رابطه اکسیژن مصرفی ذخیره با ضربان قلب ذخیره و درک از تلاش در دختران و پسران ۱۰ تا ۱۷ ساله سالم

رستم علیزاده[۱]✉، دکتر خسرو ابراهیم[۲]، دکتر سجاد احمدی زاد[۳]، دکتر فریبرز هوانلو[۳]

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزش- دانشگاه شهید بهشتی

۲. استاد فیزیولوژی ورزشی- دانشگاه شهید بهشتی

۳. دانشیار فیزیولوژی ورزشی - دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ دریافت مقاله:۹۲/۶/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۱۱/۲۵

چکیده

هدف تحقیق حاضر مطالعه رابطه ٪VO_2Rبا ٪HRR و ٪RPE در افراد ۱۰ تا ۱۷ ساله سالم بود. تعداد ۹۶ کودک و نوجوان سالم (انحراف معیار ± میانگین، سن ۲/۲±۱۳/۵ سال، قد ۱۲/۴±۱۵۳/۶ سانتیمتر، وزن ۱۳/۱±۴۸/۶ کیلوگرم) به طور داوطلبانه در این تحقیق شرکت کردند. آزمودنی‌ها دو جلسه به آزمایشگاه مراجعه نمودند. در جلسه اول اندازه گیری VO_2rest، HRrest، ارزیابی ترکیب بدنی و آشناسازی با آزمون انجام شد و در جلسه دوم آزمودنی‌ها پروتکل رمپ را بر روی دستگاه تردمیل اجرا کردند. برای هر آزمودنی از داده‌های بدست آمده از حالت استراحتی، میانگین ۳۰ ثانیه ای و حداکثر مقدار متغیرهای VO_2، HR و RPE دو رگرسیون خطی (٪VO_2R با ٪HRR و ٪RPE) برای محاسبه شیب خط و مقدار ثابت استفاده گردید. میانگین و انحراف استاندارد مقدار ثابت و شیب خط برای هر کدام از دو روش با توجه به مطالعات قبلی نسبت به خط مبنا (y = x) سنجیده شدند (شیب خط نسبت به یک و مقدار ثابت نسبت به صفر). نتایج آزمون همبستگی نشان داد که بین ٪VO_2R با ٪HRR (p= ۰/۰۰۱، r=۰/۹۷) و ٪RPE (p= ۰/۰۰۱، r=۰/۹۲) ارتباط مثبت معنی داری وجود دارد، که این همبستگی برای ٪VO_2Rبا ٪HRR در پسران ۹۶ و در دختران ۹۸ صدم و برای ٪VO_2Rبا ٪RPE در پسران ۹۰ و در دختران ۹۵ صدم بود. جنسیت و سن باعث تفاوت معنی دار خط رگرسیونی ٪VO_2R - ٪HRR با خط مبنا می‌شوند. جنسیت بر رابطه خط رگرسیونی ٪VO_2R - ٪RPE با خط مبنا تأثیر دارد و سن زمانی تأثیر دارد که بر اساس جنسیت تعدیل شود. بر اساس یافته های تحقیق حاضر می‌توان نتیجه گیری نمود که در کودکان و نوجوانان علیرغم دقت بالای ٪RPE، ٪HRR نسبت به ٪RPE پیش بینی دقیق‌تری از ٪VO_2R دارد و می‌توان برای تجویز و پایش شدت فعالیت ورزشی از هر دوی آن‌ها استفاده نمود. ضمناً دقت این پیش بینی‌ها در دختران بیشتر از پسران می‌باشد.

کلید واژه‌ها: حد اکثر اکسیژن مصرفی، اکسیژن مصرفی ذخیره، کودکان و نوجوانان، دختران و پسران شدت فعالیت

Relationship of VO_2reserve with heart rate reserve and rating of perceived exertion in 10-17 years healthy girls and boys

Abstract

The aim of this study was to investigate the effects of gender and age on relationship between VO_2 Reserve (%VO_2R) with heart rate reserve (%HRR) and rating of perceived exertion (%RPE) in 10-17 years healthy individuals. Ninety six healthy children and adolescents (Mean±SD, age, 13.5±2.2 years; height, 153.6±12.4 cm; weight, 48.6±13.1 kg) were voluntarily participated in this study. Subjects attended the laboratory in two separate sessions. At the first session resting oxygen consumption (VO_2rest), resting HR (HR rest), assessment of body composition and familiarization with testing protocol were carried out and in the second session all subjects performed a graded treadmill ramp protocol. For each subject, resting data, mean of 30 s measurements and maximal VO_2, HR and RPE were used to determine two types of linear regression (%VO_2R vs. %HRR and %VO_2R vs. %RPE) and to calculate slopes and intercepts. Mean and standard error for slope and intercept were calculated and compared with the line of identity (y = x, slope_1, intercept_0). The results showed that there are positive and significant correlations between VO_2R% with HRR% (r=0.97) and RPE% (r=0.92). The correlations between VO_2R and HRR were 96% and 98% in boys and girls, respectively; while between VO_2R and RPE were 90% and 95% in boys and girls, respectively. Gender and age result in significant differences in linear regression for ٪VO_2R-٪HRR in relation to line of identity. Gender has a significant effect on the linear regression relationship for VO_2R-%RPE; and age has an effect when the data are adjusted based on the gender. Based on the findings of the present study it could be concluded that in spite of high accuracy for RPE%, in children and adolescents, %HRR compared to RPE% provides more accurate prediction of %VO2R and that both of these variables can be used to prescribe and monitor exercise intensity. The RPE scale is also can be used slightly less accurate than %VO2R to prescribe and monitor exercise intensity. Meanwhile, the precision of these predictions are more accurate in girls than boys.

