

## Validez de las Ecuaciones Predictivas de la Frecuencia Cardíaca Máxima para Niños y Adolescentes

Fabiana Andrade Machado<sup>1</sup> y Benedito Sérgio Denadai<sup>2</sup>

Departamento de Educação Física - Universidade Estadual de Maringá (UEM)<sup>1</sup> - Maringá, PR; Departamento de Educação Física - Universidade Estadual Paulista (UNESP)<sup>2</sup> - Rio-Claro, SP - Brasil

### Resumen

**Fundamento:** Ausencia de estudios en la literatura validando ecuaciones predictivas de la frecuencia cardíaca máxima (FC<sub>máx</sub>) en niños y adolescentes.

**Objetivo:** Analizar la validez de las ecuaciones predictivas de la FC<sub>máx</sub> “220 - edad” y “208 - (0,7 x edad)” en niños con edades entre los 10 y los 16 años.

**Métodos:** Un test progresivo de esfuerzo máximo fue realizado en 69 niños con edades entre los 10 y los 16 años, aparentemente sanos y activos. La velocidad inicial del test fue de 9 km/h con incrementos de 1 km/h a cada tres minutos. El test se mantuvo hasta el agotamiento voluntario, considerando como FC<sub>máx</sub> la mayor frecuencia cardíaca alcanzada durante el test. La FC<sub>máx</sub> medida se comparó con los valores previstos por las ecuaciones “220 - edad” y “208 - (0,7 x edad)” a través de ANOVA, medidas repetidas.

**Resultados:** Los valores promedios de la FC<sub>máx</sub> (lpm) fueron: 200,2 ± 8,0 (medida), 207,4 ± 1,5 (“220 - edad”) y 199,2 ± 1,1 (“208 - (0,7 x edad)”). La FC<sub>máx</sub> de predicción por la ecuación “220 - edad” fue significativamente mayor (p < 0,001) que la FC<sub>máx</sub> medida y que la FC<sub>máx</sub> de predicción por la ecuación (“208 - (0,7 x edad)”). La correlación entre la FC<sub>máx</sub> medida y la edad no fue estadísticamente significativa (r = 0,096; p > 0,05).

**Conclusión:** La ecuación “220 - edad” supervaloró la FC<sub>máx</sub> medida y no se mostró válida para esa población. La ecuación “208 - (0,7 x edad)” fue válida presentando resultados bastante próximos a la FC<sub>máx</sub> medida. Estudios futuros con muestras mayores podrán comprobar si la FC<sub>máx</sub> no depende de la edad para esa población, situación en que el valor constante de 200 lpm sería el más apropiado para la FC<sub>máx</sub>. (Arq Bras Cardiol 2011; 97(2) : 136-140)

**Palabras clave:** Frecuencia cardíaca, niño, adolescente, corazón/fisiología.

### Introducción

La frecuencia cardíaca (FC) está considerada como una variable fisiológica de fácil mensuración, siendo utilizada como rutina para evaluar la respuesta cardiovascular durante el esfuerzo y la recuperación<sup>1,2</sup>. La frecuencia cardíaca máxima (FC<sub>máx</sub>) a su vez, está considerada como uno de los criterios de verificación del esfuerzo máximo en test ergométricos<sup>3,4</sup> y es extensamente utilizada en la prescripción de la intensidad de los ejercicios<sup>4-6</sup>.

La determinación de la FC<sub>máx</sub> puede ser hecha de manera directa, generalmente por medio de protocolos progresivos de esfuerzo máximo, o puede ser hecha indirectamente, con la ayuda de ecuaciones predictivas que constituyen una manera de conseguir el bajo coste y son de fácil aplicación<sup>1,7,8</sup>.

Entre las diversas ecuaciones propuestas para predecir la FC<sub>máx</sub>, la de mayor destaque por ser ampliamente conocida

es la ecuación “220 - edad”<sup>4,9,10</sup>, a la que curiosamente no se le conoce la autoría, a pesar de que muchas veces haya sido citada como siendo su autor Karvonen et al<sup>11</sup>, incluso cuando el trabajo elaborado por esos autores no haya involucrado la elaboración de esa ecuación<sup>7,10,12,13</sup>. Otra ecuación que merece destaque es “208 - (0,7 x edad)” que fue propuesta por Tanaka et al<sup>4</sup>, y desarrollada en un estudio de metanálisis recolectando datos en la literatura de 18.712 sujetos.

