL/kg/min}$, $R^2 = 0.712$, $P<0.001$). The estimated $\text{VO}_{2\text{peak}}$ from equations had a significant correlation with the obtained criterion value. ($R = 0.707 - 0.730$, $P<0.01$).

Conclusion: According to the results of the present study, it is possible to use aerobic capacity estimation equations, is a simple, accurate, safe tool in assessing the baseline cardiorespiratory fitness ($\text{VO}_{2\text{peak}}$). The use of non-Exercise equations in the planning of exercise in large populations of adolescent boys and even as a daily clinical practice in the elderly and heart patients with the goals of promoting health, cardiovascular health, preventive actions is very important.

Keywords: Aerobic capacity, Respiratory gas analysis, Non-exercise testing, Validation

Copyright © 2020, This is an original open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute of the material just in noncommercial usages with proper citation.

How to Cite This Article:

Nazem F, Rezaei A, Jalili M, Saki H. Design and Validation of Non-Exercise Equations for Estimation of Aerobic Capacity in Iranian Boys. Iran J Ergon. 2020; 8 (2): 50-60

طراحی و اعتبارسنجی معادلات غیرورزشی بر آورد ظرفیت هوازی در پسران ایرانی

فرزاد ناظم^{۱*}، عباس رضایی^۲، مجید جلیلی^۳، حسین ساکی^۴

۱. استاد فیزیولوژی ورزش و کار، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۲. کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۳. دکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۴. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

اطلاعات مقاله

دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۳
پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۷
انتشار آنلاین: ۱۳۹۹/۰۷/۲۴

نویسنده مسئول:

فرزاد ناظم

استاد فیزیولوژی ورزش و کار، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

پست الکترونیک:

f.nazem1336@gmail.com

برای دانلود این مقاله، کد زیر را با موبایل خود اسکن کنید.

خلاصه

زمینه و هدف: سنجش دقیق و سریع کارایی دستگاه قلبی تنفسی به روش های تخمینی بدون توجه به سطح پایه آمادگی فیزیولوژیک، محیط جغرافیایی، فرهنگ و تغذیه افراد از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف از این مطالعه، طراحی معادلات خطی رگرسیونی برای برآورد ظرفیت هوازی پسران نوجوان سالم بدون استفاده از آزمون های ورزشی و اعتبارسنجی این معادلات است.

روش کار: در تحقیق نیمه تجربی حاضر، ۱۵۶ پسر نوجوان سالم ۱۳ تا ۱۷ سال با میانگین بی ام آی $20.5 \pm 4.5 \text{ Kg/m}^2$ به روش نمونه گیری هدفمند انتخاب شدند. جهت طراحی معادله غیرورزشی برآورد حداکثر اکسیژن مصرفی ($\text{VO}_{2\text{peak}}$) از مدل خطی رگرسیونی چندگانه و در اعتبارسنجی معادلات از همبستگی پیرسون استفاده کردیم.

یافته ها: همبستگی معناداری بین $\text{VO}_{2\text{peak}}$ اندازه گیری شده به روش معیار با متغیرهای آنترپومتریک و فیزیولوژیک مشاهده شد ($R = 0.799$ ، $P < 0.001$). همچنین معادله خطی معتبر غیرورزشی پیشگوی $\text{VO}_{2\text{peak}}$ پسران با متغیرهای سن، بی ام آی و ضربان قلب استراحت طراحی شد (mL/kg/min) ($R^2 = 0.712$ ، $SEE = 3.59$ ، $P < 0.001$) برآورد شده از معادلات به دست آمده، همبستگی معناداری با مقدار اندازه گیری شده معیار داشت ($R = 0.730$ ، $P < 0.001$).

نتیجه گیری: باتوجه به نتایج تحقیق حاضر، می توان از معادلات برآورد ظرفیت هوازی بعنوان یک ابزار ساده، دقیق، ایمن در ارزیابی پایه آمادگی قلبی تنفسی ($\text{VO}_{2\text{peak}}$) استفاده کرد. بکارگیری معادلات غیرورزشی در تنظیم برنامه ورزشی در جمعیت های بزرگ پسران نوجوان، و حتی به عنوان اقدام بالینی روزانه در افراد مسن و بیماران قلبی با اهداف بهداشت قلب و عروق، اقدامات پیشگیرانه و ارتقای تندرستی اهمیت بالایی دارد.

کلیدواژه ها: ظرفیت هوازی، آنالیز گازهای تنفسی، آزمون غیرورزشی، اعتبارسنجی

مقدمه

افزایش آمادگی قلبی تنفسی (Cardio-respiratory fitness) یکی از عوامل کلیدی وابسته به آمادگی جسمانی است که با کاهش مرگ و میر و بیماری های متابولیک همراه می شود [۱]. CRF شاخص مهمی در توانایی قلب و عروق برای راندن خون غنی از اکسیژن به بافت ها هنگام فعالیت ورزشی و مصرف هرچه بیشتر اکسیژن در این بافت ها است، بنابراین، CRF در بیشتر ورزش ها ضروری است [۲، ۳]. این شاخص به عنوان شاخص سنجش وضعیت سلامتی و پیش بینی بیماری های قلبی عروقی گزارش شده است [۴، ۵]. پژوهشگران شاخص استاندارد طلایی ارزیابی CRF را حداکثر اکسیژن مصرفی یا $\text{VO}_{2\text{peak}}$ می دانند [۶، ۷]. روش استاندارد ارزیابی CRF اندازه گیری مستقیم $\text{VO}_{2\text{peak}}$ با استفاده از دستگاه تجزیه و تحلیل گازهای تنفسی در آزمون های ورزشی درمانده ساز (Maximal graded exercise test) از طریق تردمیل یا چرخ های کارسنج است [۸]. این آزمون ها در عین اختصاصی بودن و حساسیت بالا، نیازمند صرف زمان زیاد، تجهیزات پیچیده تکنیسین های ماهر و آنالیز پیچیده گازهای VO_2 و Vco_2 است [۹، ۱۰]. همچنین، این آزمون های استاندارد نیازمند تلاش حداکثری فرد برای دستیابی به $\text{VO}_{2\text{peak}}$ واقعی هستند که ممکن

استاد فیزیولوژی ورزش و کار، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

و اعتبارسنجی با روش معیار اجرای آزمون‌های ورزشی، هنگام فعالیت درمانده‌ساز همراه آنالیز گازهای تنفسی، در جمعیت پسران نوجوان بررسی می‌شود.