Key words: Maximal oxygen consumption, VO_2 Reserve, children and adolescents, girls and boys, exercise intensity

✉ **نویسنده مسئول:** رستم علیزاده، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده تربیت بدنی. ۰۹۳۵۳۳۹۹۹۵۴

آدرس پست الکترونیکی: abdanan_sport@yahoo.com

مقدمه

اصول تجویز فعالیت ورزشی به ویژه از منظر شدت تمرین طی قرن‌ها فعالیت بدنی و آماده‌سازی ورزشکاران توسعه یافته و در چند دهه گذشته با انجام پژوهش‌های علمی بازنگری شده است. بسیاری از موارد، دستورالعمل‌های تجویز تمرینات بیشتر بر درصد VO_{2max}تمرکز داشته‌اند، اما برخی تحقیقات نشان داده‌اند که محدودیت‌هایی در استفاده از VO_2 برای تجویز تمرین وجود دارد، به همین دلیل در تجویز تمرینات از ضربان قلب که مبتنی بر تحقیقات تجربی بود، استفاده کرده‌اند (۱) .با این حال، برخی مطالعات نشان داده‌اند که تمامی مقادیر HRmax٪ که برای VO_{2max}٪ گزارش شده‌اند، از آنچه که ACSM توصیه کرده بود، به میزان قابل ملاحظه‌ای بالاتر است (۲) به همین دلیل استفاده از HRR[1] پیشنهاد شد چون HRR به خاطر در نظر گرفتن HR استراحت بر خلاف HRmax حجم کاری تمرین را دقیق‌تر نشان می‌دهد و نتایج تحقیقی نیز نشان داده‌اند که VO_{2max} با HRR ارتباط بیشتری دارد تا HRmax. در مقابل سوین و همکاران (۱۹۹۷) دو جنبه از کاربرد HRR را برای تجویز تمرینات مورد سؤال قرار دادند، اول اینکه تحقیق اصلی کارونن[2] و همکاران (۱۹۷۵) از اطلاعات VO_2 برای طراحی معادله استفاده نکرده بودند و دوم، این که این مطالعه تنها شش آزمودنی داشت و همبستگی بین درصدهای HRR و VO_{2max} از لحاظ آماری معنی‌دار نبودند (۱, ۳). بر اساس نتایج بدست آمده از مطالعه سوین و لئوتولز[3] (۱۹۹۷) استفاده از VO_2R (تفاوت بین VO_{2max} و VO_2 استراحتی) برای افزایش صحت در تجویز تمرینات پیشنهاد شده است، چون در تحقیقات آن‌ها HRR با VO_2R در مقایسه با VO_{2max} ارتباط بیشتری داشت. در سال ۱۹۹۸ این روش جدید مورد قبول ACSM واقع شد و از آن زمان به عنوان بهترین روش تجویز فعالیت معرفی گردید. به هر حال درک کامل رابطه بین VO_2R و HR در گروه های مختلف از لحاظ سن و جنس مهم می‌باشد.

با بررسی پیشینه تحقیق مشخص شد که هیچ کدام از تحقیقات قبلی بحث جنسیت و سن را به طور کامل ارزیابی نکرده‌اند و نتایج آن‌ها مربوط به افراد مبتلا به بیماری انسداد مزمن ریوی (۴)، افراد چاق (۵, ۶)، کودکان و نوجوانان (۷)، مردان فعال (۸) و دوچرخه سواران نخبه (۹) است. در تنها تحقیقی که آزمودنی آن افراد ۱۰ الی ۱۷ ساله بود، گزارش شده است که HRR به VO_{2max} نزدیک‌تر است تا VO_2R. یکی از مسائل مهم روش‌شناسی تحقیقات به پروتکل‌های اندازه‌گیری بر می‌گردد. با بررسی دقیق موضوع مشخص شد که هوی و چان (۲۰۰۶) در تحقیق خود از پروتکل تناوبی استفاده کرده بودند. از طرفی میرز[4] و همکاران (۱۹۹۱) گزارش کرده بودند که اگرچه پاسخ‌های همودینامیک به رمپ و پروتکل‌های تناوبی مشابه بودند، اما تفاوت‌های چشمگیری در میزان تبادل گاز در طول کار زیر بیشینه و VO_2max دریافتی وجود دارد. نسبت VO_2 به میزان کار در پروتکل‌های رمپ در مقایسه با پروتکل‌های تناوبی به دلیل بالا رفتن بیشتر میزان کار بزرگتر است. آن‌ها همچنین تعیین کردند که تفاوت بین VO_2 پیش بینی شده و ارزیابی شده، در کمترین حد بود (۱۰). بنابراین، نوع پروتکل فعالیت فزاینده در آزمون ، این توانایی را دارد تا رابطه VO_2R و HR تحت تأثیر قرار دهد. از طرفی با توجه به مسئله بلوغ و اثرات هورمون‌های جنسی تصور اینکه افزایش تولید این هورمون‌ها می‌تواند بر آمادگی فیزیولوژیک و اجرا در حین بلوغ مؤثر باشد، دور از ذهن نیست. به علاوه این تغییرات باید بین افراد در دامنه های سنی مختلف متفاوت باشد. در گروه های سنی مختلف، تفاوت‌های فیزیولوژیکی دیگری نیز در سیستم گردش خون، حجم ضربه ای، ضربان قلب (۱۱)، سطح هموگلوبین و ذخایر گلیکوژنی (۱۲)، تعریق و تفاوت در تنظیم حرارت (۱۳)، فرآورده های خستگی زا (۱۴)وجود دارد. این تفاوت‌ها در مقدار VO_2، HR و درک از تلاش موثر است. بر این اساس با توجه به این که الگوی رشد و بلوغ در جوامع مختلف متفاوت است، اجرای تحقیقی به منظور بررسی رابطه VO_2R٪ با HRR٪ و RPE٪ در دوره کودکی تا اواخر نوجوانی ضروری به نظر می‌رسد. همچنین بر اساس متون علمی تفاوت‌های معنی داری در شاخص‌های کارکرد هوازی در مردان و زنان بزرگسال وجود دارد، این گونه تفاوت‌های وابسته به جنسیت در آمادگی هوازی در آزمودنی‌های نوجوان نیز مشاهده شده است (۱۲)، بعلاوه به دلیل تفاوت‌های وابسته به جنسیت در ترکیب بدن و سایر عوامل فیزیولوژیکی (۱۵) لزوم تحقیقات بیشتر و بررسی تأثیر جنسیت بر رابطه VO_2R٪ با HRR٪ و RPE٪ ضروری است.

