

Research

La sorprendente Historia de la Ecuación (FC máx. = 220 - edad)

Robert A Robergs¹ y Roberto Landwehr¹

¹Exercise Physiology Laboratories, Exercise Science Program, Department of Physical Performance and Development, The University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico 87131.

RESUMEN

La estimación de la frecuencia cardiaca máxima (FC máx.) ha sido una característica de la fisiología del ejercicio y de las ciencias aplicadas relacionadas, desde fines de 1930. La estimación de la FC máx. ha sido por mucho tiempo basada en la fórmula $FC\ máx. = 220 - edad$. Esta ecuación es frecuentemente presentada en libros de texto, sin una explicación o cita a investigaciones originales. Además, la fórmula y los conceptos relacionados, son incluidos en la mayoría de los exámenes de certificación de medicina del deporte, fisiología del ejercicio y aptitud física. A pesar de la aceptación de esta fórmula, las investigaciones que se extienden en un lapso de más de 20 años revelan el gran error inherente a la estimación de la frecuencia cardiaca máxima (Sxy, error de estimación estándar, = 7-11 lat./min). Irónicamente, la investigación en la historia de esta fórmula, reveló que la misma no fue desarrollada a partir de una investigación original, la misma resultado de observaciones basadas en datos de aproximadamente 11 referencias, que consistían en investigaciones publicadas o compilaciones científicas no publicadas. Consecuentemente, la fórmula $FC\ máx. = 220 - edad$, no tiene mérito científico para usarse en fisiología del ejercicio y áreas relacionadas. Una breve revisión de fórmulas alternativas de predicción de la FC máx., reveló que la mayoría de las ecuaciones de predicción univariadas basadas en la edad, también tienen errores de predicción grandes (> 10 lat/min). Evidentemente, es necesario que se hagan más investigaciones, usando un modelo multivariado, y puede que se necesite desarrollar ecuaciones específicas de las poblaciones (actividad física, estado de salud, edad, estado de salud, modo de ejercicio).

Palabras Clave: función cardiovascular, estimación, prescripción de ejercicio, aptitud física

INTRODUCCIÓN

Este corto manuscrito ha sido escrito para proveer una visión dentro de la historia de la ecuación de predicción de la frecuencia cardiaca máxima (FC máx.), $FC\ máx. = 220 - edad$. Sorprendentemente, no hay ningún registro publicado de investigación acerca de esta ecuación. Como será explicado, el origen de la fórmula es una estimación superficial, basada en la observación a la mejor respuesta lineal de una serie de datos medios y brutos compilados en 1971 (1). Sin embargo, la evidencia de un estudio fisiológico de predicción de la frecuencia cardiaca máxima data de al menos 1938, a partir de la investigación de Sid Robinson (2).

Desde 1971 las investigaciones han revelado el error en la estimación de la FC máx., y actualmente no hay ninguna fórmula que de una exactitud aceptable en la predicción de la FC máx.. Nosotros presentamos la mayoría de las fórmulas que existen actualmente para estimar la FC máx., y damos recomendaciones de cual fórmula usar y cuando. También damos recomendaciones, para futuras investigaciones que nos permitan incrementar nuestros conocimientos sobre la variabilidad de la FC máx. entre los sujetos.

LA IMPORTANCIA DE LA FRECUENCIA CARDIACA MÁXIMA

La frecuencia cardiaca es una medición cardiovascular muy sencilla, especialmente en comparación con los procedimientos invasivos usados para estimar el volumen sistólico y el gasto cardíaco. Consecuentemente, la medición de la frecuencia cardiaca es usada rutinariamente para evaluar la respuesta del corazón al ejercicio, o la recuperación luego del mismo, así como para prescribir intensidades de ejercicio (3). Dado que el incremento en la frecuencia cardiaca durante el ejercicio incremental refleja el incremento del gasto cardiaco, la frecuencia cardiaca máxima es frecuentemente interpretada como el límite máximo del incremento de la función cardiovascular central. Efectivamente, las investigaciones de los últimos 100 años han demostrado que la frecuencia cardiaca máxima tiene de hecho un valor máximo (4), que no puede ser sobrepasado a pesar de incrementos continuos en la intensidad del ejercicio o de las adaptaciones al entrenamiento.