روش کار

در این مطالعه کاربردی ۱۵۶ دانش‌آموز پسر سالم ۱۳ تا ۱۷ سال را از میان مدارس مقطع تحصیلی متوسطه منتخب به‌روش خوشه‌ای هدفمند از نواحی یک و دو شهرستان همدان به‌صورت داوطلبانه انتخاب کردیم.

ابتدا از دانش‌آموزان خواسته شد با مشورت والدین خود پرسشنامه وضعیت سلامتی محقق‌ساخته و PARQ را تکمیل کنند تا موارد زیر مشخص شود: مشکلات قلبی-عروقی، تنفسی، عصبی-عضلانی، آناتومیکی و متابولیک، شرکت‌نکردن در برنامه کاهش وزن، عدم سابقه بستری در بیمارستان در ۳ ماه اخیر و عدم سرماخوردگی شدید یا مصرف داروی موثر بر متغیرهای مورد مطالعه در ۴ هفته گذشته [۸]. همچنین، از والدین دانش‌آموزانی که شرایط لازم برای ورود به مطالعه را داشتند، رضایت‌نامه کتبی دریافت شد. دانش‌آموزان حائز شرایط در جلسه توجیهی در آزمایشگاه فیزیولوژی ورزشی دانشگاه بوعلی سینا شرکت کردند. پس از یک هفته، مشخصات آنروپومتریکی و VO_{2peak} آزمودنی‌ها به روش مستقیم گازآنالایزر اندازه‌گیری شد. در این تحقیق ۱۰۴ نفر در گروه طراحی مدل جهت طراحی معادله غیرورزشی VO_{2peak} منظور گردید. به این صورت که به ازای هر متغیر مستقل (سن، بی‌ام‌آی، ضربان قلب استراحت) حدود ۳۵ نمونه آماری انتخاب کردیم. همچنین ۵۲ نفر نیز تحت عنوان گروه سنجش اعتبار به‌منظور راستی‌آزمایی معادلات بومی غیرورزشی VO_{2peak} لحاظ شد. فرایند پژوهش حاضر توسط کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی همدان تایید گردید (کد کمیته اخلاق: IR.BASU.REC.1398.006).

متغیرهای سن (۱/۰ سال)، قد با استفاده از قدسنج دیواری (cm)، وزن با استفاده از ترازوی مکانیکی ساخت آلمان با حساسیت توزین ۱۰۰ گرم (kg) و بی‌ام‌آی از تقسیم وزن برحسب کیلوگرم به قدر مترمربع و سطح رویه بدن (m^2) به روش استاندارد اندازه‌گیری شدند [۸، ۳۱]. ضربان قلب استراحت به حالت نشسته روی صندلی به مدت ۱۰ دقیقه و به مدت یک دقیقه اندازه‌گیری شد، رتبه درصدی شاخص جرم بدن نیز به کمک نرم‌افزار WHO_AnthroPlas_exe محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری VO_{2peak} ، از آزمون بروس تعدیل‌شده مجهز به دستگاه تجزیه و تحلیل گازهای تنفسی مختص کودکان استفاده

است. خطرات زیادی در افراد مبتلا به مشکلات قلبی-عروقی و تنفسی با درجه متوسط تا شدید و افراد مسن ایجاد کنند [۱۱، ۱۲]. محدودیت اجرای این روش موجب به‌کارگیری آزمون‌های جایگزین برآورد CRF از طریق آزمون‌های میدانی زیربیشینه و استفاده از معادلات غیرورزشی برآورد VO_{2peak} شده، که نیازی به فعالیت شدید ندارند [۱۰-۱۳، ۱۱، ۱۰]. روش‌های غیرمستقیم با استفاده از آزمون‌های مختلف ورزشی مانند دویدن، راه‌رفتن، ارگومتر، تردمیل، تست پله به دو شکل بیشینه و زیربیشینه (پایین و بالاتر از آستانه لاکتات) اندازه‌گیری می‌شوند [۱۸، ۱۹]. اما امکان استفاده از این آزمون‌های ورزشی برای بیماران، مصدومین ورزشی و افرادی که طولانی‌مدت از تمرینات ورزشی دور مانده‌اند مخاطره‌آمیز و گاهی غیرممکن است. کاربرد آزمون‌های ورزشی میدانی یا آزمایشگاهی در جمعیت‌های گسترده و مطالعات همه‌گیرشناسی یا زمانی که نیازمند برآورد سریع VO_{2peak} است، علی‌رغم دقت و حساسیت نسبتاً بالا، محدود است [۲۰]. معادلات غیرورزشی برآورد VO_{2peak} از این نظر سودمند خواهد بود که اطلاعات سریعی از CRF در جمعیت بالا ارائه می‌دهد. این تکنیک پیش‌بینی غیرورزشی، ساده‌تر، ارزان و کم‌هزینه‌تر از روش برآورد ورزشی VO_{2peak} است. به‌طوری که دانشمندان علوم ورزشی را برآن داشته تا با طراحی‌های نوینی از معادلات پیشگوی VO_{2peak} غیرورزشی بپردازند [۲۱، ۲۲]. از این‌رو، این عامل یکی از شاخص‌های اساسی در حیطه علوم ورزشی قهرمانی و همگانی به حساب می‌آید [۸، ۲۳]. محققین در جهت طراحی و اعتبارسنجی معادلات مختلف پیشگوی رگرسیونی چندمتغیره، در جمعیت‌های گوناگون، ارتباط نزدیکی بین متغیرهای آنروپومتریکی و فیزیولوژیکی مانند سن، جنس، BSA، بی‌ام‌آی، ضربان قلب استراحتی با VO_{2peak} پیدا کرده‌اند [۲۴-۲۶، ۲۲]. به نظر می‌رسد این شیوه از معادلات پیشگوی غیرورزشی که بدون فعالیت بدنی VO_{2peak} افراد را در سنین مختلف برآورد می‌کنند، می‌تواند در افراد سالمند و به‌ویژه در بیماران قلبی-عروقی، فشارخون بالا و بیماران متابولیکی مفید و قابل استفاده باشد [۱۰، ۲۷]. براساس تحقیقات، در ایران کمتر به طراحی و اعتبارسنجی معادلات غیرورزشی پیشگوی VO_{2peak} پرداخته شده است و اکثر معادلات موجود برای کشورهای خارجی [۲۸-۳۰] اعتبار دارند. بنابراین در پژوهش حاضر، طراحی معادلات بومی برآورد غیرورزشی با ضریب تعیین بالا و خطای پیش‌بین پایین پیشگوی VO_{2peak}

شد و روی تردمیل الکتریکی مدل (h/p/cosmos Saturn) مجهز به دستگاه تجزیه و تحلیل گازهای تنفسی (PowerCube, Ganshorn Medizin Electronic) انجام شد. این آزمون شامل ۹ مرحله سه دقیقه‌ای است که برای سهولت اجرا برای همه با شیب ملایم و سرعت کم شروع و به تدریج افزایش می‌یابد.

