

# JEPonline Journal of Exercise Physiologyonline

Official Journal of The American  
Society of Exercise Physiologists (ASEP)

ISSN 1097-9751

An International Electronic Journal

Volume 5 Number 2 May 2002

---

## LA SORPRENDENTE HISTORIA DE LA ECUACIÓN “ $FC_{m\acute{a}x}=220\text{-edad}$ ”

ROBERT A. ROBERGS AND ROBERTO LANDWEHR

Traducción: Ricardo L. Scarfó (PUEF-UNLP)

Exercise Physiology Laboratories, The University of New Mexico, Albuquerque, NM

---

### ABSTRACT

THE SURPRISING HISTORY OF THE “ $HR_{max}=220\text{-age}$ ” EQUATION. **Robert A. Robergs, Roberto Landwehr. JEPonline. 2002;5(2):1-10.** The estimation of maximal heart rate ( $HR_{max}$ ) has been a feature of exercise physiology and related applied sciences since the late 1930's. The estimation of  $HR_{max}$  has been largely based on the formula;  $HR_{max}=220\text{-age}$ . This equation is often presented in textbooks without explanation or citation to original research. In addition, the formula and related concepts are included in most certification exams within sports medicine, exercise physiology, and fitness. Despite the acceptance of this formula, research spanning more than two decades reveals the large error inherent in the estimation of  $HR_{max}$  ( $S_{xy}=7\text{-}11$  b/min). Ironically, inquiry into the history of this formula reveals that it was not developed from original research, but resulted from observation based on data from approximately 11 references consisting of published research or unpublished scientific compilations. Consequently, the formula  $HR_{max}=220\text{-age}$  has no scientific merit for use in exercise physiology and related fields. A brief review of alternate  $HR_{max}$  prediction formula reveals that the majority of age-based univariate prediction equations also have large prediction errors ( $>10$  b/min). Clearly, more research of  $HR_{max}$  needs to be done using a multivariate model, and equations may need to be developed that are population (fitness, health status, age, exercise mode) specific.

Key Words: Cardiovascular function, Estimation, Error, Exercise prescription, Fitness.

### INTRODUCCIÓN

Este manuscrito corto se ha escrito para proveer la visión en la historia de la ecuación de predicción de la frecuencia cardíaca máxima ( $FC_{m\acute{a}x}$ ,  $HR_{max}$ );  $FC_{m\acute{a}x}=220\text{-edad}$ . Sorprendentemente, no hay ningún registro de investigación para esta ecuación. Como se explicará, el origen de la fórmula es una estimación superficial, en base a la observación, de un mejor ajuste lineal a una serie de datos brutos y medios compilados en 1971 (1). Sin embargo, la evidencia del estudio fisiológico de la predicción de la frecuencia cardíaca máxima aparece al menos desde 1938 de la investigación de Sid Robinson (2).

La investigación ya desde 1971 ha revelado el error en la estimación de  $FC_{m\acute{a}x}$ , y ninguna fórmula restante que provea aceptable exactitud de predicción de la  $FC_{m\acute{a}x}$ . Nosotros presentamos la mayoría del formulas que actualmente existen para estimar a la  $FC_{m\acute{a}x}$ , y proveemos recomendaciones sobre cuáles fórmulas usar, y cuándo utilizarlas. Nosotros también suministramos las recomendaciones para la investigación para mejorar nuestro conocimiento de la variabilidad entre los sujetos en la  $FC_{m\acute{a}x}$ .

### LA IMPORTANCIA DE LA FRECUENCIA CARDÍACA MÁXIMA

La frecuencia cardíaca es discutiblemente una medición cardiovascular muy fácil, sobre todo comparado con los procedimientos invasivos o no invasivos usados para estimar el volumen sistólico y el gasto cardíaco. Por consiguiente, la medición de la frecuencia cardíaca se usa para evaluar rutinariamente la respuesta del corazón al ejercicio, o la recuperación del ejercicio, así como también para prescribir las intensidades del ejercicio (3). Dado que el aumento en la frecuencia cardíaca durante el ejercicio refleja el aumento en el gasto cardíaco, la frecuencia cardíaca máxima se interpreta a menudo como el límite superior durante un aumento en la función cardiovascular central. En realidad, la investigación durante los últimos 100 años ha demostrado que la frecuencia cardíaca tiene un valor máximo de hecho (4); uno que no puede superarse a pesar de los aumentos continuados en la intensidad del ejercicio o de las adaptaciones del entrenamiento.

Quizás la aplicación más importante de la respuesta de la frecuencia cardíaca al ejercicio ha sido el uso de la frecuencia cardíaca submáxima, en combinación con la frecuencia cardíaca máxima y de reposo, para estimar el  $VO_{2máx}$ . En muchos casos, la estimación de la frecuencia cardíaca máxima es recomendada usando la fórmula  $FC_{máx}=220$ -edad. En base a esta aplicación, se han usado respuestas de la frecuencia cardíaca al ejercicio para calcular las intensidades del ejercicio, como un porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima ( $\%FC_{máx}$ ) o un porcentaje de la frecuencia cardíaca de reserva ( $\%FC_{res}$ ) (Tabla 1).