از طرفی برای تجویز برنامه تمرینی بهینه، ایمن و موثر، باید این شاخص‌ها مستقیماً و جداگانه در هر گروه سنی و

با توجه به جنسیت بررسی شوند. به دلیل اینکه ارزیابی VO_{2max}، در نهایت VO_2R آزمایشگاهی، پرهزینه و آزمونی بسیار سخت برای کودکان می‌باشد، باید از روش‌های دیگر که دارای قابلیت اجرا در اماکن مختلف، اعتبار و روایی، ایمنی بالا، هزینه مناسب باشد، استفاده نمود. بنابراین، برای تجویز فعالیت ورزشی و کنترل شدت آن بهتر است که VO_2R را به سایر شاخص‌های فیزیولوژیکی ساده‌تر (نظیر HRR و RPE) که قابلیت اجرا و کنترل بیشتری دارند، تبدیل نمود. بنابراین، تحقیق حاضر با سه هدف زیر طراحی گردید: ۱- رابطه بین VO_2R٪ با HRR٪ و RPE٪ در افراد ۱۰ الی ۱۷ ساله را بررسی نماید، ۲- تأثیر جنسیت بر رابطه بین VO_2R٪ با HRR٪ و RPE٪ در افراد ۱۰ الی ۱۷ ساله را تعیین نماید و ۳- تأثیر سن بر رابطه بین VO_2R٪ با HRR٪ و RPE٪ در افراد ۱۰ الی ۱۷ ساله را بررسی نماید.

آزمودنی‌ها:

در این تحقیق پس از اطلاع رسانی از طریق مدارس و باشگاه های ورزشی به دانش آموزان دختر و پسر ۱۰ الی ۱۷ ساله شهرهای تهران و البرز تعداد ۹۶ نفر (۴۸ دختر و ۴۸ پسر) در سه رده سنی ۱۰ تا ۱۲ سال، ۱۳ و ۱۴ سال و ۱۵ تا ۱۷ سال که شرایط لازم از جمله سلامت جسمانی داشته باشند به عنوان نمونه های تحقیق به طور داوطلب شرکت کردند. برای بررسی اثر جنسیت آزمودنی‌ها به دو گروه دختر (۴۸ نفر) و پسر (۴۸ نفر) تقسیم شدند و همچنین برای بررسی اثر سن آزمودنی‌ها به سه رده سنی ۱۰ تا ۱۲ سال، ۱۳ و ۱۴ سال و ۱۵ تا ۱۷ سال در هر دو جنس (جمعاً شش گروه) تقسیم شدند.

آزمودنی‌ها پس از اطلاع کامل از نحوه اجرای تحقیق و خطرات و مشکلات احتمالی آن، رضایت خود (یا والدین آن‌ها) را برای شرکت در تحقیق اعلام کردند. از آزمودنی‌ها خواسته شد که در طول تحقیق در هیچ برنامه فعالیت بدنی شرکت نکنند و ۲۴ ساعت قبل از شروع آزمون‌های ورزشی، از فعالیت بدنی شدید و یا مصرف مواد غذایی حاوی کافئین خودداری کنند. آزمودنی‌ها دو جلسه به آزمایشگاه مراجعه نمودند. ابتدا VO_2 استراحتی اندازه گیری، سپس قد، وزن و اندازه‌گیری‌های آنتروپومتری انجام شد و در نهایت با پروتکل حداکثر اکسیژن مصرفی (رمپ) و دستگاه آشنا می‌شدند. آزمودنی‌ها در جلسه دوم مراجعه به آزمایشگاه به اجرای پروتکل نوارگردان می‌پرداختند.

اندازه گیری VO_2 استراحتی

تمام آزمون‌ها در فاصله زمانی بین ساعت ۱۰ الی ۱۲ در دمای ۱±۲۱ درجه سانتی‌گراد برگزار شدند. آزمودنی بعد از ورود به محیط آزمایشگاه به مدت ۲۰ دقیقه در محیطی آرام و راحت استراحت می‌کرد، سپس با استفاده از دستگاه ارگواسپیرومتری (Cortex, Metalyzer 3B-R2, Germany) به مدت ۲۰ دقیقه به ارزیابی VO_2 استراحتی پرداخته شد. میانگین VO_2، HR (ضربان سنج دیجیتالی مدل Custo - Med ساخت کشور آلمان) در ۵ دقیقه آخر دوره ۲۰ دقیقه‌ای اندازه گیری شد (۸). در جلسه آشنایی و از ۴۸ ساعت قبل از آزمون نکات لازم جهت حصول نتیجه واقعی در تعیین VO_2 استراحتی از جمله موارد زیر را به آزمودنی یادآوری می‌شد: ۱) ۴ الی ۶ ساعت روزه داری قبل از ارزیابی برای اجتناب از اثرات ترموژنیک غذا، ۲) اجتناب از مصرف قهوه، الکل، نیکوتین، و یا هر محرک دیگر برای

جدول ۱. ویژگی‌های عمومی آزمودنی‌ها

متغیر / گروه	قد (سانتی متر)	وزن (کیلوگرم)	توده بدون چربی (کیلوگرم)	درصد چربی	BMI (Kg/m^2)
پسر ۱۰ تا ۱۲	۱۴۲ ± ۷/۲	۳۴/۱ ± ۷/۱	۲۹/۹ ± ۵/۹	۱۲/۶ ± ۲/۷	۱۶/۸ ±۲/۳
پسر ۱۳ و ۱۴	۱۵۳ ± ۷/۴	۴۵/۶ ± ۷/۲	۳۹/۱ ± ۵/۵	۱۴/۱ ± ۴/۳	۱۹/۳ ±۲/۲
پسر ۱۵ تا ۱۷	۱۶۸ ± ۷/۱	۵۷/۴ ± ۷/۹	۴۹/۷ ± ۵/۶	۱۳/۱ ± ۵/۶	۲۰/۳ ±۲/۱
دختر ۱۰ تا ۱۲	۱۴۶ ± ۱۰/۵	۴۶/۸ ± ۵/۷	۳۷/۳ ± ۴/۲	۲۰/۰۰ ± ۲/۳	۲۱/۸ ±۱/۵
دختر ۱۳ و ۱۴	۱۴۹ ± ۱۱/۱	۴۸/۵ ± ۸/۲	۳۷/۴ ± ۴/۵	۲۲/۱ ± ۶/۳	۲۱/۵ ±۲/۵
دختر ۱۵ تا ۱۷	۱۶۰ ± ۷/۱	۵۵/۱ ± ۸/۶	۴۲/۵ ± ۵/۷	۲۲/۷ ± ۲/۸	۲۱/۲ ±۲/۲

حداقل ۲۴ ساعت قبل از آزمون و ۳) محدود کردن فعالیت‌های بدنی به مدت حداقل ۲۴ ساعت.