شکل ۱. اجرای آزمون بروس تعدیل شده روی نوار گردان مجهز به دستگاه تجزیه و تحلیل گازهای تنفسی

شکل ۱. اجرای آزمون بروس تعدیل شده روی نوار گردان مجهز به دستگاه تجزیه و تحلیل گازهای تنفسی

ضربان قلب و گازهای تنفسی آزمودنی‌ها در طول آزمون به ترتیب با ضربان سنج پولار (Polar Heart Rate Transmitter) و ماسک لاستیکی مدل (Model T34 Germany) و اسپیرومتری تجزیه و تحلیل و هر ۱۰ ثانیه ثبت شد (شکل ۲).

شکل ۲. تغییرات ضربان قلب و اکسیژن مصرفی فعالیت یک پسر ۱۶ ساله در آزمون بروس تعدیل شده

شکل ۲. تغییرات ضربان قلب و اکسیژن مصرفی فعالیت یک پسر ۱۶ ساله در آزمون بروس تعدیل شده

شرایط دستیابی به VO_{2peak} واقعی و پایان آزمون درممانده‌ساز با حصول دو مورد از ملاک‌های زیر محقق می‌شد؛ (۱) ضربان قلب بالاتر از ۱۹۰ ضربه در دقیقه، (۲) نسبت تبادل تنفسی ($RER > 1.1$)، (۳) تعادل‌نداشتن هنگام دویدن، (۴) واماندگی آزمودنی و امتناع از ادامه آزمون علی‌رغم تشویق‌های کلامی آزمون‌گر [۱۸]. از آزمودنی‌ها خواسته شد ۲۴ ساعت قبل از اجرای آزمون از انجام فعالیت‌های شدید خودداری کنند. همچنین وعده غذایی خود را حداقل ۳ ساعت قبل از آزمون میل کنند و پس از آن از خوردن هر ماده غذایی غیر از آب امتناع نمایند. این آزمون در دمای ۱۹ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۳۹ تا ۴۳ درصد، ارتفاع ۱۸۶۰ متر از سطح دریا و با سطح آلاینده‌های هوا در سطح نرمال در آزمایشگاه دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه بوعلی سینا اجرا شد.

برای بررسی توزیع طبیعی داده‌ها از آزمون کلموگروف اسمیرنوف (K-S) استفاده شد. از آمار پارامتریک و آماره‌های توصیفی مناسب برای آزمون فرضیات تحقیق استفاده شد [۳۲]. برای بررسی ارتباط VO_{2peak} با متغیرهای مستقل (سن، وزن، بی‌ام‌آی، سطح رویه بدن و ضربان قلب استراحت) از

همبستگی پیرسون استفاده شد. برای طراحی معادله برآورد غیرورزشی VO_{2peak} ، از رگرسیون چندمتغیری به روش گام‌به‌گام^۱ (step-wise) برای طراحی مدل استفاده شد. ملاک انتخاب معادله رگرسیونی، توجه به مولفه‌های ضریب تعیین (R^2)، خطای استاندارد برآورد (SEE)^۲ و خطای استاندارد برآورد نسبی ($SEE\% = (SEE / VO_{2peak} \text{ اندازه‌گیری‌شده}) \times 100$) بود [۳۳]. برای بررسی صحت و کارایی معادله بومی غیرورزشی طراحی‌شده در مطالعه حاضر، VO_{2peak} برآورده شده حاصل از معادلات بومی غیرورزشی با VO_{2peak} واقعی اندازه‌گیری‌شده در آزمودنی‌های گروه سنجش اعتبار (۵۲ نفر) مقایسه شد. این مقایسه با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون و آزمون تی همبسته صورت گرفت. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ (SPSS Inc., Chicago, USA) و در سطح $P < 0.05$ انجام شد.

یافته‌ها

مشخصات آنتروپومتریک و فیزیولوژیک و نتایج آزمون بروس تعدیل‌شده دانش‌آموزان در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. مشخصات آنتروپومتریک و فیزیولوژیک پسران

متغیرها	میانگین $\pm$ انحراف معیار	کرانه پایین	کرانه بالا
سن (سال)	۱۴/۱۹۴/۳۳	۱۲/۷۵	۱۷/۱۷
قد (سانتی‌متر)	۱۶۷/۹۶۸/۶۹	۱۳۷	۱۹۳
وزن (کیلوگرم)	۶۰/۱۶۸۴/۰۶	۲۸/۰۰	۱۱۳
بی‌ام‌آی (کیلوگرم بر مترمربع)	۲۱/۴۴۳/۴۹	۱۲/۴۴	۳۵/۲۷
رویه سطح بدن (مترمربع)	۱/۰۶۷/۲۶	۱/۰۶۱	۲/۴۴۹
ضربان قلب استراحت (ضربه در دقیقه)	۷۹/۹۵۹/۶۸	۵۸	۱۰۲
حداکثر ضربان قلب نظری (ضربه در دقیقه)	۱۹۷/۰۵۵۴/۹۳	۱۹۶	۱۹۹
بیشینه اکسیژن مصرفی مطلق (L/min)	۲/۰۴۳۰/۶۲۵	۰/۹۷۰	۳/۷۶۰
بیشینه اکسیژن مصرفی نسبی (ml/kg/min)	۴۱/۶۶۹/۴۷	۲۲/۱۰	۵۴/۸۰
نسبت تبادل تنفسی (RER)	۱/۰۲۴/۰۸۱	۱/۰۶	۱/۵۰
اکسیژن مصرفی در آستانه لاکتات (ml/kg/min)	۲۴/۶۵۰۳/۳۱	۱۳/۴۰	۴۱/۱۰
ضربان قلب پایان آزمون فزاینده (ضربه در دقیقه)	۲۰۱/۰۹۶/۱۴*	۱۹۰	۲۲۱

* معادل ۱۰۲ درصد حداکثر ضربان قلب بیشینه

همبستگی معناداری بین VO_{2peak} اندازه‌گیری‌شده به روش مستقیم با VO_{2peak} برآورده شده از معادلات خارجی مشاهده شد ($R = 0.707 - 0.730$, $P < 0.01$). با این حال تفاوت

معناداری بین میانگین VO_{2peak} اندازه‌گیری‌شده به روش مستقیم و VO_{2peak} برآورده شده با معادلات خارجی منتخب مشاهده شد ($P < 0.05$) (جدول ۲).