La principal característica de esas y de otras fórmulas presentadas para predecir la FC<sub>máx</sub>, es la de que todas consideran que esa variable disminuye con la edad<sup>14</sup>. A pesar de que ese descenso sea un consenso general para hombres y mujeres y adultos sanos, él puede no ser verdadero para niños y adolescentes, e incluso siéndolo, ese descenso debe ser medido para esa población específica, visto que la tasa de descenso de la mayoría de las ecuaciones estuvo determinada para una amplia franja etaria, englobando solamente y en algunos casos, a niños y adolescentes<sup>9,15,16</sup>.

Por tanto, y en razón de la importancia del conocimiento de la FC<sub>máx</sub> para que un niño o adolescente no entrene en una intensidad diferente a la apropiada y planificada, y considerando la inexistencia en la literatura, según nuestro conocimiento, de estudios validando esas dos ecuaciones

**Correspondencia:** Fabiana Andrade Machado •

Av. Colombo, 5790 - Bloco M06 - Depto. Educação Física - Universidade Estadual de Maringá - 87020-900 - Maringá, PR - Brasil  
Email: famachado@uem.br, famachado\_uem@hotmail.com  
Artículo recibido el 09/10/10; revisado recibido el 03/04/11; aceptado el 11/04/11.

predictivas de la FCmáx para esa población, el objetivo de este estudio fue analizar la validez de las ecuaciones predictivas de la FCmáx "220 - edad" y "208 - (0,7 x edad)" en niños con edades entre los 10 y los 16 años.

## Métodos

### Población

Sesenta y nueve niños con edades entre 10 y 16 años, aparentemente sanos y activos, participaron en este estudio. Los valores promedios  $\pm$  desviación estándar (DP) de la edad, estatura y masa corporal fueron: 12,6  $\pm$  1,5 años; 152,7  $\pm$  13,1 cm; 47,3  $\pm$  14,1 kg, respectivamente; la mediana de la edad (intervalo intercuartil), fue de 12,1 años (11,4 - 13,8). La edad se calculó de forma centesimal considerando la fecha de nacimiento y la fecha de realización del test. Ninguno de los participantes estaba en programas sistemáticos de entrenamiento. Todos los procedimientos adoptados fueron previamente aprobados por el Comité de Ética en Investigación Local. La participación fue voluntaria y estuvo exenta de todo tipo de bonos o encargos para los participantes. Antes de iniciar los test, los responsables estuvieron concientes de todos los procedimientos a los que los niños se someterían, y firmaron el Término de Consentimiento Informado referente a su participación en los test.

### Test progresivo de esfuerzo máximo

Antes de la realización del test de esfuerzo en cinta sin fin (o tapiz rodante), los participantes realizaron una visita al laboratorio para una sesión de adaptación al ergómetro y también para la verificación de las medidas antropométricas (masa corporal y estatura). El test progresivo de esfuerzo máximo fue realizado en una cinta sin fin de multiprogramación (Inbrasport Super ATL, Porto Alegre, Brasil). Después del calentamiento inicial de tres minutos a 5 km/h, el test se inició a 9 km/h, con incrementos de 1 km/h a cada tres minutos. Durante todo el test se mantuvo una inclinación constante referente a 1%. La frecuencia cardíaca (FC) fue constantemente monitorizada por medio de un frecuencímetro (Polar Vantage XL). El test se mantuvo hasta el agotamiento voluntario, y a los participantes se les motivó verbalmente para que se mantuvieran haciendo ejercicios durante el mayor tiempo posible. La FCmáx fue definida como la mayor FC alcanzada durante el test<sup>4</sup>, siendo considerada alcanzada (válida), apenas cuando fuesen observadas señales de esfuerzo intenso (hiperpnéa, enrojecimiento facial, descompás en la marcha)<sup>17</sup>.

### Análisis estadístico

Los datos fueron presentados como promedio  $\pm$  desviación estándar (DP), para todas las variables mensuradas. Los métodos se compararon utilizando ANOVA para medidas repetidas con el test *post-hoc* de Bonferroni. La ANOVA *one-way* fue utilizada para comparar la FCmáx medida entre las franjas etarias. El coeficiente de correlación de Pearson fue utilizado tanto para relacionar los valores medidos con los valores de predicción de la FCmáx, como para verificar la relación entre la edad y la FCmáx medida. El análisis de Bland-Altman<sup>18</sup> se usó para calcular los límites de concordancia

entre la FCmáx medida y la predicción por edad. El nivel de significancia adoptado fue de  $p < 0,05$ .