پروتکل تعیین حداکثر اکسیژن مصرفی (VO_{2max})

برای تعیین VO_{2max} بر روی تردمیل از پروتکل رمپ[5] استفاده شد و همه آزمودنی‌ها قبل از اجرای پروتکل با نحوه آزمون و کار با آن آشنا شده و از آن‌ها خواسته شد تا زمان رسیدن به حالت واماندگی آزمون مورد نظر را ادامه دهند. برای تعیین سرعت شروع و میزان افزایش تدریجی پروتکل با استفاده از پرسشنامه آمادگی قلبی - عروقی و آزمایش و خطا، بر اساس توانایی آزمودنی‌ها از هر گروه سنی (با توجه به جنسیت) ۶ نفر مورد آزمایش قرار گرفت (مطالعه آزمایشی، Pilot study). آزمودنی‌ها در روز آزمون به آزمایشگاه مراجعه و ابتدا به مدت ۱۰ دقیقه به حرکات کششی و نرمشی جهت گرم کردن می‌پرداختند، سپس برای کاهش استرس به مدت ۲ دقیقه روی تردمیل قرار می‌گرفتند و بعد از آن پروتکل اصلی را با شیب یک درصد اجرا می‌نمودند (۱۶). بر اساس نتایج حاصل از مطالعه آزمایشی، سرعت اولیه برای شروع ۳۰ درصد سرعت نهایی و برای افزایش تدریجی در هر دقیقه، سرعت اولیه از سرعت نهایی کم و بر ۱۰ تقسیم گردید (۱۷). آزمودنی‌ها فعالیت را تا حد واماندگی انجام می‌دادند و در تمامی مراحل با استفاده از دستگاه تجزیه و تحلیل گازهای تنفسی اکسیژن مصرفی اندازه گیری شد و ضربان قلب نیز ثبت گردید. بر اساس شکل ۱، هر یک دقیقه طی آزمون درک از تلاش تعیین و ثبت گردید. برای اطمینان از رسیدن آزمودنی‌ها به حداکثر اکسیژن مصرفی حداقل دو مورد از شرایط زیر در نظر گرفته می‌شد: ۱) نمودار اکسیژن مصرفی با وجود افزایش میزان بار به حالت یکنواختی برسد، ۲) نسبت تبادل تنفسی (R) معادل۱/۱۵، ۳) ضربان قلب معادل ۹۵ درصد ضربان قلب بیشینه و ۴) اعلام واماندگی از سوی آزمودنی با توجه به شاخص ۱۰ نقطه ای درک از تلاش.

روش آماری:

داده های حالت استراحت، میانگین هر ۳۰ ثانیه و بیشترین مقدار به دست آمده در طول آزمون را از طریق فرمول‌های زیر

$$\%\mathbf{VO2R} = (\text{Current VO2} - \text{resting VO2})/(\text{VO2peak} - \text{resting VO2}) \times 100\%.$$

$$\%\mathbf{VO2peak} = (\text{Current VO2}/\text{VO2peak}) \times 100\%.$$

$$\%\mathbf{HRR} = (\text{Current HR} - \text{resting HR})/(\text{HRmax} - \text{resting HR}) \times 100\%.$$

$$\%\mathbf{HRmax} = (\text{Current HR}/\text{HRmax}) \times 100\%.$$

تبدیل VO_2Peak٪ و HRmax٪ ،HRR٪ ،VO_2R٪ به و سپس برای هر فرد دو رگرسیون خطی (یک: VO_2R٪ - ٪, HRR دو: VO_2R٪ با RPE٪) انجام شد. میانگین و انحراف استاندارد مقدار ثابت و شیب خط برای هر کدام از دو روش فوق محاسبه و با توجه به مطالعات قبلی نسبت به خط x = y با استفاده از آزمون مقایسه میانگین یک جامعه سنجیده شدند، همچنین برای ارزیابی اثرات رشد و تأثیر سن از

شکل۱. نمره گذاری درک از تلاش (۱۸)

آزمون آنالیز واریانس یک طرفه با آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده گردید. داده‌ها بوسیله نرم افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ در سطح معناداری $P \leq ۰/۰۵$ تجزیه و تحلیل شدند. با استفاده از نرم افزار Excel 2007 درصدهای متناظر با VO_2R محاسبه و درصد اختلاف بین VO_2R با HRmax، HRR و RPE از طریق فرمول زیر محاسبه گردید.

$$\text{Percent Error} = (VO2R - x)/VO2R \times 100$$

نتایج:

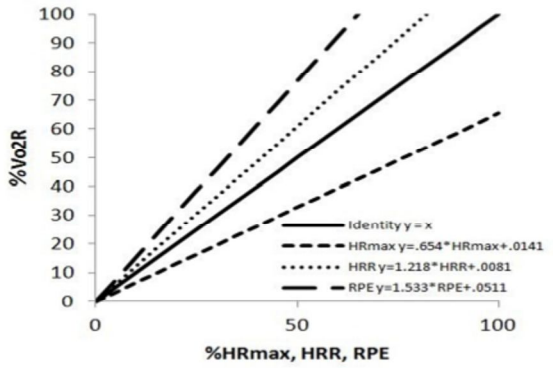
داده‌های آنتروپومتریکی و فیزیولوژیکی به صورت میانگین ± انحراف استاندارد در جدول ۲ آورده شده است.

نتایج آزمون همبستگی نشان داد (جدول۳، نمودار۱) که بین VO_2R٪ با HRR٪ (r=۰/۹۷ ،p= ۰/۰۰۱) ٪ RPE(p= ۰/۰۰۱ ،r=۰/۹۲) و HRmax٪ (p= ۰/۰۰۱ ،r=۰/۹۵) ارتباط مثبت معنی داری وجود دارد. میانگین و انحراف استاندارد مقدار ثابت و شیب خط برای VO_2R٪ با HRR٪، RPE٪ و HRmax٪ نسبت به خط مبنا تفاوت معنی دار وجود دارد (p = ۰/۰۰۱).