² Standard Error of Estimate (SEE)

³ $SEE\% = (SEE / HR_{max} \text{ measured}) \times 100$

¹ Stepwise Regression Model

جدول ۲. ارزیابی صحت معادلات برآورد غیرورزشی VO_{2peak} خارجی در پسران ایرانی

معادله	VO_{2peak} اندازه گیری شده	Bonen et al. (۱۹۷۹) (۲۸)	Erdmann et al. (۱۹۹۹) (۳۰)	Verma et al. (1986) (۲۹)
$VO_{2peak} \text{ (ml/kg/min)}$	$41.6 \pm 6.9 / 4.7$	$49.5 \pm 9.9 / 3.7$	$50.6 \pm 11.1 / 6.4$	$40.0 \pm 2.3 / 5.2$
میانگین اختلاف (ml/kg/min)	—	$8.4 \pm 3.0 / 6.4^*$	$8.4 \pm 4.1 / 8.2^*$	$-1.6 \pm 4.4 / 2.4^*$
همبستگی	—	0.707^{**}	0.730^{**}	0.730^{**}

($R=0.849$, $mL/kg/min$ ۳/۵۹ معادل ۸/۷۵ درصد میانگین VO_{2peak}) را تبیین می کنند (جدول ۴).

صحت معادلات غیرورزشی بومی برآورد VO_{2peak} و معادلات خارجی در گروه سنجش اعتبار (۵۲ نفر) راستی آزمایی شد. این ارزیابی به وسیله مقایسه VO_{2peak} اندازه گیری شده و VO_{2peak} برآورد شده به روش معادلات غیرورزشی صورت گرفت. نتایج همبستگی در دامنه $0.746 - 0.466 R =$ بود. در این میان معادلات بومی برآورد غیرورزشی VO_{2peak} عملکرد بهتری در مقایسه با معادله غیرورزشی خارجی داشتند (جدول ۴ و شکل ۲).

همچنین، نتایج نشان داد که تفاوت معناداری بین VO_{2peak} اندازه گیری شده به روش مستقیم و VO_{2peak} برآورد شده با معادلات سه گانه بومی وجود ندارد ($P > 0.05$). با این حال، تفاوت معناداری بین VO_{2peak} اندازه گیری شده به روش مستقیم و VO_{2peak} برآورد شده با معادلات غیرورزشی خارجی مشاهده شد (شکل ۳) ($P < 0.05$).

در جدول ۳ همبستگی VO_{2peak} اندازه گیری شده با متغیرهای مستقل (سن، وزن، بی ام آی، BSA و HR_{rest}) مشاهده می شود. همه متغیرهای غیرورزشی همبستگی معناداری با VO_{2peak} داشتند ($R = -0.799 - 0.112$, $P < 0.01$). با استفاده از اطلاعات گروه طراحی مدل (۱۰۴ نفر) ۳ معادله بومی برآورد غیرورزشی VO_{2peak} با استفاده از رگرسیون خطی چندمتغیره به روش step-wise استخراج شد (جدول ۴). در معادله ۱-۴، بی ام آی به تنهایی ۶۳۴ درصد از واریانس VO_{2peak} ($R=0.799$, $SEE=4.05 \text{ mL/kg/min}$ معادل ۹/۸۷ درصد میانگین VO_{2peak}) را در مطالعه ما تبیین می کند. در معادله ۲، متغیرهای سن و بی ام آی قادر به تبیین ۶۹۷ درصد واریانس VO_{2peak} ($R=0.838$, $SEE=3.69 \text{ mL/kg/min}$ معادل ۸/۹۹ درصد میانگین VO_{2peak}) بودند. در معادله ۳-۴، متغیرهای سن، بی ام آی و ضربان قلب استراحت ۷۱۲ درصد واریانس VO_{2peak}

شکل ۳. مقایسه VO_{2peak} استاندارد و برآورد شده در گروه اعتبارسنجی (شماره ۱: VO_{2peak} اندازه گیری شده معیار، شماره های ۲-۴: VO_{2peak} برآورد شده با معادلات غیرورزشی بومی، شماره های ۵-۷: VO_{2peak} برآورد شده با معادلات غیرورزشی خارجی). * تفاوت معنادار VO_{2peak} اندازه گیری شده و برآورد شده $P\text{-value} < 0.01$

جدول ۳. ماتریس همبستگی متغیرهای مورد مطالعه در مدل خطی

متغیرها	VO _{2peak}	سن	وزن	BMI	BSA	HR _{rest}
VO _{2peak} (mL/kg/min)	۱	۰/۱۲۲	-۰/۶۸۹*	-۰/۷۹۹*	-۰/۶۲۹*	-۰/۲۶۷**
سن (سال)	۱	۰/۳۶۴*	۰/۱۷۴	۰/۴۲۱*	-۰/۳۸۴**	
وزن (کیلوگرم)		۱	۰/۹۳۱**	۰/۹۹۱*	-۰/۰۱۳	
BMI (kg/m ²)			۱	۰/۸۸۲*	۰/۰۵۵	
BSA (m ²)				۱	-۰/۰۲۵	
HR _{rest} (bpm)					۱	

**P-value < ۰/۰۱ , *P-value < ۰/۰۵

 جدول ۴. معادلات برآورد غیرورزشی VO_{2peak}

معادله برآورد غیرورزشی VO _{2peak} (۱)	$VO_{2peak} \text{ (mL/kg/min)} = 64/221 - 1/0.57 \times BMI \text{ (kg/m}^2\text{)}$ $(R^2 = 0/634, SEE = 4/05 \text{ mL/kg/min}, P < 0/001)$
معادله برآورد غیرورزشی VO _{2peak} (۲)	$VO_{2peak} \text{ (mL/kg/min)} = 45/678 + 1/323 \times \text{سن (سال)} - 1/116 \times BMI \text{ (kg/m}^2\text{)}$ $(R^2 = 0/697, SEE = 3/69 \text{ mL/kg/min}, P < 0/001)$
معادله برآورد غیرورزشی VO _{2peak} (۳)	$VO_{2peak} \text{ (mL/kg/min)} = 57/617 + 1/0.21 \times \text{سن (سال)} - 1/0.92 \times BMI \text{ (kg/m}^2\text{)} - 0/099 \times HR_{rest} \text{ (bpm)}$ $(R^2 = 0/712, SEE = 3/59 \text{ mL/kg/min}, P < 0/001)$

بحث

اختلاف ممکن است در سطح آمادگی، جنسیت و تغذیه آزمودنی‌ها باشد. ولی همبستگی معناداری بین سن و VO_{2peak} مشاهده نشد که با نتایج Wei و همکاران [۳۸] همسو ولی با نتایج Fleg و همکاران [۳۹] ناهمسو بود. احتمالاً دلیل این تفاوت، سن و دوران بلوغ آزمودنی‌ها است. همچنین، صحت معادلات غیرورزشی بومی برآورد VO_{2peak} ویژه پسران ایرانی تأیید شد. به‌طوری‌که همبستگی معناداری بین VO_{2peak} اندازه‌گیری‌شده با VO_{2peak} برآوردشده به دست آمد (R=۰/۷۴۶ - ۰/۴۶۶, P<۰/۰۰۱).