## Resultados

En la tabla 1 aparecen los valores medidos y con predicción de la FCmáx para los niños con edades entre 10 y 16 años. Los valores presentados por la ecuación "220 - edad", fueron significativamente mayores ( $p < 0,001$ ) que los valores medidos y que los valores estimados por la ecuación "208 - (0,7 x edad)", conforme a la ANOVA para medidas repetidas con el test *post-hoc* de Bonferroni. La correlación entre los valores de la FCmáx medida, y los valores de predicción para las dos ecuaciones, no fue estadísticamente significativa ( $p > 0,05$ ) presentando el mismo coeficiente de correlación para ambas ecuaciones ( $r = -0,096$ ).

La figura 1 presenta los valores promedios  $\pm$  DP de la FCmáx medida para las diferentes franjas etarias. ANOVA *one-way* no demostró diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) entre las franjas etarias. La correlación entre los valores de la FCmáx medida y la edad, no fue estadísticamente significativa ( $r = 0,096$ ;  $p > 0,05$ ). Visualmente comprobamos la ausencia de una tendencia al aumento o a la disminución de la FCmáx con la edad. Eso fue corroborado por la correlación entre esas variables, la cual no fue estadísticamente diferente a cero. La variabilidad de la FCmáx para las diversas franjas etarias representada por el DP en la figura 1, tampoco presentó ninguna tendencia a aumentar o disminuir con la edad. También verificamos en la figura 1, los elevados valores de DP encontrados, en que el menor y el mayor DP fue de 5,1 y 9,0 lpm para las franjas etarias entre 13-14 y 14-15 años, respectivamente.

La figura 2 hace referencia al gráfico de dispersión de los valores de la FCmáx medida de la muestra. Destacamos nuevamente la alta dispersión de los datos corroborada por el alto DP presentado en la tabla 1 para la FCmáx medida. También verificamos que los valores de predicción por la ecuación "220 - edad", representados por la línea con trazos, presentan la tendencia de superestimar la FCmáx. A su vez, los valores de predicción por la ecuación "208 - (0,7 x edad)", representados por la línea de puntos, parece que se ajustan mucho mejor al promedio de la FCmáx medida.

El análisis de concordancia entre la FCmáx medida y la predicción por la fórmulas, presentó como sesgo (diferencia entre los promedios)  $\pm$  desviación estándar de las diferencias: 7,1  $\pm$  8,3 lpm ("220 - edad") y -1,1  $\pm$  8,2 lpm ("208 - (0,7 x edad)"). Destacamos el alto sesgo de 7,1 lpm presentado en función de la diferencia entre los promedios de los valores de predicción por la ecuación "220 - edad" y los valores de la FCmáx medida, lo cual conduce a una superestimación de la FCmáx.

**Tabla 1 - Valores de la FCmáx medida y estimada para niños entre los 10 y los 16 años de edad (n = 69)**

FCmáx	Promedio $\pm$ DP
Medida (lpm)	200,2 $\pm$ 8,0*
"208 - (0,7 x edad)" (lpm)	199,2 $\pm$ 1,1*
"220 - edad" (lpm)	207,4 $\pm$ 1,5

$p < 0,001$  con relación a 220 - edad; FCmáx - frecuencia cardíaca máxima.