**Tabla 1: El uso de la frecuencia cardíaca para estimar intensidades del ejercicio que coinciden con el % del  $VO_{2máx}$ .**

$\%VO_{2máx}$	$\%FC_{máx}$	$\%FC_{res}^{*\wedge}$
40	63	40
50	69	50
60	76	60
70	82	70
80	89	80
90	95	90

\* basado sobre el método de Karvonen ( $FC=FC_{res} +$  ( $\%$  de intensidad) \* ( $FC_{máx} - FC_{res}$ ));

^  $\%FC_{res}$  igual a la fracción de intensidad expresada como %  
Adaptado de Heyward V. (5) y Swain y col. (6)

## HISTORIA DE LA PREDICCIÓN DE LA FRECUENCIA CARDÍACA MAXIMA

Debido a nuestro interés en mejorar la exactitud de la estimación de la frecuencia cardíaca máxima, nosotros hemos intentado investigar el origen de la fórmula  $FC_{máx}=220$ -edad (Tablas 2 y 3). Hasta donde nosotros pudimos determinar de los libros y de la investigación, la primera ecuación para predecir la frecuencia cardíaca máxima fue desarrollada por Robinson en 1938 (2). Sus datos produjeron la ecuación  $FC_{máx}=212-0.77$ (edad), que obviamente difiere de la fórmula ampliamente aceptada de  $FC_{máx}=220$ -edad. Ya que nosotros explicaremos más adelante, hay numerosas ecuaciones de predicción de la  $FC_{máx}$  (Tabla 3), aún es la historia de la ecuación de  $FC_{máx}=220$ -edad lo que es más interesante.

**Tabla 2: La investigación y libros de texto, y las citas usadas o no usadas, que acreditan el origen de la fórmula de  $FC_{máx}=220$ -edad.**

Publicación	Año	Cita
<b>Investigación</b>		
Engels y col.	1998	Fox & Haskell, 1971
O'Toole y col.	1998	ACSM, 1995
Tanaka	2001	Fox & Haskell, 1971
Vandewalle & Havette	1987	Astrand, 1986
Whaley y col.	1992	Froelicher, 1987
<b>Libros de texto</b>		
ACSM	2001	ACSM, 2000
Baechele & Earle	2000	Sin cita
Baumgartner & Jackson	1995	Sin cita
Brooks y col.	2000	Sin cita
Fox y col.	1989	Sin cita
Garret & Kirkendall	2000	Sin cita
Heyward	1997	Sin cita
McArdle, Katch & Katch	1996	Londeree, 1982
McArdle, Katch & Katch	2000	Sin cita
Nieman	1999	Sin cita
Plowman & Smith	1997	Miller y col. 1993
Powers & Howley	1996	Sin cita
Robergs & Roberts	1997	Hagberg y col, 1985
Robergs & Roberts	2000	Sin cita
Roberts y col.	1997	Asmussen, 1959
Rowland	1996	Sin cita
Wasserman y col.	1994	Sin cita
Wilmore & Costill	1999	Sin cita

### La Fórmula: “ $FC_{máx}=220$ -Edad”

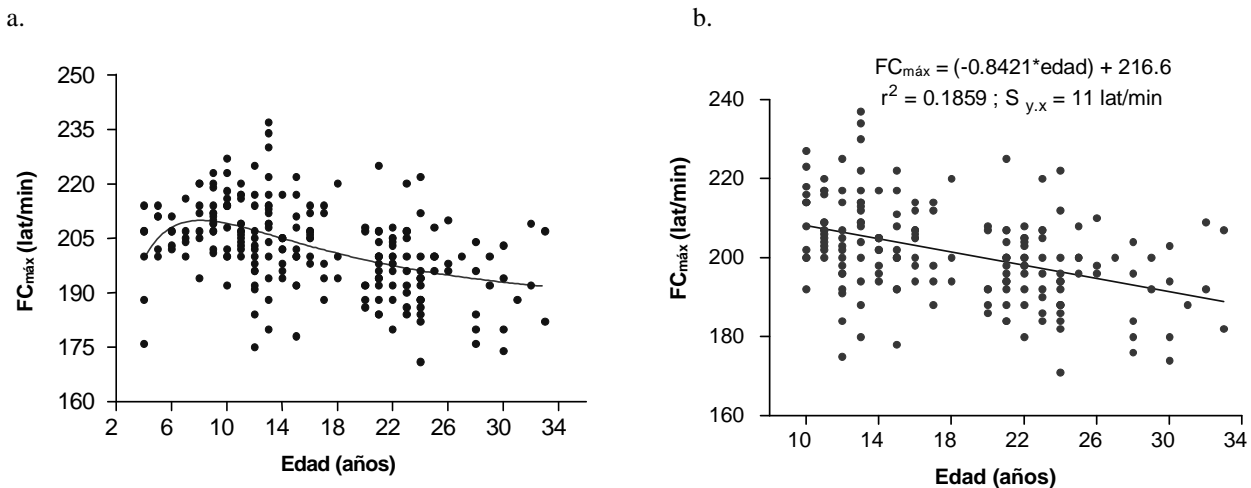
Dentro de los libros de texto, el fallo para citar la investigación original indirectamente con respecto a la fórmula  $FC_{máx}=220$ -edad, afirma una conexión a Karvonen. Esta asociación existe debido a la presentación del libro de texto de la

predicción de la FC<sub>máx</sub> con el concepto de una frecuencia cardíaca de reserva que fue inventada por Karvonen (3). Irónicamente, el estudio de Karvonen no era de frecuencia cardíaca máxima. Para clarificar, el Dr. Karvonen fue contactado en agosto de 2000 y la discusión subsecuente indicó que él nunca publicó la investigación original de esta fórmula, y él recomendó que nosotros investiguemos el trabajo del Dr. Åstrand para encontrar la investigación original.