VO_{2peak} یک معیار مطمئن برای ارزیابی CRF است و ارتباط نزدیکی با مرگ‌ومیر دارد [۴۰]. بررسی منظم CRF به‌عنوان مهم‌ترین شاخص سلامت عمومی برای افراد سالم و بیمار در فضاهای ورزشی، آموزشگاه‌ها و حتی در ورزش‌های قهرمانی از اهمیت بالایی برخوردار است [۴۱-۴۳]. ارزیابی CRF در مراکز توانبخشی و درمانی، جهت محاسبه سطح کارایی دستگاه قلب و عروق، تنفس، عصب و عضله بیماران مفید است [۴۴، ۴۵، ۴۱]. اندازه‌گیری شاخص VO_{2peak} به روش استاندارد طلایی تجزیه

نتایج این مطالعه نشان داد معادلات رگرسیونی غیرورزشی بومی در برآورد ظرفیت هوازی پسران ۱۳ تا ۱۷ ساله از اعتبار بالایی (R²=۰/۶۳-۰/۷۱ و P<۰/۰۰۱) برخوردار است. در این پژوهش ۳ معادله غیرورزشی بومی جهت برآورد VO_{2peak} برای پسران سالم طراحی و اعتبارسنجی شد. با استناد بر نتایج ما، متغیرهای مستقل سن، بی‌ام‌آی و HR_{rest} در دامنه ۶۳ تا ۷۱ درصد، تغییرپذیری VO_{2peak} پسران را تبیین می‌کنند (SEE= ۳/۵۹ - ۴/۰۵ mL/kg/min, P<۰/۰۰۱). در پژوهش حاضر همبستگی بالایی بین بی‌ام‌آی و VO_{2peak} به دست آمد که با نتایج George و همکاران [۱۶] و Schembre و همکاران [۱۵] همسو بود. ولی Kind و همکاران [۳۴] تأثیر دور کمر بر VO_{2peak} را قوی‌تر از بی‌ام‌آی در مردان گزارش کرد. دلیل تفاوت با یافته‌های تحقیق حاضر احتمالاً به‌خاطر تأثیر بالای چاقی شکمی در سنین بالاتر بر VO_{2peak} است [۳۵]. همچنین همبستگی بالایی بین HR_{rest} و VO_{2peak} گزارش شد که با نتایج تحقیق George [۱۶] و Schantz و همکاران [۳۶] همسو ولی با نتایج تحقیق صالحی [۳۷] ناهمسو بود. این

گازهای تنفسی [۴۶] در نمونه‌های بزرگ انسانی یا مطالعات همه‌گیرشناسی علاوه بر زمان گیر و هزینه‌بر بودن، نیازمند کادر مجرب و گاهی مراقبت‌های پزشکی است [۲۰، ۱۵]. روش‌های اندازه‌گیری غیرمستقیم VO_{2peak} با هدف صرفه‌جویی در زمان و هزینه مانند تکمیل پرسش‌نامه‌های فعالیت روزانه فرد یا طراحی معادلات رگرسیونی پیش‌گو، با انتخاب متغیرهای مستقل آنتروپومتریک، در جمعیت‌های مختلف انسانی ارائه شده است [۲۲، ۲۰، ۱۶، ۱۱، ۱۰، ۸].

غیرورزشی برآورد VO_{2peak} به دلیل سادگی، ارزانی و کاربرد آسان در جمعیت‌های انسانی زیاد در یک پیوستار کودک تا بزرگسال و بیمار می‌تواند جایگزین آزمون‌های آزمایشگاهی در سطوح پیشینه و زیرپیشینه در مطالعات تندرستی و در پژوهش‌های غربال‌گری شود. اگرچه متغیرهای بکار گرفته شده در معادلات غیرورزشی مطالعات قبلی متفاوت است اما معمولاً متغیرهای آنتروپومتریک، سن، ضربان قلب در زمان استراحت و فعالیت، فعالیت بدنی قبلی، درصد چربی، ژنتیک و سیگار مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار روی VO_{2peak} بوده است [۱۶-۱۴، ۱۱، ۱۰]. در مطالعه حاضر همبستگی معناداری بین VO_{2peak} به دست آمده از روش معیار و متغیرهای اندازه‌گیری شده به دست آمد (جدول ۳). مطالعات علمی عامل ترکیب بدن از جمله وزن، درصد چربی بدن و بی‌ام‌آی را از متغیرهای قابل توجه در معادله‌های رگرسیونی خطی و غیرخطی برآورد VO_{2peak} دانسته که می‌تواند همبستگی مثبت یا منفی داشته باشد [۴۹-۴۷، ۱۷]. دامنه سنی، سطح آمادگی و فعالیت قبلی آزمودنی‌ها در پژوهش‌های مختلف تأثیر زیادی بر این رابطه دارد. در تحقیق حاضر، بین متغیر وابسته ظرفیت هوازی با بی‌ام‌آی همبستگی بالایی ($R=0/79$) به دست آمد. همچنین معادله بومی شماره ۱ (جدول ۴) نشان می‌دهد بی‌ام‌آی همبستگی معناداری با VO_{2peak} دارد ($R^2=0/63$ ، $SEE=4/05$). این نشان می‌دهد بچه‌ها با بی‌ام‌آی بالاتر VO_{2peak} پایین‌تری دارند. مطالعات قبلی نشان می‌دهد VO_{2peak} افراد بزرگسال به‌طور متوسط در هر ۱۰ سال، حدود ۴ میلی‌لیتر به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در دقیقه کاهش می‌یابد [۵۰، ۲۲]. ولی در سنین روبه‌رشد این مقدار رو به افزایش است [۵۲، ۵۱، ۱۷]. در تحقیق حاضر، عامل سن در برآورد ظرفیت هوازی پسران نابالغ ۱۳ تا ۱۷ سال به‌روش غیرورزشی تأثیر کمی داشته است ($R=0/12$) (جدول ۳). ولی در معادله بومی شماره ۲ وارد کردن سن به‌همراه بی‌ام‌آی باعث افزایش ضریب تعیین و پایین‌آمدن خطای پیش‌بین می‌شود