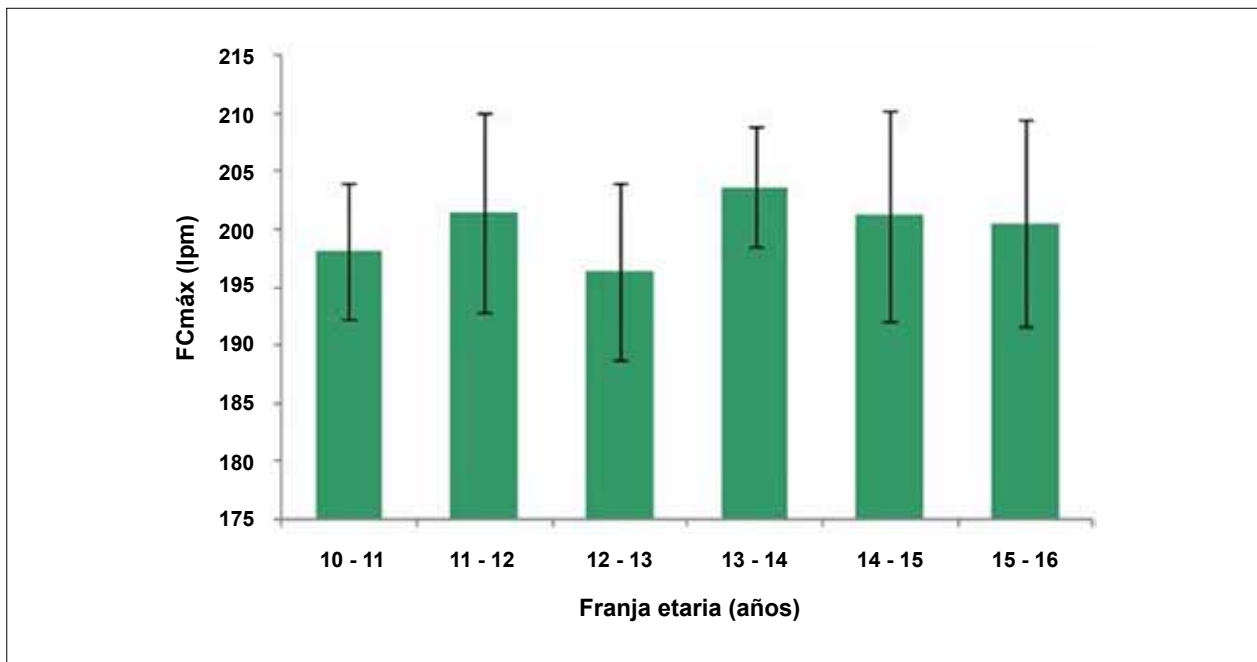


Fig. 1 - Valores promedios  $\pm$  DP de la FCmáx medida para las diferentes franjas etarias ( $n = 69$ ). No hubo diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) entre las franjas etarias.

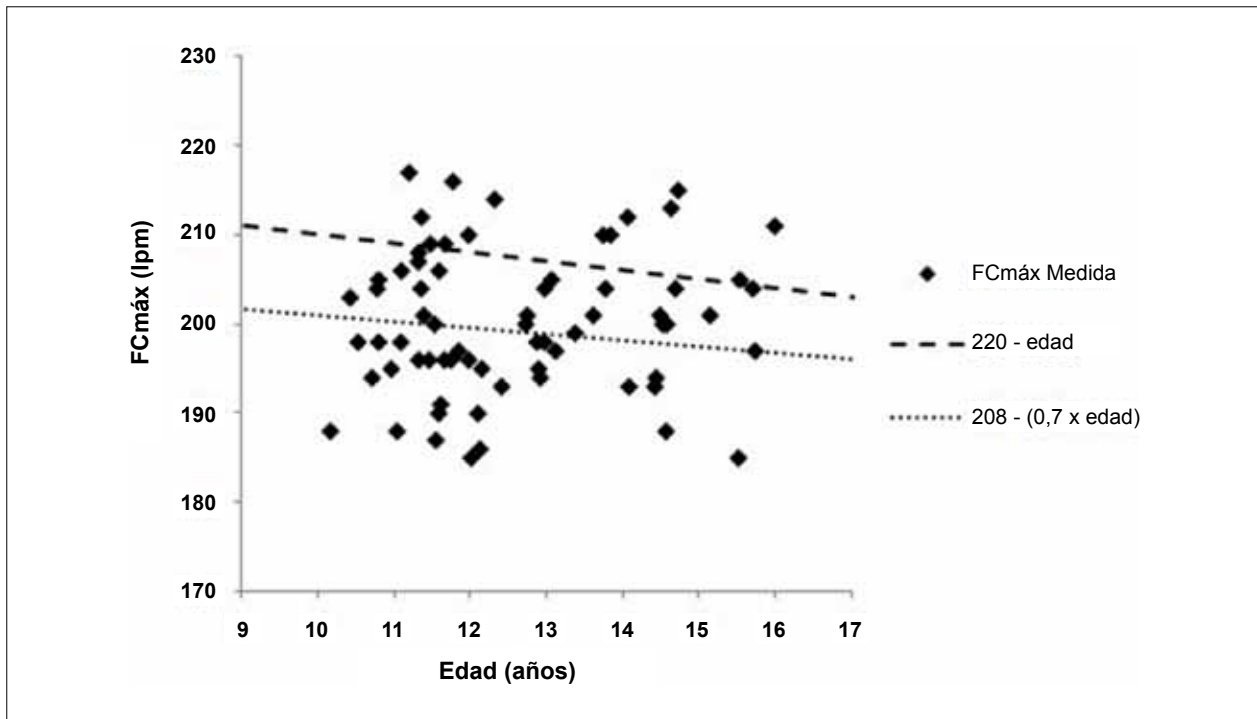


Fig. 2 - Gráfico de dispersión de los valores de la FCmáx medida de los sujetos ( $n = 69$ ). La línea con trazos representa los valores de predicción de la ecuación "220 - edad". La línea de puntos representa los valores de predicción de la ecuación "208 - (0,7 x edad)".