Quizás la aplicación más importante de la respuesta de la frecuencia cardiaca al ejercicio ha sido el uso de la frecuencia cardiaca submáxima, en combinación con la frecuencia cardiaca de reposo y máxima, para estimar el VO_2 máx. En muchas instancias es recomendada la estimación de la frecuencia cardiaca máxima, usando la fórmula $FC\text{ máx.} = 220 - \text{edad}$. Basándose en esta aplicación, la respuesta de la frecuencia cardiaca al ejercicio ha sido usada para calcular intensidades de ejercicio, ya sea como porcentaje de la frecuencia cardiaca máxima (% FC máx.) o como porcentaje de la frecuencia cardiaca de reserva (% FCR) (Tabla 1).

%VO ₂ máx.	% FCmáx.	%FCR*^
40	63	40
50	69	50
60	76	60
70	82	70
80	89	80
90	95	90

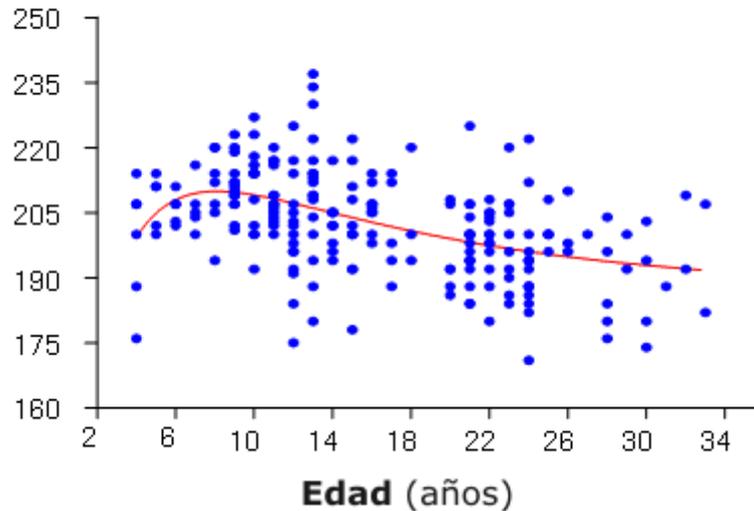
Tabla 1. Utilización de la frecuencia cardiaca para estimar intensidades del ejercicio que coinciden con el %VO₂ máx. * basado en el método de Karvonen ($FC = FC\text{ de reposo} + ((\text{fracción proyectada}) * (FC\text{ máx.} - FC\text{ de reposo}))$); ^%FCR equivale a la fracción proyectada expresada como %. Adaptado de Heyward V. (5) y Swain et al. (6).

HISTORIA DE LA PREDICCIÓN DE LA FRECUENCIA CARDIACA MÁXIMA

Debido a nuestro interés de incrementar la exactitud de la estimación de la frecuencia cardiaca máxima, nosotros hemos tratado de investigar el origen de la fórmula $FC\text{ máx.} = 220 - \text{edad}$ (Tabla 2 y 3). Tan lejos como pudimos determinar a partir de libros e investigaciones, la primera ecuación para predecir la frecuencia cardiaca máxima fue desarrollada por Robinson en 1938 (2). Sus datos produjeron la ecuación $FC\text{ máx.} = 212 - 0.77(\text{edad})$, que obviamente difiere de la muy aceptada fórmula $FC\text{ máx.} = 220 - \text{edad}$. Como explicaremos más abajo, hay numerosas ecuaciones de predicción de la FC máx. (Tabla 3), pero la historia de la ecuación $FC\text{ máx.} = 220 - \text{edad}$, es todavía más interesante.

a)

FCmáx (lat/min)



b)

FCmáx (lat/min)

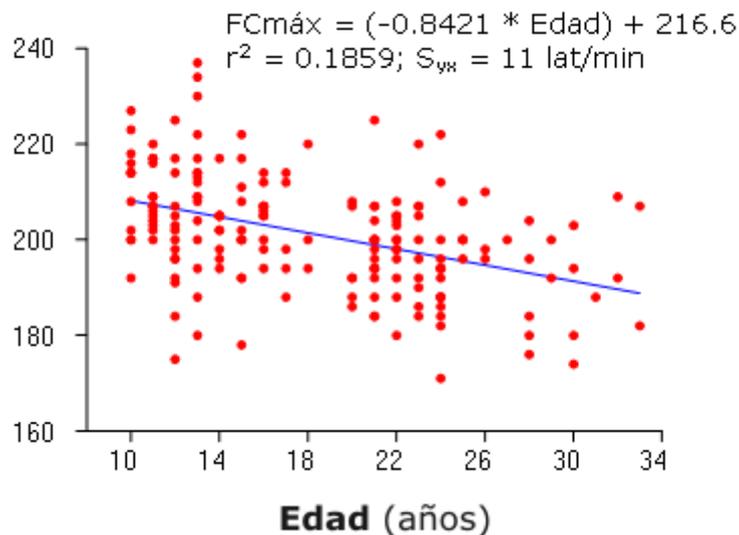


Figura 1. Datos de la FC máx. para a) 225 sujetos, de 4 a 33 años, y b) una muestra de sujetos, en edades de 11 a 33 años, n =196.