Otra cita para la fórmula es Åstrand (7). Una vez más, este estudio no se preocupaba por la predicción de la FC<sub>máx</sub>. Nosotros pudimos discutir este tema con el Dr. Åstrand en septiembre de 2000 mientras él estaba en Albuquerque para recibir su *Lifetime Achievement Award* (Premio de Logro Perpetuo) en la Fisiología del Ejercicio de la *American Society of Exercise Physiologists* (Sociedad americana de Fisiólogos del Ejercicio). El Dr. Åstrand declaró que él no publicó ningún dato que derivó esta fórmula. Sin embargo, él comentó que en presentaciones pasadas él había declarado que tal fórmula aparece estrecha a los resultados de la investigación, y sería un método conveniente para usar.

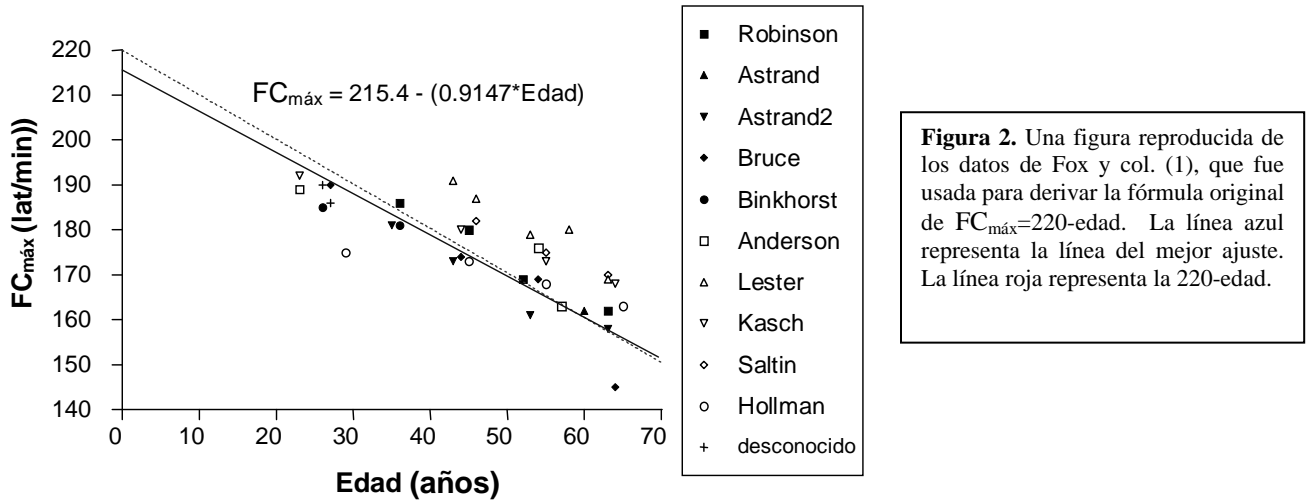
Es interesante observar que, Åstrand publicó los datos originales de la FC<sub>máx</sub> para 225 sujetos (115 varones, 110 mujeres) de 4 a 33 años de edad en uno de sus textos más recientes (8). Los datos son de pruebas de ejercicio a VO<sub>2máx</sub> en cinta ergométrica o en cicloergómetro, sin el conocimiento de las características de los protocolos. Estos datos se presentan en la Figura 1a y b. Cuando los datos usados para las edades >10 años (Figura 1b), hay una correlación significativa (r=0.43), aún el error considerable (S<sub>xy</sub>=11 latidos/min). La fórmula resultante es: FC<sub>máx</sub>= 216.6-0.84(edad). A pesar de la similitud de la ecuación de predicción de FC<sub>máx</sub>=220-edad, el rasgo notable de este conjunto de datos es el error grande de predicción. Es interesante observar que, en otros dos estudios, Åstrand encontró que la disminución promedio en la FC<sub>máx</sub> para las mujeres era de 12 latidos en 21 años (9) y de 19 latidos en 33 años (10). Para los hombres, la disminución en la FC<sub>máx</sub> era de 9 latidos en 21 años (9) y ~26 en 33 años (10). Si la fórmula FC<sub>máx</sub>=220-edad es correcta, la inclinación para el decremento de la FC con la edad creciente sería de 1. Además, los datos de Åstrand indican que la predicción de la FC<sub>máx</sub> desde tal fórmula no debe usarse en niños de 10 años o más jóvenes, ya que la FC<sub>máx</sub> sigue un cambio diferente asociado con la edad para los niños. Además, la probabilidad de que los niños alcancen una verdadera FC<sub>máx</sub> durante la evaluación del ejercicio puede cuestionarse.

**Figura 1:** Los datos de la FC<sub>máx</sub> para a) 225 sujetos, de 4 a 33 años, y b) un subconjunto de los sujetos, de 11 a 33 años, n=196.



Parece ser que la cita correcta para el origen de la FC<sub>máx</sub>=220-edad es Fox y col. (1). Sin embargo, y como fue explicado por Tanaka y col. (11), Fox no derivó esta ecuación de la investigación original. Nosotros evaluamos el manuscrito original de Fox y col. (1) que era una gran revisión de investigación referente a la actividad física y a la enfermedad del corazón. En una sección subtitulada "Intensidad", una figura se muestra que contiene los datos en cuestión, y consisten en aproximadamente 35 puntos de datos. Ningún análisis de regresión se realizó en estos datos, y en la leyenda de la figura los autores declararon esto:

*"...ninguna única línea representaría los datos adecuadamente en la disminución aparente de la frecuencia cardíaca máxima con la edad. La fórmula frecuencia cardíaca máxima=220-edad en años define una línea no lejos de muchos de los puntos de los datos..."*



**Figura 2.** Una figura reproducida de los datos de Fox y col. (1), que fue usada para derivar la fórmula original de  $FC_{m\acute{a}x}=220$ -edad. La línea azul representa la línea del mejor ajuste. La línea roja representa la 220-edad.