## Discusión

El objetivo de este estudio fue analizar la validez de las ecuaciones predictivas de la FCmáx "220 - edad" y "208 - (0,7 x edad)" en niños con edades entre los 10 y los 16 años. El principal hallazgo fue que la ecuación "220 - edad"

supervaloró en el promedio los valores de la FCmáx, no siendo válida para esa población, y la ecuación "208 - (0,7 x edad)" sí que fue válida para esa población pediátrica. Además, verificamos que la FCmáx fue independiente de la edad para esa población específica, destacando que la muestra estudiada

(n = 69), no permite conclusiones definitivas en cuanto a esa independencia de relación.

De acuerdo con Almeida et al<sup>19</sup>, las ecuaciones predictivas son válidas cuando se aplican en poblaciones con características similares a las de la muestra a partir de la cual la ecuación se generó. Así, y a pesar de su extensa aplicación, la fórmula "220 - edad", necesita muestras para saber dónde se generó, habida cuenta del desconocimiento de su autor y de la franja etaria utilizada para su elaboración. Ya la ecuación "208 - (0,7 x edad)", fue generada por la regresión lineal de 18.712 sujetos especialmente entre las edades de 20 y 70 años.

En la tabla 1 verificamos que el valor promedio de la ecuación "220 - edad" fue significativamente mayor ( $p < 0,001$ ), que los valores medidos y que los valores estimados por la ecuación "208 - (0,7 x edad)". Por tanto, la ecuación "220 - edad" supervaloró, en el promedio, los valores de la FCmáx. Aplicando la ecuación "220 - edad", comprobamos que FCmáx hace una predicción de retroceso lineal de los 210 lpm a los 10 años, para los 204 lpm a los 16 años, supervalorando, a lo largo de la franja etaria de 10 a 16 años, el valor promedio de la FCmáx medida de 200,2 lpm. Esa constatación puede hacerse visualmente en la figura 2. Al contrario de la ecuación "220 - edad", no hubo diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) entre los valores de predicción por la ecuación "208 - (0,7 x edad)" y los valores medidos. Los valores de predicción por la ecuación "208 - (0,7 x edad)" retroceden de 201 lpm a los 10 años, para 196,8 lpm a los 16 años de edad, presentando valores por encima (edad < 11,1 años) y por debajo (edad  $\geq$  11,1 años), del promedio de 200,2 lpm de la FCmáx medida.

Por medio de la figura 1, verificamos que no hubo diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) entre las diversas franjas etarias para la FCmáx medida. Fue un factor de comprobación para esa ausencia de diferencia, el hecho de que la correlación entre la FCmáx medida y la edad no haya sido estadísticamente significativa. Por tanto, por medio de este estudio, no fue posible afirmar que la FCmáx disminuya con la edad para la población aquí estudiada. Y pese a que esa muestra no sea pequeña (n = 69), todavía no permite obtener conclusiones definitivas en cuanto a la ausencia de relación entre la FCmáx y la edad.

Otro punto interesante presentado en los resultados fue la alta variabilidad de la FCmáx para las diversas franjas etarias, variabilidad representada por el DP. Ese elevado DP tampoco presentó ninguna tendencia a aumentar o disminuir con la edad. Tanto en la figura 1 como en la figura

2, se puede verificar ese estándar de un elevado DP para la FCmáx. Remarcamos el hecho de que no solamente la FCmáx medida tuvo un alto DP en el umbral de 8 lpm, sino también que la diferencia entre los promedios (sesgos), de los valores de predicción y los medidos, presentó un DP en ese mismo nivel. Esos valores están a tono con la literatura, que relata una desviación estándar en el umbral de 10 lpm para los valores de predicción de la FCmáx<sup>4,10</sup>. Si analizamos el sesgo y el DP de la diferencia entre los valores de la FCmáx de predicción y los medidos, verificamos un amplio límite de concordancia para un 95% de los casos entre los valores medidos y los predictivos por la ecuación "220 - edad" (-9,5 a 23,7 lpm), y por la ecuación "208 - (0,7 x edad)" (-17,5 a 15,3 lpm), los cuales podrán traer resultados equivocados de hasta +12% y -9%, respectivamente, considerando la FCmáx promedio de 202,2 lpm. Frente a eso, tenemos que la alta variabilidad de la FCmáx aparece como el principal factor limitante para su predicción.