بررسی ضربان قلب آزمودنی‌ها همبستگی نسبتاً متوسط بین VO_{2peak} با HR_{rest} را نشان داد ($R=0/26$) که با پژوهش‌های قبلی در این زمینه همسو است. در تحقیقات مختلف تغییرات مقدار همبستگی متغیر مستقل HR_{rest} با VO_{2peak} به سن و سطح آمادگی بدنی، شرایط ژنتیکی و تغذیه آزمودنی‌ها مرتبط است [۵۴، ۵۳، ۲۱، ۱۷]. در معادله بومی شماره ۳ اضافه‌شدن HR_{rest} به متغیرهای بی‌ام‌آی و سن، به‌طور معناداری ضریب تعیین را بالا می‌برد و خطای استاندارد معادله بومی را کاهش می‌دهد ($SEE=3/59$ ، $R^2=0/71$). در این مطالعه همبستگی معکوس نسبتاً بالایی بین VO_{2peak} و BSA مشاهده شد که مطالعات گذشته نیز همبستگی بالای این متغیر با VO_{2peak} را تأیید می‌کنند، اما تفاوت در جهت همبستگی ممکن است به تغییرات فیزیولوژیکی در سن بلوغ وابسته باشد [۵۷-۵۵، ۲۶].

یافته‌های ما نشان می‌دهد استفاده از بیش از یک متغیر در معادلات پیش‌گو تمایل به ایجاد مقادیر بالاتر ارتباط بین VO_{2peak} پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده دارد (جدول ۴). اما بررسی مؤلفه‌های هم‌خطی در الگوی رگرسیون چندمتغیره معادلات برآورد غیرورزشی VO_{2peak} ، نشان از بروز هم‌خطی تأثیرگذار بین متغیرهای مستقل بی‌ام‌آی، BSA و وزن در معادلات بود که باعث حذف این متغیرها از معادلات بومی این پژوهش شد ($VIF=298/3$ ؛ $tolerance = 0/03$). اعتبار و دقت بالای سه معادله پیش‌گوی غیرورزشی بومی با VO_{2peak} اندازه‌گیری شده به روش معیار با نمونه آماری مناسب در این مطالعه تأیید شد ($SEE=4/05 - 3/59$ و $0/84 - 0/79$). در معادله شماره ۳، با انتخاب متغیرهای وابسته فیزیکی و فیزیولوژیک سن، بی‌ام‌آی و HR_{rest} ، همبستگی بهینه میان ظرفیت هوازی به‌روش غیرورزشی ($SEE=3/59$) و VO_{2peak} ($R=0/84$) و روش معیار حاصل شد که در مقایسه با ۲ معادله خطی بومی دیگر، حتی از اندازه خطای پیش‌بین کمتر نیز برخوردار بود.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر عدم مداخله تغذیه‌ای آزمودنی‌ها و استفاده از فقط جنسیت پسر از محدودیت‌های تحقیق حاضر بود. باتوجه به اینکه مطالعات محدودی در برآورد غیرورزشی VO_{2peak} در سنین نوجوانی،

آزمون ورزشی از برآورد سطح پایه کارایی دستگاه قلبی-تنفسی پسران با استفاده از معادله بومی زیر جهت ارتقاء برنامه‌ریزی‌های ورزشی و توانبخشی و اطمینان از سلامت افراد بهره گیرند:

داخل و خارج کشور انجام شده است. اعتبار بالای معادلات خطی سه‌گانه برآورد غیرورزشی VO_{2peak} ویژه پسران ۱۳ تا ۱۷ ایرانی با اعتبار بالا می‌تواند به پزشکان، کاردرمان‌ها، پژوهشگران، معلمان و مربیان ورزشی کمک کند که در گام نخست، بدون استفاده از هرگونه

$$VO_{2peak} (mL/kg/min) = 57/617 + 1/0.21 \times \text{سن (سال)} - 1/0.92 \times \text{BMI (kg/m}^2) - 0/0.99 \times \text{Hrrest (bpm)}$$

تعارض منافع

بین نویسندگان هیچ‌گونه تعارضی در منافع وجود ندارد.

منابع مالی

این مطالعه از اعتبار پژوهانه هیئت علمی حوزه معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه بوعلی سینا انجام گرفت.

تقدیر و تشکر

به این وسیله، نویسندگان از کادر مدیریت آموزش و پرورش شهرستان همدان، انجمن اولیاء و مربیان آموزشگاه‌ها و دانش‌آموزانی که در روند اجرای این پروژه همکاری مناسبی داشتند، تشکر می‌نمایند.

References

- Booth FW, Roberts CK, Laye MJ. Lack of exercise is a major cause of chronic diseases. *Compr Physiol*. 2012; 2(2):1143-1211. [DOI:10.1002/cphy.c110025] [PMID] [PMCID]
- Lavie CJ, Arena R, Swift DL, Johannsen, NM, Sui X, Lee DC, Earnest CP. Exercise and the cardiovascular system: clinical science and cardiovascular outcomes. *Circ Res*. 2015; 117(2):207-19. [DOI:10.1161/CIRCRESAHA.117.305205] [PMID] [PMCID]
- Reis JF, Fatela P, Mendonca GV, Vaz JR, Valamatos MJ, Infante J, et al. Tissue Oxygenation in Response to Different Relative Levels of Blood-Flow Restricted Exercise. *Front Physiol*. 2019; 10:407. [DOI:10.3389/fphys.2019.00407] [PMID] [PMCID]
- Kodama S, Saito K, Tanaka S, Maki M, Yachi Y, Asumi M, et al. Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta-analysis. *JAMA*. 2009; 301(19):2024-35. [DOI:10.1001/jama.2009.681] [PMID]
- Prieto-Benavides DH, García-Hermoso A, Izquierdo M, Alonso-Martínez AM, Agostinis-Sobrinho C, Correa-Bautista JE, et al. Cardiorespiratory Fitness Cut-Points are Related to Body Adiposity Parameters in Latin American Adolescents. *Medicina*. 2019; 55(9):508. [DOI:10.3390/medicina55090508] [PMID] [PMCID]
- Rasch-Halvorsen Ø, Hassel E, Langhammer A, Brumpton BM, Steinshamn S. The association between dynamic lung volume and peak oxygen uptake in a healthy general population: the HUNT study. *BMC Pulmon Med*. 2019; 19(1):2. [DOI:10.1186/s12890-018-0762-x] [PMID] [PMCID]
- Poole DC, Jones AM. Measurement of the maximum oxygen uptake VO_{2max} : VO_{2peak} is no longer acceptable. *J App Phys*. 2017; 122(4):997-1002. [DOI:10.1152/jappphysiol.01063.2016] [PMID]
- American College of Sports Medicine, editor. ACSM's health-related physical fitness assessment manual. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2013.
- Cade WT, Bohnert KL, Reeds DN, Peterson LR, Bittel AJ, Bashir A, Byrne BJ, Taylor CL. Peak oxygen uptake (VO_{2peak}) across childhood, adolescence and young adulthood in Barth syndrome: Data from cross-sectional and longitudinal studies. *PloS One*. 2018; 13(5):e0197776. [DOI:10.1371/journal.pone.0197776] [PMID] [PMCID]
- Jurca R, Jackson AS, LaMonte MJ, Morrow JR, Blair SN, Wareham NJ, et al. Assessing cardiorespiratory fitness without performing exercise testing. *America J Prev Med*. 2005; 29(3):185-93. [DOI:10.1016/j.amepre.2005.06.004] [PMID]
- Shenoy S, Tyagi BS, Sandhu JS. Concurrent validity of the non-exercise-based VO_{2max} prediction equation using percentage body fat as a variable in Asian Indian adults. *Sports Med, Arthroscopy, Rehab, Ther Tech*. 2012; 4(1):34. [DOI:10.1186/1758-2555-4-34] [PMID] [PMCID]
- Sartor F, Vernillo G, De Morree HM, Bonomi AG, La Torre A, Kubis HP, Veicsteinas A. Estimation of maximal oxygen uptake via submaximal exercise testing in sports, clinical, and home settings. *Sports Med*. 2013; 43(9):865-73. [DOI:10.1007/s40279-013-0068-3] [PMID]
- St Clair Gibson A, Broomhead S, Lambert MI, Hawley JA. Prediction of maximal oxygen uptake from a 20-m shuttle run as measured directly in runners and squash players. *Journal of Sports Sciences*. 1998 Jan 1; 16(4):331-5. [DOI:10.1080/02640419808559361] [PMID]
- Bradshaw DI, George JD, Hyde A, LaMonte MJ, Vehrs PR, Hager RL, Yanowitz FG. An accurate VO_{2max} nonexercise regression model for 18-65-year-old adults. *Res Quart Exercise Sport*. 2005;