Nosotros decidimos reproducir el método usado por Foxy y col. (1), usando los datos originales presentados en su manuscrito. Ya que nosotros no podríamos encontrar todos los manuscritos debido a las citas inexactas, nosotros reprodujimos los datos de la figura y los presentamos en la Figura 2. Nosotros ajustamos una regresión lineal al conjunto de datos y derivamos la siguiente ecuación:  $FC_{m\acute{a}x}=215.4 - 0.9147(edad)$ ,  $r=0.51$ ,  $S_{xy}=21$  lat/min. Así, incluso los datos originales de los que la observación estableció la fórmula de  $FC_{m\acute{a}x}=220$ -edad no sostienen esta ecuación.

### REVISIÓN DE LA INVESTIGACIÓN DE LA FRECUENCIA CARDÍACA MÁXIMA

Nosotros recuperamos de la investigación sobre la  $FC_{m\acute{a}x}$  lo más posible. Ésta fue una tarea desalentadora, ya que la mayoría de la investigación y de los estudios de revisión originales en este tema no suministraron referencias o citas completas de la investigación original sobre este tema. Nosotros encontramos 43 fórmulas de diferentes estudios, y éstos se presentan en la Tabla 3, junto con las estadísticas pertinentes cuando fue posible.

Para verificar si había una tendencia hacia la ecuación de  $FC_{m\acute{a}x}=220$ -edad, nosotros seleccionamos 30 ecuaciones de las presentadas en la Tabla 3 (se excluyeron ecuaciones derivadas de los sujetos no sanos). Las ecuaciones fueron usadas para re-calcular la  $FC_{m\acute{a}x}$  para 20 a 100 años de edad, y una nueva ecuación de regresión fue calculada de los datos (Figura 3). La ecuación de regresión produjo una fórmula de predicción;  $FC_{m\acute{a}x}=208.754-0.734(edad)$ ,  $r=0.93$  y  $S_{xy}=7.2$ , que están muy cerca de las derivadas por Tanaka y col. (11) (Tabla 3).

**Tabla 3.** Las ecuaciones conocidas de predicción invariada para la frecuencia cardíaca máxima.

Estudio	N	Población	Edad Promedio (rango)	Regresión ( $FC_{m\acute{a}x}=\text{---}$ )	$r^2$	$S_{xy}$
<i>Ecuaciones invariadas</i>						
<i>Astrand, en Froelicher (2)</i>	100	Hombres sanos – cicloergómetro	50 (20 - 69)	211-0.922(edad)	N/A	N/A
<i>Brick, en Froelicher (2)</i>	?	Mujeres	N/A	226-edad	N/A	N/A
<i>Bruce (12)</i>	1295	CHD (enfermos coronarios)	52±8	204-1.07	0.13	22
<i>Bruce (12)</i>	2091	Hombres sanos	44±8	210-0.662(edad)	0.19	10
<i>Bruce (12)</i>	1295	Hipertensos	52±8	204-1.07(edad)	0.24	16
<i>Bruce (12)</i>	2091	Hipertensos + CHD	44±8	210-0.662(edad)	0.10	21
<i>Cooper en Froelicher (2)</i>	2535	Hombres sanos	43(11 - 79)	217-0.845(edad)	N/A	N/A
<i>Ellestad en Froelicher (2)</i>	2583	Hombres sanos	42(10-60)	197-0.556(edad)	N/A	N/A
<i>Fernhall (13)</i>	276	Retardo Mental	9-46	189-0.56(edad)	0.09	13.8
<i>Fernhall (13)</i>	296	Hombres y mujeres sanos	N/A	205-0.64(edad)	0.27	9.9
<i>Froelicher (2)</i>	1317	Hombres sanos	38.8(28-54)	207-0.64(edad)	0.18	10
<i>Graettinger (14)</i>	114	Hombres sanos	(19-73)	199-0.63(edad)	0.22	N/A