## Conclusión

Sobre la base de esos resultados podemos concluir, que la ecuación "220 - edad" no es válida ni apropiada para niños y adolescentes, porque supervaloró en su promedio, los valores de la FCmáx para niños en la franja etaria de 10 a 16 años. La ecuación "208 - (0,7 x edad)" a su vez, presentó resultados bastante cercanos a la FCmáx medida, y puede ser considerada una ecuación válida para esa población pediátrica. Por añadidura, en el caso de que la FCmáx sea realmente independiente de la edad para niños en esa franja etaria, (lo que casi no podrá ser comprobado en futuros estudios con muestras más extensas), el valor que consta de 200 lpm podrá convertirse en el valor más apropiado para la FCmáx de esa población.

## Potencial Conflicto de Intereses

Declaro no haber conflicto de intereses pertinentes.

## Fuentes de Financiación

El presente estudio no tuvo fuentes de financiación externas.

## Vinculación Académica

No hay vinculación de este estudio a programas de postgrado.

## Referencias

1. American College of Sports Medicine. Diretrizes do ACSM para os testes de esforço e sua prescrição. 6ª. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2003.
2. Almeida MB. Freqüência cardíaca e exercício: uma interpretação baseada em evidências. Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum. 2007;9(2):196-202.
3. Denadai BS, Greco CC. Prescrição do treinamento aeróbico: teoria e prática. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2005.
4. Tanaka H, Monahan KG, Seals DS. Age - predicted maximal heart rate revisited. J Am Coll Cardiol. 2001;37(1):153-6.
5. Pollock ML, Graves JE, Swart DL, Lowenthal DT. Exercise training and prescription for the elderly. South Med J. 1994;87(5):S88-95.
6. Denadai BS. Variabilidade da freqüência cardíaca durante o exercício de carga constante realizado abaixo e acima do limiar anaeróbico. Rev Bras Cien Esporte. 1994;16(1):36-41.

## Artículo Original

7. Fernandes Filho J. A prática da avaliação física, teste, medidas e avaliação em escolares, atletas e academias de ginásticas. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Shape; 2003.
8. Marins JCB, Giannichi RS. Avaliação e prescrição de atividade física – Guia prático. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Shape; 2003.
9. Fernhall B, McCubbin JA, Pitetti, KH, Rintala P, Rimmer JH, Millar AL, et al. Prediction of maximal heart rate in individuals with mental retardation. *Med Sci Sport Exerc.* 2001;33(10):1655-60.
10. Robergs RA, Landwehr R. The surprising history of the "HRmax= 220-age" equation. *JEPonline.* 2002;5(2):1-10.
11. Karvonen MJ, Kentala E, Mustala O. The effects of training on heart rate: a longitudinal study. *Ann Med Exper Fenn.* 1957;35(3):307-15.
12. Barbosa FP, Oliveira HB, Fernandes PR, Fernandes Filho J. Estudo comparativo de equações de estimativa da frequência cardíaca máxima. *Fit & Perform J.* 2004;3(2):108-14.
13. Policarpo FB, Fernandes Filho J. Usar ou não a equação de estimativa (220 – idade)? *Rev Bras Cien Mov.* 2004;12(3):77-9.
14. Tibana RA, Barros E, Silva PB, Silva RAS, Balsamo S, Oliveira AS. Comparação da frequência cardíaca máxima e estimada por diferentes equações. *Brazilian Journal of Biomechanics.* 2009;3(4):359-65.
15. Froelicher VF, Myers JN. *Exercise and the heart.* 4th ed. Philadelphia: W B Saunders; 2000.
16. Lester M, Sheffield LT, Trammel P, Reeves TJ. The effect of age and athletic training on the maximal heart rate during muscular exercise. *Am Heart J.* 1968;76(3):370-6.
17. Armstrong N, Welsman JR. Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. *Exerc Sport Sci Rev.* 1994;22:435-76.
18. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;1(8476):307-10.
19. Almeida JA, Campbell CSG, Pardono E, Sotero RC, Magalhães G, Simões HC. Validade de equações de predição em estimar o VO2max de brasileiros jovens a partir do desempenho em corrida de 1.600m. *Rev Bras Med Esporte.* 2010;16(1):57-60.