همان طور که در جدول شماره ۳ مشاهده می‌شود HRR، RPE و HRmax به ترتیب با ۱۶، ۳۳ و ۵۳ درصد خطا VO_2R را پیش بینی می‌کنند. با توجه به درصدهای پیشنهادی ACSM در سال ۲۰۱۳ (۱۹) به فعالیتی که کمتر از ۴۰ درصد VO_2R باشد فعالیت سبک، بین ۴۰ تا ۶۰ درصد VO_2R را فعالیت متوسط و بیشتر از ۶۰ درصد را فعالیت شدید گویند. در تحقیق حاضر بر حسب HRR، فعالیتی که کمتر از ۳۲ درصد HRR باشد، فعالیتی سبک محسوب می‌شود (بین ۳۳ تا ۵۶ متوسط و بیشتر از ۵۷، شدید) همچنین به فعالیتی که در مقیاس ۱۰ مرحله‌ای درک از تلاش کمتر از ۲/۵ باشد، فعالیتی سبک است (بین ۲/۶ تا ۴/۵، متوسط و بالاتر از ۴/۶، شدید).

جدول ۳. درصدهای HRR، RPE و HRmax معادل با درصدهای مشخص شده VO_2R در آزمودنی‌ها بدون توجه به جنسیت و سن (همبستگی=r و درصد خطا در پیش‌بینی=PE)

شدت فعالیت	همه آزمودنی‌ها			
	HRmx٪	RPE٪	HRR٪	VO_2R٪
r	٪۹۵	٪۹۲	٪۹۷	
PE	- ۵۳	۳۳	۱۶	
پایین	۴۶	۲۰	۲۵	۳۰
متوسط	۶۱	۲۶	۳۳	۴۰
	۹۲	۳۹	۴۹	۶۰
بالا	۱۰۷	۴۶	۵۷	۷۰
	۱۳۰	۵۵	۷۰	۸۵



نمودار ۱. خط رگرسیونی مربوط به VO_2R٪ با HRR٪، RPE٪ و HRmax٪ در آزمودنی‌ها بدون توجه به جنسیت و سن

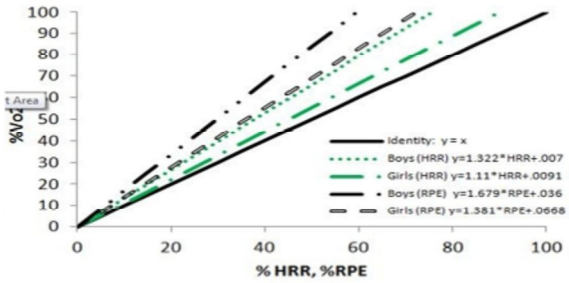
با توجه به جدول ۴ در پسران و دختران بین VO_2R٪ با HRR٪، RPE٪ ارتباط مثبت معنی داری وجود دارد. همچنین میانگین و انحراف استاندارد مقدار ثابت و شیب خط VO_2R٪ با HRR٪ و RPE٪ نسبت به خط مبنا تفاوت معنی‌داری وجود دارد (p = ۰/۰۰۱).

جدول ۲. میانگین (± انحراف استاندارد) داده‌های فیزیولوژیکی آزمودنی‌ها

متغیر / گروه	VO_{2max} ml/kg/min	HRmax b/min	Vo2rest ml/kg/min	HRrest b/min
پسر ۱۰ تا ۱۲	۴۴/۱ ±۵/۱	۲۰۰/۱ ±۹/۸	۶/۵ ±۱/۷	۷۹/۱ ±۷/۵
پسر ۱۳ و ۱۴	۴۳/۵ ±۸/۵	۱۹۲/۹ ±۱۲/۷	۵/۲ ±۱	۷۴/۳ ±۷/۳
پسر ۱۵ تا ۱۷	۵۲/۶۲ ±۷	۲۰۱/۱ ±۸/۱	۴/۸ ±۰/۷	۷۴ ±۸/۲
دختر ۱۰ تا ۱۲	۳۴ ±۸	۱۹۸ ±۱۲/۲	۴/۹ ±۰/۷	۹۳ ±۱۵/۱
دختر ۱۳ و ۱۴	۳۷/۲ ±۷/۱	۱۹۷/۴ ±۱۱/۷	۴/۷ ±۰/۷	۸۹/۸ ±۹/۳
دختر ۱۵ تا ۱۷	۳۳/۵ ±۴/۸	۱۸۷/۵ ±۳۰/۴	۴/۵ ±۰/۸	۸۶/۵ ±۱۱

جدول ۴. مقدار درصدهای HRR و RPE معادل با درصدهای مشخص شده VO_2R در پسران و دختران ۱۰ الی ۱۷ ساله (همبستگی=r و درصد خطا در پیش‌بینی=PE)

شدت فعالیت	RPE٪		HRR٪		VO_2R٪
	دختر	پسر	دختر	پسر	
	٪۹۵	٪۹۰	٪۹۸	٪۹۶	r
	۲۶	۴۰	۱۰	۲۳	P E
پایین	۲۲	۱۸	۲۷	۲۳	۳۰
متوسط	۲۹	۲۴	۳۶	۳۰	۴۰
	۴۳	۳۶	۵۴	۴۵	۶۰
بالا	۵۴	۴۲	۶۳	۵۳	۷۰
	۶۲	۵۱	۷۷	۶۴	۸۵



نمودار ۲. خط رگرسیونی مربوط به VO_2R٪ با HRR٪ و RPE٪ در پسران و دختران ۱۰ الی ۱۷ ساله.

با توجه به جدول شماره ۴ و نمودار شماره ۲، دختران نسبت به پسران درصد خطای پیش بینی کمتری در HRR (۱۰ و ۲۳ درصد به ترتیب) و RPE (۲۶ و ۴۰ درصد به ترتیب) دارند.

با توجه به نتایج آزمون آنالیز واریانس یک طرفه و آزمون تعقیبی بونفرونی، خط رگرسیونی HRR-VO2R نسبت به خط مبنا بین گروه‌های سنی در مقدار ثابت (F=۵/۷۶ ،P=۰/۰۰۴) و شیب خط (F=۸/۳۷ ،P=۰/۰۰۱) تفاوت معنی دار وجود دارد اما در خط رگرسیونی VO_2R - RPE نسبت به خط مبنا در مقدار ثابت (P=۰/۲۸، F=۱/۲۸) و شیب خط (P=۰/۳، F=۱/۲۰) تفاوت معنی‌دار مشاهده نگردید، البته زمانی که بر اساس جنسیت تعدیل گردید تفاوت معنی‌دار مشاهده شد (مقدار ثابت P=۰/۰۰۱، F=۲۸/۱۲ و شیب خط P=۰/۰۰۱، F=۲۳/۹۷).