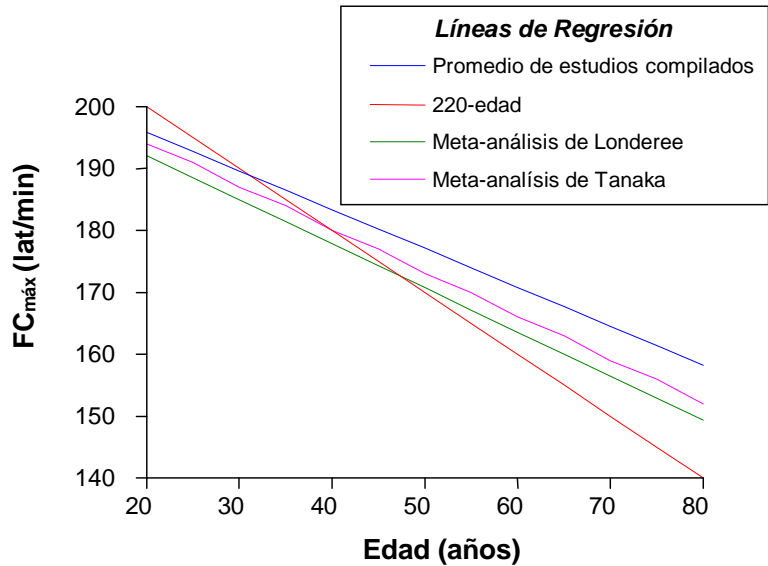
<b>Hammond (15)</b>	156	Enfermos cardíacos	53.9	209-edad	0.09	19
<b>Hossack (16)</b>	104	Mujeres sanas	(20-70)	206-0.597(edad)	0.21	N/A
<b>Hossack (16)</b>	98	Hombres sanos	(20-73)	227-1.067(edad)	0.40	N/A
<b>Inbar (17)</b>	1424	Hombres y mujeres sanos	46.7(20-70)	205.8-.685(edad)	0.45	6.4
<b>Jones (18)</b>	100	Hombres y mujeres sanos - cicloergómetro	(15 – 71)	202-0.72(edad)	0.52	10.3
<b>Jones N/A</b>	?	Hombres y mujeres sanos		210-0.65(edad)	0.04	N/A
<b>Jones (18)</b>	60	Mujeres sanas	(20-49)	201-0.63(edad)		N/A
<b>Lester (19)</b>	48	Hombres y mujeres entrenados		205-0.41(edad)	0.34	N/A
<b>Lester (19)</b>	148	Hombres y mujeres desentrenados	43(15 – 75)	198-0.41(edad)	N/A	N/A
<b>Londeree (20)</b>	?	Atletas de nivel nacional	N/A	206.3-0.711(edad)	0.72	N/A
<b>Miller (21)</b>	89	Hombres y mujeres obesos	42	200-0.48(edad)	0.12	12
<b>Morris, en Froelicher (2)</b>	1388	Enfermos cardíacos	57(21 – 89)	196-0.9(edad)	0.00	N/A
<b>Morris, in Froelicher (2)</b>	244	Hombres sanos	45(20 – 72)	200 -0.72(edad)	0.30	15
<b>Ricard (22)</b>	193	Hombres y mujeres – Cinta ergométrica		209 -0.587(edad)	0.38	9.5
<b>Ricard (22)</b>	193	Hombres y mujeres - cicloergómetro		200 -0.687(edad)	0.44	9.5
<b>Robinson 1938 en Froelicher (2)</b>	92	Hombres sanos	30(6 - 76)	212 -0.775(edad)	0.00	N/A
<b>Rodeheffer (23)</b>	61	Hombres sanos	25 - 79	214-1.02(edad)	0.45	N/A
<b>Schiller 24)</b>	53	Mujeres hispanicas	46(20-75)	213.7-0.75(edad)	0.56	N/A
<b>Schiller (24)</b>	93	Mujeres caucásicas	42(20-75)	207 -0.62(edad)	0.44	N/A
<b>Sheffield (25)</b>	95	Mujeres	39(19 - 69)	216 -0.88(edad)	0.58	N/A
<b>Tanaka (11)</b>	?	Hombres y mujeres sedentarios		211 -0.8(edad)	0.81	N/A
<b>Tanaka (11)</b>	?	Hombres y mujeres activos		207 -0.7(edad)	0.81	N/A
<b>Tanaka (11)</b>	?	Hombres y mujeres entrenados en resistencia		206 -0.7(edad)	0.81	N/A
<b>Tanaka (11)</b>		Hombres y mujeres		208-0.7(edad)	0.81	N/A
<b>Whaley (26)</b>	754	Mujeres	41.3(14-77)	209-0.7(edad)	0.37	10.5
<b>Whaley (26)</b>	1256	Hombres	42.1(14-77)	214-0.8(edad)	0.36	10.7

Tabla 4. Las ecuaciones conocidas de predicción multivariadas para la frecuencia cardíaca máxima.

<i>Estudios y Ecuaciones</i>	<i>r<sup>2</sup></i>
<b>Londeree (20)</b>	
<b>PMHR = 196.7+1.986xC2+5.361xE+1.490xF4+3.730xF3+4.036xF2-00006xA<sup>4</sup>-0.542xA<sup>2</sup></b>	0.77
<b>PMHRI = 199.1+0.119xAEF4+0.112xAE+6.280xEF3+2.468xC2+3.485xF2-.00006xA<sup>4</sup>-0.591xA</b>	0.78
<b>PMHRC = 205-3.574xT1+8.316xE-7.624xF5-.00004xA<sup>4</sup>-0.624xA<sup>2</sup></b>	0.85
<b>PMHRCI = 205-0.116xAEF3-0.223xAF5+0.210xAE+6.876xEF3+2.091xC2-3.310xT1-0.0005xA<sup>4</sup>-0.654xA</b>	0.86
<b>PMHR (National Collegiate Athletes) = 202.8-0.533xA-00006xA<sup>4</sup></b>	0.73

PMHR=frecuencia cardíaca máxima predecida, C=Cross Sectional (transversal), I=interacción; a=A=edad; A<sup>2</sup>=(edad<sup>2</sup>)/1000; C#=continente (si es Europeo, entonces C2=1, sino C2=0); E=ergómetro (si es cinta ergométrica, entonces E=1, si es bicicleta, entonces E=0); F#=nivel de *fitness* (si es sedentario, F2=1, sino F2=0; si es activo, entonces F3=1, sino F3=0, si es entrenado en resistencia, entonces F4=1, sino F4=0; Tipo # =tipo de protocolo de ejercicio (si es continuo e incremental, entonces T1=1, sino T1=0). Múltiples cartas y condiciones de interacción que deben multiplicarse juntos.

Es interesante observar que, Londeree (20) desarrolló una ecuación multivariada que usa las variables edad, edad<sup>2</sup>, edad<sup>4</sup>/1000, la etnicidad, el modo de ejercicio, nivel de actividad, y el tipo de protocolo usado para evaluar la FC (Tabla 4). Sin embargo, ningún resultado estadístico relacionado con aumentos significativos en la explicación de la variación en la FC<sub>máx</sub> que usa un modelo mutivariado fue provisto por los autores. La misma crítica se aplica al estudio de Tanaka y col. (11). Como Zavorsky (27) demostró que el entrenamiento de resistencia disminuye la FC<sub>máx</sub>, y otros han demostrado la especificidad del modo de ejercicio de la FC<sub>máx</sub> (28,29,30), un estudio original de FC<sub>máx</sub> que use variables independientes múltiples está muy retrasado.