- 76(4):426-32.
[DOI:10.1080/02701367.2005.10599315] [PMID]
15. Schembre SM, Riebe DA. Non-exercise estimation of VO₂max using the international physical activity questionnaire. *Meas Phys Edu Exer Sci*. 2011; 15(3):168-81.
[DOI:10.1080/1091367X.2011.568369] [PMID] [PMCID]
16. George JD, Paul SL, Hyde A, Bradshaw DI, Vehrs PR, Hager RL, Yanowitz FG. Prediction of maximum oxygen uptake using both exercise and non-exercise data. *Meas Phys Edu Exer Sci*. 2009; 13(1):1-2.
[DOI:10.1080/10913670802609086]
17. Rexhepi AM, Brestovci B. Prediction of VO₂max based on age, body mass, and resting heart rate. *Human Mov*. 2014; 15(1):56-9. [DOI:10.2478/humo-2014-0003]
18. Klusiewicz A, Borkowski L, Sitkowski D, Burkhard-Jagodzińska K, Szczepańska B, Ładyga M. Indirect methods of assessing maximal oxygen uptake in Rowers: Practical implications for evaluating physical fitness in a training cycle. *J Human Kinetics*. 2016; 50(1):187-94. [DOI:10.1515/hukin-2015-0155] [PMID] [PMCID]
19. Davis JA. Direct determination of aerobic power. *Phys Assess Human Fit*. 1995:9-17.
20. Ramsbottom R, Brewer J, Williams C. A progressive shuttle run test to estimate maximal oxygen uptake. *British J Sports Med*. 1988; 22(4):141-4. [DOI:10.1136/bjism.22.4.141] [PMID] [PMCID]
21. Kind S, Brighenti-Zogg S, Mundwiler J, Schüpbach U, Leuppi JD, Miedinger D, Dieterle T. Factors Associated with Cardiorespiratory Fitness in a Swiss Working Population. *J Sports Med*. 2019; Article ID: 5317961. [DOI:10.1155/2019/5317961] [PMID] [PMCID]
22. Neto M, de Albuquerque G, Farinatti PD. Non-exercise models for prediction of aerobic fitness and applicability on epidemiological studies: descriptive review and analysis of the studies. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2003; 9(5):304-14. [DOI:10.1590/S1517-86922003000500006]
23. Loe H, Nes BM, Wisløff U. Predicting VO₂peak from submaximal-and peak exercise models: the HUNT 3 fitness study, Norway. *PloS One*. 2016; 11(1):e0144873. [DOI:10.1371/journal.pone.0144873] [PMID] [PMCID]
24. Zhang T, Zhang CF, Jin F, Wang L. Association between genetic factor and physical performance. *Hereditas*. 2004; 26(2):219-26.
25. Hirai T, Kusaka Y, Suganuma N, Seo A, Tobita Y. Work form affects maximum oxygen uptake for one year in workers. *Indust Health*. 2011; 49(3):321-7. [DOI:10.2486/indhealth.MS870] [PMID]
26. Chatterjee S, Chatterjee P. Prediction of maximal oxygen consumption from body mass, height and body surface area. *Indian J Physiol Pharmacol*. 2006; 50(2):181-6.
27. Rao AV, Phadke AV, Patil PB, Joshi AR. Comparison of non-exercise test and step test in estimation of aerobic capacity (VO₂max) in young adults. *National J Phys Pharm Pharmac*. 2014; 4(3):218. [DOI:10.5455/njppp.2014.4.150420141]
28. Bonen A, Heyward VH, Cureton KJ, Boileau RA, Massey BH. Prediction of maximal oxygen uptake in boys, ages 7-15 years. *Med Sci Sport*. 1979; 11(1):24-9.
29. Verma SS, Gupta RK, Kishore N, Sen GJ. A simple relationship between maximal aerobic power and body weight in Indian adolescent boys. *India J Med Sci*. 1986; 40(4):93.
30. Erdmann LD, Hensley LD, Dolgener FA, Graham RE. Nonexercise Prediction of VO₂peak in Middle School-Age Boys. *Meas Phys Educ Exer Sci*. 1999; 3(1):37-50. [DOI:10.1207/s15327841mpee0301_3]
31. Haycock GB, Schwartz GJ, Wisotsky DH. Geometric method for measuring body surface area: a height-weight formula validated in infants, children, and adults. *J Ped*. 1978; 93(1):62-6. [DOI:10.1016/S0022-3476(78)80601-5]
32. Hinkle DE, Wiersma W, Jurs SG. Applied statistics for the behavioral sciences. Massachusetts: Houghton Mifflin; 2003.
33. Montgomery DC, Peck EA, Vining GG. Introduction to linear regression analysis. Washington D.C.: John Wiley & Sons; 2012.
34. Kind S, Brighenti-Zogg S, Mundwiler J, Schüpbach U, Leuppi JD, Miedinger D, Dieterle T. Factors Associated with Cardiorespiratory Fitness in a Swiss Working Population. *J Sport Med*. 2019; Article ID: 5317961. [DOI:10.1155/2019/5317961] [PMID] [PMCID]
35. Dagan SS, Segev S, Novikov I, Dankner R. Waist circumference vs body mass index in association with cardiorespiratory fitness in healthy men and women: a cross sectional analysis of 403 subjects. *Nut J*. 2013; 12(1):12. [DOI:10.1186/1475-2891-12-12] [PMID] [PMCID]
36. Schantz P, Eriksson JS, Rosdahl H. The heart rate method for estimating oxygen uptake: analyses of reproducibility using a range of heart rates from commuter walking. *Eur J App Phys*. 2019; 119(11-12):2655-71. [DOI:10.1007/s00421-019-04236-0] [PMID] [PMCID]
37. Salehi S, Poursaeid Esfahani M, Hassabi M. Determine the estimated validity of Vo₂max based on the formula in the female athlete and non-athlete. *Res Med*. 2020; 44(1): 326-30.
38. Wei Z, Chen L, Hou X, van Zijl PC, Xu J, Lu H. Age-related alterations in brain perfusion, venous oxygenation, and oxygen metabolic rate of mice: a 17-month longitudinal MRI study. *Front Neurol*. 2020; 11. [DOI:10.3389/fneur.2020.00559] [PMID] [PMCID]
39. Fleg JL, Morrell CH, Bos AG, Brant LJ, Talbot LA, Wright JG, Lakatta EG. Accelerated longitudinal decline of aerobic capacity in healthy older adults. *Circul*. 2005; 112(5):674-82.