با توجه به جدول شماره ۵ بیشترین کاهش در خطای پیش بینی بر حسب HRR و RPE در دختران و پسران، بین دو مرحله اول (یعنی ۱۳ و ۱۴ سالگی نسبت به ۱۰ تا ۱۲ سالگی) رخ می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری:

نتایج تحقیق حاضر نشان داد هر چند بین VO_2R٪ با HRR٪ همبستگی بالایی وجود دارد (r = ٪۹۷)، اما خط رگرسیونی حاصل نسبت به خط مبنا در افراد ۱۰ تا ۱۷ ساله تفاوت معناداری دارد به طوری که HRR با ۱۶ درصد خطا VO_2R را کمتر از مقدار واقعی پیش بینی می‌کند، که با نتایج (۱, ۶, ۹) همخوانی دارد و با نتایج برخی دیگر (۷, ۲۰, ۲۱) در تضاد است. لازم به ذکر است در تمام تحقیقات انجام شده از آزمودنی‌های بزرگسال استفاده کرده بودند (بجز تحقیق هوی و چان ۲۰۰۶). در تحقیق هوی و چان از پروتکل تناوبی استفاده شده است، در صورتی که در تحقیق

جدول ۵. مقدار درصدهای HRR و RPE معادل با درصدهای مشخص شده VO_2R در پسران و دختران ۱۰ الی۱۲ ساله، ۱۳ و ۱۴ سال، ۱۵ تا ۱۷ ساله (همبستگی=r و درصد خطا در پیش‌بینی=PE)

شدت فعالیت	دختر ۱۰ تا ۱۷ ساله						پسر ۱۰ تا ۱۷ ساله					
	دختر۱۵ تا ۱۷		دختر۱۳ و۱۴		دختر ۱۰ تا۱۲		پسر۱۵ تا۱۷		پسر ۱۳ و۱۴		پسر ۱۰ تا ۱۲	
	RPE٪	HRR٪	RPE٪	HRR٪	RPE٪	HRR٪	RPE٪	HRR٪	RPE٪	HRR٪	RPE٪	HRR٪
	٪۹۵	٪۹۷	٪۹۶	٪۹۷	٪۹۶	٪۹۹	٪۹۱	٪۹۸	٪۸۸	٪۹۶	٪۸۹	٪۹۴
	۲۸	۷	۲۵	۴	۲۶	۱۶	۴۰	۱۷	۳۷	۱۸	۴۳	۳۳
پایین	۲۱	۲۸	۲۲	۲۹	۲۲	۲۵	۱۸	۲۵	۱۸	۲۴	۱۷	۲۰
متوسط	۳۲	۳۷	۳۰	۳۸	۲۹	۳۴	۲۴	۳۳	۲۵	۳۳	۲۳	۲۷
	۴۲	۵۵	۴۵	۵۷	۴۳	۵۰	۳۶	۴۹	۳۷	۴۹	۳۴	۴۰
بالا	۴۹	۶۴	۵۲	۶۷	۵۱	۵۹	۴۲	۵۷	۴۳	۵۷	۴۰	۴۶
	۶۰	۷۸	۶۳	۸۱	۶۱	۷۱	۵۱	۷۰	۵۲	۶۹	۴۹	۵۶

حاضر از پروتکل رمپ استفاده گردید تا تمام مراحل به تدریج اعمال گردد و آزمودنی با فشار غیر قابل تحمل و افزایش ناگهانی در HR مواجه نگردد، و همچنین احتمال خاتمه آزمون قبل از مدت تقریبی آن توسط فرد در شدت‌های کاری بالاتر در تحقیق حاضر کمتر می‌باشد. در پروتکل رمپ VO2 دقیق‌تر می‌باشد و از تغییرات ناگهانی HR جلوگیری می‌نماید که در نهایت داده‌ها قابل اعتمادتر خواهند بود. همچنین در سایر تحقیقات تناوبی از داده های حالت استراحت (حداکثر ۴ مرحله) و مقدار حداکثری (جمعاً ۶ داده) برای تعیین خط رگرسیونی هر فرد استفاده کرده‌اند که این مقدار داده برای تعیین خط رگرسیون بسیار کم و احتمال خطا در آن زیاد می‌باشد در صورتی که در تحقیق حاضر از داده های میانگین هر ۳۰ ثانیه استفاده شده است (برای هر فرد حداقل ۱۹ داده) که به نسبت خط رگرسیونی دقیق‌تری را نشان می‌دهد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد با وجود همبستگی بالا بین٪ VO_2R با٪ RPE (r = ٪۹۱)، خط رگرسیونی حاصل نسبت به خط مبنا در افراد ۱۰ تا ۱۷ ساله تفاوت معنی داری دارد به طوری که درصد RPE نسبت به VO_2R به میزان ۳۳ درصد کمتر می‌باشد. از آنجایی که بر اساس دانش ما تاکنون در هیچ‌کدام از تحقیقات قبلی به رابطه سنجی بین ٪VO_2R با ٪RPE پرداخته نشده است امکان مقایسه نتایج تحقیق حاضر با سایر تحقیقات نیست.