**Figura 3.** Las líneas de regresión de datos obtenidos de 220-edad, la media de 30 estudios de la Tabla 3, y el meta análisis de Londeree (28) y Tanaka (47).

Los datos de la investigación de la  $FC_{m\acute{a}x}$  son claros al demostrar el error grande de predicción de la  $FC_{m\acute{a}x}$  que simplemente usa una inclinación y una intercepción "y" cuando la edad es la única variable independiente. Además, los resultados y ecuaciones de regresión necesitan ser reconocidas mientras sean de modo específico (28,29,30). Es desafortunado que la especificidad del modo de las ecuaciones de predicción de la  $FC_{m\acute{a}x}$  no se determina claramente en los libros de texto de fisiología del ejercicio y de prescripción del ejercicio. Finalmente, aún un modelo multivariado de predicción de la  $FC_{m\acute{a}x}$  y la explicación de la variación no reduce el error de predicción de la  $FC_{m\acute{a}x}$ .

**¿Cuál es un Error Aceptable de Predicción de la  $FC_{m\acute{a}x}$ ?**

Dada la precisión de la medición de la FC, el error de medición de la  $FC_{m\acute{a}x}$  es pequeño y atribuible al protocolo del ejercicio y a la motivación del sujeto. Por consiguiente, es probable que la medición de la  $FC_{m\acute{a}x}$  sea exacta hasta el alcance de  $\pm 2$  lat/min, si el sujeto logra de verdad el ejercicio máximo. No obstante, otro factor para considerar es el impacto del error de predicción en la aplicación de la  $FC_{m\acute{a}x}$ . Para la estimación de dos intensidades de ejercicio (Tabla 5), errores de predicción de la  $FC_{m\acute{a}x}$  ( $FC_{m\acute{a}x} - FC_{predicida} = \text{error}$ ) de 2, 4, 6 y 8 lat/min causan un error despreciable. Por ejemplo, una FC de 150 lat/min, que está en el centro del rango "verdadero" de la prescripción de la frecuencia cardíaca, se mantiene dentro de los rangos recomendados de frecuencia cardíaca para todos los ejemplos del error. Sin embargo, como se revela en la Tabla 3, los errores en la estimación de la  $FC_{m\acute{a}x}$  pueden ser más de 11 lat/min. En consecuencia, es probable que las ecuaciones actuales usadas para estimar la  $FC_{m\acute{a}x}$  no sean bastante exactas para prescribir los rangos de la frecuencia cardíaca de entrenamiento para un número grande de individuos.

**Tabla 5. Las estimaciones de error en las intensidades de ejercicio submáximo y de  $VO_{2m\acute{a}x}$  al usar la  $FC_{m\acute{a}x}$  estimada con errores de 2, 4, 6, y 8 lat/min (predicción subestimada de la  $FC_{m\acute{a}x}$ ).**

Intensidad	Valores de FC para errores dados de $FC_{m\acute{a}x}$ (Verdadera-Estimada, lat/min (%))				
	Verdadera	2 (1)	4 (2.1)	6 (3.1)	8 (4.2)
<b>Intensidades de Ejercicio Submáximo</b>					
60-80% $FC_{res}$	135-164	134-162	133-160	132-159	130-157
<b><math>VO_{2m\acute{a}x}</math></b>					
YMCA* (mL/min)	4200	4083	6967	3850	3733
Error (mL/min)	0	117	233	350	467
Error (%)	0	2.8	5.6	8.3	11.11

Los cálculos son en base a una frecuencia cardíaca de reposo de 50 lat/min, para una persona de 25 años de edad con una  $FC_{m\acute{a}x}=192$  lat/min;  $FC_{res}$ = frecuencia cardíaca de reserva; para el protocolo de YMCA, se asumieron frecuencias cardíacas y cargas de trabajo para ser (FC:kgm/min) 90:150, 125:750, 153:1200, respectivamente.

Cuando la predicción de la  $FC_{m\acute{a}x}$  se usa en la estimación del  $VO_{2m\acute{a}x}$ , como lo es en el método de YMCA, puede haber errores considerables en el  $VO_{2m\acute{a}x}$  estimado (Tabla 5). Por ejemplo, cuando la  $FC_{m\acute{a}x}$  es subestimada por 6 lat/min, hay un

error resultante en el  $VO_{2\text{máx}}$  estimado de 350 mL/min. Esto iguala a un error de -8.3%, ó -4.7 mL/kg/min para una persona de 75 kg.

Los datos de la Tabla 5 ayuda en la selección de un error conveniente en la estimación de la  $FC_{\text{máx}}$ . El error puede ser más grande para los propósitos de prescribir rangos de la frecuencia cardíaca de entrenamiento que en la estimación del  $VO_{2\text{máx}}$ . Para los propósitos de prescribir rangos de frecuencia cardíaca de entrenamiento, errores  $\leq 8$  lat/min son probablemente aceptables. Sin embargo, para el  $VO_{2\text{máx}}$ , puede argumentarse que los errores de predicción en la  $FC_{\text{máx}}$  necesitan ser  $< \pm 3$  lat/min.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a esta revisión de investigación y aplicación de lapredicción de la  $FC_{\text{máx}}$ , las siguientes recomendaciones pueden ser hechas;