- [DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.105.545459] [PMID]
40. Castillo-Garzón MJ, Ruiz JR, Ortega FB, Gutiérrez A. Anti-aging therapy through fitness enhancement. *Clin Intervent Age.* 2006; 1(3):213. [DOI:10.2147/ciia.2006.1.3.213] [PMID] [PMCID]
 41. Dwyer GB, Davis MD. ACSM's health related physical fitness manual. New Jersey: Lippincott Williams & Wilkins; 2008.
 42. Solway S, Brooks D, Lacasse Y, Thomas S. A qualitative systematic overview of the measurement properties of functional walk tests used in the cardiorespiratory domain. *Chest.* 2001; 119(1):256-70. [DOI:10.1378/chest.119.1.256] [PMID]
 43. Mackenzie B. Performance evaluation tests. London: Electric World Plc. 2005; 24(25):57-158.
 44. Boreham C, Twisk J, Neville C, Savage M, Murray L, Gallagher A. Associations between physical fitness and activity patterns during adolescence and cardiovascular risk factors in young adulthood: the Northern Ireland Young Hearts Project. *Int J Sports Med.* 2002; 23(S1):22-6. [DOI:10.1055/s-2002-28457] [PMID]
 45. Anderssen SA, Cooper AR, Riddoch C, Sardinha LB, Harro M, Brage S, Andersen LB. Low cardiorespiratory fitness is a strong predictor for clustering of cardiovascular disease risk factors in children independent of country, age and sex. *Europ J Cardiovasc Prev Rehab.* 2007; 14(4):526-31. [DOI:10.1097/HJR.0b013e328011efc1] [PMID]
 46. Wasserman K. Diagnosing cardiovascular and lung pathophysiology from exercise gas exchange. *Chest.* 1997; 112(4):1091-101. [DOI:10.1378/chest.112.4.1091] [PMID]
 47. Sloan RA, Haaland BA, Leung C, Padmanabhan U, Koh HC, Zee A. Cross-validation of a non-exercise measure for cardiorespiratory fitness in Singaporean adults. *Singapore Med J.* 2013; 54(10):576-80. [DOI:10.11622/smedj.2013186] [PMID]
 48. Sharma M, Kamal R, Chawla K. Correlation of body composition to aerobic capacity; A cross sectional study. *Int J App Res.* 2016; 2(1):38-42.
 49. Wier LT, Jackson AS, Ayers GW, Arenare B. Nonexercise models for estimating VO2max with waist girth, percent fat, or BMI. *Med Sci Sports Exer.* 2006; 38(3):555-61. [DOI:10.1249/01.mss.0000193561.64152] [PMID]
 50. Hale T. Exercise physiology: a thematic approach. New Jersey: John Wiley & Sons; 2005.
 51. Menezes Júnior FJ, Jesus ÍC, Leite N. Predictive equations of maximum oxygen consumption by shuttle run test in children and adolescents: A systematic review. *Revista Paulista de Pediatria.* 2019; 37(2). [DOI:10.1590/1984-0462/2019;37;2;00016] [PMID] [PMCID]
 52. Armstrong N, Barker AR. Oxygen uptake kinetics in children and adolescents: a review. *Pediat Exer Sci.* 2009; 21(2):130-47. [DOI:10.1123/pes.21.2.130] [PMID]
 53. Nazem F, Saki S, Jalili M. Validation of Francis Step Protocol by Respiratory Gases Analyses and Design Native Equation to Estimate Aerobic Capacity in Iranian Boys. *Knowledge Health.* 2017; 12(1):66-72.
 54. Uth N, Sørensen H, Overgaard K, Pedersen PK. Estimation of $\dot{V}O_{2max}$ from the ratio between HR max and HR rest-the Heart Rate Ratio Method. *Euro J App Phys.* 2005; 91(1):111-5. [DOI:10.1007/s00421-003-0988-y] [PMID]
 55. Narang N, Thibodeau JT, Levine BD, Gore MO, Ayers CR, Lange RA, et al. Inaccuracy of estimated resting oxygen uptake in the clinical setting. *Circul.* 2014; 129(2):203-10. [DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.113.003334] [PMID]
 56. Tonelli AR, Wang XF, Abbay A, Zhang Q, Ramos J, McCarthy K. Can we better estimate resting oxygen consumption by incorporating arterial blood gases and spirometric determinations? *Respir Care.* 2015; 60(4):517-25. [DOI:10.4187/respcare.03555] [PMID] [PMCID]
 57. Shephard RJ, Weese CH, Merriman JE. Prediction of maximal oxygen intake from anthropometric data. *Int J App Phys Inc Occ Phys.* 1971; 29(2):119-30. [DOI:10.1007/BF00698022] [PMID]