در این تحقیق مشخص شد که رابطه بین ٪VO_2R با ٪HRR و ٪VO_2R با٪ RPE تحت تأثیر جنسیت قرار می‌گیرد. در دختران ۱۰ تا ۱۷ ساله HRR با ۱۰ درصد خطا در پیش بینی، مقدار VO_2R را کمتر نشان می‌دهد در صورتی که این مقدار در پسران ۲۳ درصد خطا در پیش بینی می‌باشد. همچنین در دختران RPE نسبت به VO_2R به میزان ۲۶ درصد کمتر می‌باشد و این مقدار در پسران ۴۰ درصد می‌باشد. با توجه به تفاوت در میزان آمادگی جسمانی و تاثیر مقدار حداکثر اکسیژن مصرفی، با محاسبه خطای نسبی مشخص گردید که ۳۴درصد از مقدار اختلاف (درصد خطا) به خاطر تفاوت در میزان حداکثر اکسیژن مصرفی می باشد. از طرفی گزارش شده است که اندازه گیریVO_2 استراحتی می‌تواند تا ۳۵ درصد باعث اختلاف در رابطه بین ٪VO_2R با ٪HRR شود که در این تحقیق برخلاف خیلی از تحقیقات دیگر هر ۵ شرط لازم برای اندازه گیری دقیق VO_2استراحتی رعایت شده است و این درصد خطا نمی‌تواند ناشی از خطا در اندازه گیری VO_2 استراحتی باشد. یکی دیگر از عوامل اثر گذار درجه حرارت می‌باشد، چون اگر افزایش یابد در این حالت HR افزایش و VO_2بدون تغییر باقی می‌ماند. در این تحقیق همه آزمون‌ها در دمای بین ۲۰ تا ۲۲ درجه انجام شده است و با شرایط استاندارد مطابقت دارد. در بعضی تحقیقات از شدت فعالیت زیر بیشینه استفاده شده است در صورتی که در این تحقیق، فعالیت فزاینده بود. در این شرایط چندین مکانیسم فیزیولوژیکی باعث افزایش VO_2 می‌شوند (فعال سازی گروه‌های عضلانی بیشتر، فعالیت بیشتر عضلات تنفسی، به‌کارگیری تارهای نوع ۲ بیشتر، افزایش دمای عضله، افزایش سطح لاکتات خون) و در نهایت با افزایش VO_2 کاهش حجم ضربه‌ای و افزایش HR را خواهیم داشت.

به نظر می‌رسد تأثیر هورمون‌های جنسی یکی از عوامل اصلی تفاوت در دختران و پسران ۱۰ تا ۱۷ ساله باشد، قبل از سن بلوغ، زمانی که آثار هورمون‌های جنسی وجود ندارد، تفاوت‌های جنسی اندک است. اما با شروع دوران بلوغ در دختران استروژن آثار گوناگونی بر دستگاه عصبی مرکزی اعمال می‌کند. تغییر مقادیر استروژن با عملکرد شناختی و خلق و خو ارتباط دارد. احتمالاً مهمترین اثر استروژن تغییر فعالیت سروتونین است که آستانه درک از تلاش را تغییر می‌دهد. تغییرات ناشی از استروژن در انگیزه و پایدار بودن آن در فعالیت ورزشی در دهه دوم زندگی را می‌توان به کاهش عملکرد بدنی نسبت داد که طی این سال‌ها در دختران مشاهده می‌شود. به نحوی که استروژن باعث افزایش تجمع چربی، کاهش عملکرد بدنی و فعالیت عادتی می‌شود. استروژن تأثیر زیادی بر دقت عمل زنان دارد و این هورمون باعث می‌شود که زنان در کارهایی که توسط بخش پیشانی مغز کنترل می‌شود و نیاز به دقت دارد، از مردان موفق‌تر عمل کنند (۲۲). از طرفی با شروع بلوغ در پسران شاهد افزایش میزان تستوسترون همراه با احساس شادی و شعف هستیم. تستوسترون با سنتز پروتئین عضلانی، افزایش اندازه و قدرت عضله، تحریک آثار آنابولیکی در سلول عضلانی و تسهیل انتقال عصبی– عضلانی و آثار شناختی آندروژن‌ها باعث فعالیت در شدت بالاتر می‌شود. شاید جنبه روانی این عوامل موجب شود تا پسران انتظار عملکرد بهتری از خود داشته باشند و نتوانند میزان دقیق شدت فعالیت را گزارش نمایند.

در تحقیق حاضر مشخص شد که رابطه بین٪ VO_2R

با٪ HRR و٪ VO_2R با٪ RPE تحت تأثیر سن قرار می‌گیرد. به نظر می‌رسد تفاوت در سنین ۱۰ تا ۱۷ سالگی به خاطر افزایش اندازه بدن به ویژه ابعاد قلب، ریه‌ها، عضلات و دستگاه گردش خون باشد. با توجه به معادله فیک عامل اصلی تفاوت در سنین رشد افزایش حجم ضربه ای (افزایش پیوسته دیاستول بطن چپ با افزایش سن) می‌باشد. در تحقیق حاضر بیشترین کاهش در درصد خطای پیش بینی بین سن ۱۳ و۱۴ سالگی نسبت به ۱۰ تا ۱۲ سالگی مشاهده شد. به نظر می‌رسد به خاطر جهش در افزایش حجم عضلانی بین این دو رده سنی باشد، در همین راستا گزارش شده است هر چه حجم توده عضلانی کمتر باشد دقت رابطه نیز کمتر است (۲۳) و در تحقیق حاضر کمترین مقدار مربوط به گروه پسران ۱۰ تا ۱۲ سال بود که بیشترین درصد اختلاف هم مربوط به این گروه است.

مهمترین نتیجه ای که در این تحقیق بدست آمد مربوط به ثابت ماندن مقدار درصد خطا بود. در تحقیقات گذشته که بر روی افراد بزرگسال انجام شده بود خطای بین درصد٪VO_2R با٪HRR و٪HRmax به تدریج کمتر شده است، زیرا این درصدها به ۱۰۰ نزدیک می‌شوند. در واقع شدت نقش تعدیل کنندگی بر رابطه‌ها نداشته است که این موضوع در کودکان و نوجوانان نیاز به بررسی بیشتر دارد.

به طور کلی از آنجایی که ACSM در سال ۲۰۱۰ مقیاس RPE را برای آزمون‌های ورزشی و تجویز نسخه‌های ورزشی به طور ویژه توصیه کرده است، دقت و تکرارپذیری در پیش بینی شدت فعالیت به خصوص زمانی که با گروه های خاص بسیار مهم می‌باشد. در همین راستا گزارش شده است که کودکان برای هر درصد معینی از HR نسبت به نوجوانان و بزرگسالان تمایل به درک از تلاش کمتری دارند(۲۴). به طور کلی سطح رشد شناختی، مهارت و تجربه قبلی بیشترین تأثیر بر توان به‌کارگیری مقیاس RPE نسبت به سن تقویمی دارد (۲۴, ۲۵).