1. No hay ningún método aceptable actualmente, para estimar la  $FC_{\text{máx}}$ .
2. Si la  $FC_{\text{máx}}$  necesita ser estimada, entonces fórmulas de poblaciones específicas deben usarse. Sin embargo, la ecuación general más exacta es la de Inbar (17) (Tabla 3);  $FC_{\text{máx}}=205.8-0.685(\text{edad})$ . No obstante, el error ( $S_{xy}=6.4$  lat/min) todavía es inaceptablemente grande.
3. Un error aceptable de predicción para la  $FC_{\text{máx}}$  para la aplicación de la estimación del  $VO_{2\text{máx}}$  es  $< \pm 3$  lat/min. Así, para una persona con una  $FC_{\text{máx}}$  de 200 lat/min, el error es igual a  $\pm 1.5\%$ . Si esta precisión no es posible, no hay ninguna justificación entonces para usar métodos de estimación del  $VO_{2\text{máx}}$  que confíe en fórmulas de predicción de  $FC_{\text{máx}}$ .
4. Se necesita realizar investigación adicional que desarrolle ecuaciones de regresión multivariada que mejoren la exactitud de predicción de la  $FC_{\text{máx}}$  para poblaciones específicas, y modos de ejercicio.
5. El uso de la  $FC_{\text{máx}}$  es muy prevaleciente en la industria del fitness, y las personas que trabajan principalmente en estos medios tienen un grado de estudio terminal en ciencias del ejercicio o en campos relacionados. Estos estudiantes o graduados necesitan ser educados bien en estadística para reconocer y entender el concepto de error de predicción, y las consecuencias prácticas de confiar en una ecuación con un error estándar de estimación grande ( $S_{xy}$ ).
6. Los libros de texto en fisiología del ejercicio y prescripción del ejercicio deben incluir contenidos que sean más críticos de la fórmula  $FC_{\text{máx}}=220-\text{edad}$  o formulas similares. Los autores necesitan reforzar la especificidad del modo de la  $FC_{\text{máx}}$ , proveer alternativas, investigar la fórmula comprobada, y expresar todo el contenido de los ítems 1-5, anteriores. Similarmente, el respaldo académico de la  $FC_{\text{máx}}$  necesita explicar cómo este error se disminuye usando la estimación de la  $FC_{\text{máx}}$  en muchos tests de campo del fitness y en la prescripción del ejercicio.

---

**Dirección de correspondencia:** Robert A. Robergs, Ph.D., FASEP, EPC, Director-Exercise Physiology Laboratories, Exercise Science Program, Department of Physical Performance and Development, Johnson Center, Room B143, The University of New Mexico, Albuquerque, NM 87131-1258, Phone: (505) 277-2658, FAX: (505) 277-9742; Email: rrobergs@unm.edu

---

## REFERENCIAS

1. Fox III, S.M. Naughton, J.P. and Haskell, W.L. Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Ann Clin Res* 1971;3:404-432.
2. Froelicher, V.F. & Myers, J.N. 2000; Exercise and the heart. 4th ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
3. Karvonen, M.J., Kentala, E. and Mustala, O. The effects of training on heart rate: a longitudinal study. *Ann Med Exper Fenn* 1957;35(3):307-315.
4. Lusk G. 1928; The elements of the science of nutrition. WB Saunders, Philadelphia.
5. Heyward V. H. 1997; Advanced fitness assessment and prescription. 3rd ed. Human Kinetics, Champaign Illinois.
6. Swain, D. P., Abernathy, K.S., Smith, C.S. Lee, S.J. and Bunn, S.A. Target heart rates for the development of cardiorespiratory fitness. *Med Sci Sports Exerc* 1994;26 (1):112-116.
7. Wandewalle GP and Havette P. Heart rate, maximal heart rate and pedal rate. *J Sports Med* 1987;27:205-210.
8. Åstrand, P. 1952; Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Copenhagen, Musksgaard.
9. Åstrand, I., Åstrand, P.-O., Halback, I and Kilbom. A. Reduction in maximal oxygen uptake with age. *J Appl Physiol* 1973;35(5):649 – 654.
10. Åstrand, P.-O., Bergh, U. and Kilbom, A. A 33-yr follow-up of peak oxygen uptake and related variables of former physical education students. *J Appl Physiol* 1997;82(6):1844-1852.
11. Tanaka , H., Monahan, K.G. and Seals, D.S. Age – predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol* 2001;37:153-6.
12. Bruce, R.A., Fisher, L.D., Cooper, M.N. and Grey, G.O. Separation of effects of cardiovascular disease and age on ventricular function with maximal exercise. *Am J Cardiol* 1974;34(7):757-763.
13. Fernhall, B., McCubbin J.A., Pitetti, K.H., Rintala, P, Rimmer, J.H., Millar A.L. and Silva A. Prediction of maximal heart rate in individuals with mental retardation. *Med Sci Sport Exerc* 2001;33(10):1655-1660.
14. Graettinger W.F., Smith D.H.G., Neutel J.M., Myers J., Froelicher V.F. and Weber, M.(1995). Relationship of left ventricular structure to maximal heart rate during exercise. *Chest* 107(2):341-345.
15. Hammond, H.K, Kelly, T.L. and Froelicher, V. Radionucleotide imaging correlates of heart rate impairment during maximal exercise testing. *J Am Col Cardiol* 1983;2(5):826-33.
16. Hossack KF and Bruce RA. Maximal cardiac function in sedentary normal men and women: comparison of age-related changes. *J Appl Physiol* 1982;53(4):799-804.
17. Inbar, O. Oten, A., Scheinowitz, M., Rotstein, A., Dlin, R. and Casaburi, R. Normal cardiopulmonary responses during incremental exercise in 20-70-yr-old men. *Med Sci Sport Exerc* 1994;26(5):538-546.