نتیجه گیری کلی: بر اساس یافته های تحقیق حاضر می‌توان نتیجه گیری نمود که در کودکان و نوجوانان علیرغم دقت بالای ٪RPE، ٪HRR نسبت به ٪RPE پیش بینی دقیق‌تری از ٪VO_2R دارد به طوری که درصد HRR نسبت به VO_2R به میزان ۱۶ درصد کمتر می‌باشد و این مقدار برای RPE به میزان ۳۳ درصد می‌باشد. ضمناً دقت این پیش بینی‌ها در دختران بیشتر از پسران می‌باشد، به طوری که درصد HRR نسبت به VO_2R در دختران ۱۰ و در پسران ۲۳ درصد کمتر می‌باشد همچنین این مقدار برای RPE نسبت به VO_2R در دختران ۲۶ و در پسران ۴۰ درصد کمتر می‌باشد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان بدین وسیله تشکر و قدردانی خود را از آزمودنی‌های این تحقیق که با اشتیاق و به صورت داوطلب شرکت نمودند اعلام می‌دارند.

پی‌نوشت‌ها

1. Heart rate reserve
2. Karvonen
3. Leutholtz BC
4. Myers J
5. Ramp

منابع

1. Swain DP, Leutholtz BC. Heart rate reserve is equivalent to %VO2 reserve, not to %VO2max. Med Sci Sports Exerc. 1997;29(3):410-4.
2. Swain DP, Abernathy KS, Smith CS, Lee SJ, Bunn SA. Target heart rates for the development of cardiorespiratory fitness. Med Sci Sports Exerc. 1994;26(1):112-6.
3. Swain DP, Leutholtz BC, King ME, Haas LA, Branch JD. Relationship between % heart rate reserve and % VO2 reserve in treadmill exercise. Med Sci Sports Exerc. 1998;30(2):318-21.
4. Simmons DN, Berry MJ, Hayes SI, Walschlager SA. The relationship between %HRpeak and %VO2peak in patients with chronic obstructive pulmonary disease. Med Sci Sports Exerc. 2000;32(5):881-6.
5. Byrne NM, Hills A. Relationships between HR and (.)VO(2) in the obese. Med Sci Sports Exerc. 2002;34(9):1419-27.
6. Pinet BM, Prud'homme D, Gallant CA, Boulay P. Exercise intensity prescription in obese individuals. Obesity (Silver Spring, Md). 2008;16(9):2088-95.
7. Hui SS, Chan JW. The relationship between heart rate reserve and oxygen uptake reserve in children and adolescents. Research quarterly for exercise and sport. 2006;77(1):41-9.
8. Cunha FA, Midgley AW, Monteiro WD, Farinatti PT. Influence of cardiopulmonary exercise testing protocol and resting VO(2) assessment on %HR(max), %HRR, %VO(2max) and %VO(2)R relationships. International journal of sports medicine. 2010;31(5):319-26.
9. Lounana J, Campion F, Noakes TD, Medelli J. Relationship between %HRmax, %HR reserve, %VO2max, and %VO2 reserve in elite cyclists.

Med Sci Sports Exerc. 2007;39(2):350-7.
10. Myers J, Buchanan N, Walsh D, Kraemer M, McAuley P, Hamilton-Wessler M, et al. Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. Journal of the American College of Cardiology. 1991;17(6):1334-42.
11. Cyran SE, James FW, Daniels S, Mays W, Shukla R, Kaplan S. Comparison of the cardiac output and stroke volume response to upright exercise in children with valvular and subvalvular aortic stenosis. Journal of the American College of Cardiology. 1988;11(3):651-8.
12. Rowland TW. Promoting physical activity for children's health: rationale and strategies. Sports medicine (Auckland, NZ). 2007;37(11):929-36.
13. Convertino VA, Armstrong LE, Coyle EF, Mack GW, Sawka MN, Senay LC, Jr., et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. Med Sci Sports Exerc. 1996;28(1):i-vii.
14. Ratel S, Duche P, Williams CA. Muscle fatigue during high-intensity exercise in children. Sports medicine (Auckland, NZ). 2006;36(12):1031-65.
15. Dencker M, Thorsson O, Karlsson MK, Linden C, Eiberg S, Wollmer P, et al. Gender differences and determinants of aerobic fitness in children aged 8-11 years. European journal of applied physiology. 2007;99(1):19-26.
16. Myers J, Bellin D. Ramp exercise protocols for clinical and cardiopulmonary exercise testing. Sports medicine (Auckland, NZ). 2000;30(1):23-9.
17. da Silva SC, Monteiro WD, Cunha FA, Myers J, Farinatti PT. Determination of Best Criteria to Determine Final and Initial Speeds within Ramp Exercise Testing Protocols. Pulmonary medicine. 2012;2012:542402.
18. Yelling M, Lamb KL, Swaine IL. Validity of a pictorial perceived exertion scale for effort estimation and effort production during stepping exercise in adolescent children. European Physical Education Review. 2002;8(2):157-75.
19. Thompson PD, Arena R, Riebe D, Pescatello LS. ACSM's new preparticipation health screening recommendations from ACSM's guidelines for exercise testing and prescription, ninth edition. Current sports medicine reports. 2013;12(4):215-7.
20. Carvalho VO, Guimaraes GV, Bocchi EA. The relationship between heart rate reserve and oxygen uptake reserve in heart failure patients on optimized and non-optimized beta-blocker therapy. Clinics (Sao Paulo, Brazil). 2008;63(6):725-30.
21. Mezzani A, Corra U, Giordano A, Cafagna M, Adriano EP, Giannuzzi P. Unreliability of the %VO2 reserve versus %heart rate reserve relationship for aerobic effort relative intensity assessment in chronic heart failure patients on or off beta-blocking therapy. European journal of cardiovascular prevention and rehabilitation : official journal of the European Society of Cardiology, Working Groups on Epidemiology & Prevention and Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology. 2007;14(1):92-8.
22. Faulkner J, Parfitt G, Eston R. Prediction of maximal oxygen uptake from the ratings of perceived exertion and heart rate during a perceptually-regulated sub-maximal exercise test in active and sedentary participants. European journal of applied physiology. 2007;101(3):397-407.
23. Rotstein A, Meckel Y. Estimation of %VO2 reserve from heart rate during arm exercise and running. European journal of applied physiology. 2000;83(6):545-50.
24. Eston RG. Perceived exertion: Recent advances and novel applications in children and adults. Journal of Exercise Science & Fitness. 2009;7(2):S11-S7.
25. Parfitt G, Shepherd P, Eston RG. Reliability of effort production using the children's CALER and BABE perceived exertion scales. J Exerc Sci Fitness. 2007;5:49-55.