18. Jones, N.L., Makrides, L., Hitchcock, C., Chypchar, T. and McCartney, N. Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. *Am Rev Respir Dis* 1985;131:700-708.
19. Lester, M., Sheffield, L.T. Trammel, P. and Reeves, T.J. The effect of age and athletic training on the maximal heart rate during muscular exercise. *Am Heart J* 1968;76(3):370-376.
20. Londeree, B.R. and Moeschberger, M.L. Effect of age and other factors on maximal heart rate. *Res Quarter Exerc Sport* 1982;53(4):297-304.
21. Miller, W.C., Wallace, J.P. & Eggert, K.E. Predicting max hr and the HR-VO<sub>2</sub> relationship for exercise prescription in obesity. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25(9):1077-1081.
22. Ricard, R.M., Leger, L. and Massicotte, D. Validity of the “220-age formula” to predict maximal heart rate. *Med Sci Sports Exerc* 1990;22(2):Supplement S96(abstract 575).
23. Rodeheffer, R.J., Gerstenblith, G., Becker, L.C. Fleg, J.L. Weisfeldt, M.L. and Lakatta, E. Exercise cardiac output is maintained with advancing age in healthy human subjects: cardiac dilatation and increased stroke volume compensate for a diminished heart rate. *Circulation* 1984;69(2):203 – 213.
24. Schiller, B.C., Casas, Y.G., DeSouza, A. and Seals, D.R. Maximal aerobic capacity across age in healthy Hispanic and Caucasian women. *J Appl Physiol* 2001;91(3):1048-1054.
25. Sheffield, L.T., Maloof, J.A. Sawyer, J.A. and Roitman, D. Maximal heart rate and treadmill performance of healthy women in relation to age. *Circulation* 1978;57(1):79-84.
26. Whaley, M.W., Kaminsky, L.A. Dwyer, G.B., Getchell, L.H. and Norton, J.A. Predictors of over - and underachievement of age – predicted maximal heart rate. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24(10):1173-1179.
27. Zavorsky, G.S. Evidence and possible mechanisms of altered maximum heart rate with endurance training and tapering. *Sports Med* 2000;29(1):13-26.
28. Kravitz L., R.A. Robergs, V.H. Heyward, D.R. Wagner and K. Powers. Exercise mode and gender comparisons of energy expenditure at self-selected intensities. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29(8):1028-1035.
29. Tanaka, H. Fukumoto, S. Osaka, Y., Ogawa, S., Yamaguchi, H. and Miyamoto, H. Distinctive effects of three different modes of exercise on oxygen uptake, heart rate and blood lactate and pyruvate. *Int J Sports Med* 1991;12:433-438.
30. Cassady, S. and Nielsen, D.H. Cardiorespiratory responses of healthy subjects to calisthenics performed on land versus in water. *Physical Therapy* 1992;72(7):532-537.
31. Engels, H.J., Zhu, W. and Moffatt, R.J. An empirical evaluation of the prediction of maximal heart-rate. *Res Quart Exerc Sport* 1998;69(1):94-98.
32. O’Toole, M.L., Douglas, P.S. and Hiller, W.D.B. Use of heart monitors by endurance athletes: lessons from triathletes. *J Sports Med* 1998;38:181-187.
33. American College of Sports Medicine 2000; ACSM’s guidelines for exercise testing and prescription. 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
34. American College of Sports Medicine. 2001; ACSM’s resource manual: guidelines for exercise testing and prescription. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
35. Baechle, T.R. & Earle, R.W., (editors). 2000; Essentials of strength training and conditioning - NSCA - 2nd ed. Human Kinetics Champaign, Illinois: Human Kinetics.
36. Baumgartner, T.A. & Jackson, A.S. 1995; Measurement for evaluation in physical education and exercise science. 5th ed. Madison, Wisconsin: Wm. C. Brown & Benchmark, Inc.
37. Brooks, G.A., Fahey, T.D., White, T.P. & Baldwin, K.M. 2000; Exercise physiology: human bioenergetics and its applications. 3rd ed. Mountain View, California: Mayfield.
38. Fox, E.L., Bowers, R.W. & Foss, M.L. 1989; The Physiological basis of physical education and athletics, 4th ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
39. Garret, Jr., W.E. & Kirkendall, D.T. (editors) 2000; Exercise and sports science. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
40. McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. 1996; Exercise physiology: energy, nutrition and human performance. 4th ed. Williams & Wilkins.
41. McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. 2000; Essentials of exercise physiology. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
42. Nieman, D.C. 1999; Exercise testing and prescription: a health related approach 4th ed. Mountain View. Mayfield.
43. Plowman, S.A. & Smith, D.L. 1997; Exercise physiology for health, fitness, and performance. Boston: Allyn and Bacon.
44. Powers, S.K. & Howley, E.T. 1996; Exercise physiology: theory and application to fitness and performance. 3rd ed. Boston, Massachusetts: McGraw-Hill.
45. Robergs, R.A. & Roberts, S.O. 1997; Exercise physiology: exercise, performance, and clinical applications. St. Louis: Mosby.
46. Robergs, R.A. & Roberts, S.O. 2000; Fundamental principles of exercise physiology for fitness, performance, and health. Boston: McGraw-Hill.
47. Roberts, S.O., Robergs, R.A. & Hanson, P. (editors) (1997). Clinical exercise testing and prescription: theory and application. Boca Raton, CRC.
48. Rowland, T.W. 1996; Developmental exercise physiology. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
49. Wasserman, K., Hansen, J.E., Sue, D.Y., Whipp, B.J. & Casaburi, R. 1994; Principles of exercise testing and interpretation. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
50. Wilmore, J.H. & Costill, D.L. 1999; Physiology of Sport and Exercise. 2nd ed. Champaign, Illinois: Human Kinetics.

**Traducción:** Ricardo L. Scarfó (PUEF-UNLP)