LA FÓRMULA “FC máx. = 220 – edad”

Entre los libros de texto, las fallas para citar la investigación original considerando la fórmula FC máx. = 220 – edad, afirmo una conexión con Karvonen (3). Irónicamente, el estudio de Karvonen no fue realizado con frecuencia cardíaca máxima. Para clarificar esto, el Dr. Karvonen fue conectado en Agosto de 2000 y la discusión subsiguiente indicó que el nunca publicó una investigación original de esta fórmula, y recomendó que investigáramos el trabajo del Dr. Astrand para encontrar la investigación original.

Otra cita de esta fórmula es Astrand (7). Una vez más, este estudio no estaba relacionado con la predicción de la FC máx.. Nosotros fuimos capaces de discutir este tópico con el Dr. Astrand en Septiembre de 2000, mientras el estaba en Albuquerque, recibiendo su Premio a los Logros de su Vida en Fisiología del Ejercicio, por parte de la Sociedad Americana de Fisiólogos del Ejercicio. El Dr. Astrand estableció que el no había publicado ninguna fórmula que derivara de esos datos, el comentario que en presentaciones pasadas, había declarado que una fórmula así, parecía estar cerca de los hallazgos de las investigaciones, y que sería un método conveniente para ser usado.

Publicación	Año	Cita
Investigación		
Engels et al.	1998	Fox & Haskell, 1971
O'Toole et al.	1998	ACSM. 1995
Tanaka	2001	Fox & Haskell, 1971
Vandewalle & Havette	1987	Astrand, 1986
Whaley et al.	1992	Froelicher, 1987
Libros de texto		
ACSM	2001	ACSM, 2000
Baechle & Earle	2000	Sin cita
Baumgartner & Jackson	1995	Sin cita
Brooks et al.	2000	Sin cita
Fox et al.	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 et al. 1993
Powers & Howley	1996	Sin cita
Roberts & Roberts	1997	Hagberg et al, 1985
Roberts & Roberts	2000	Sin cita
Roberts et al.	1997	Asmussen, 1959
Rowland	1996	Sin cita
Wasserman et al.	1994	Sin cita
Wilmore & Costill	1999	Sin cita

Tabla 2. Investigaciones, libros de texto y citas, usadas y no usadas, para dar crédito al origen de la fórmula $FC_{\text{máx.}} = 220 - \text{edad}$.

Interesantemente, Astrand publicó datos originales de $FC_{\text{máx.}}$ de más de 225 sujetos (115 hombres y 110 mujeres) de un rango de edades de 4 a 33 años en uno de sus primeros textos (8). Los datos son de ambas, cintaergómetro o cicloergómetro, donde evaluaron el VO_2 máx., no tenemos ningún conocimiento de las características del protocolo utilizado. Estos datos son presentados en la Fig. 1 a y b. Cuando los datos son usados para edades > 10 años (Fig.1 b), hay una correlación significativa ($r = 0.43$), todavía con un error considerable ($S_{xy} = 11$ lat/min). La fórmula resultante es; $FC_{\text{máx.}} = 216.6 - 0.84(\text{edad})$. A pesar de la similitud de la ecuación de predicción con la ecuación $FC_{\text{máx.}} = 220 - \text{edad}$, la característica notable de este conjunto de datos es el gran error de predicción. Interesantemente, en otros dos estudios, Astrand encontró que la disminución promedio en la $FC_{\text{máx.}}$ para mujeres fue de 12 latidos en 21 años (9) y de 19 latidos en 33 años (10). Si la fórmula $FC_{\text{máx.}} = 220 - \text{edad}$ es correcta, la pendiente de la disminución de la FC con el incremento de la edad sería 1. Además, los datos de Astrand indican que la predicción de la $FC_{\text{máx.}}$ a partir de una

fórmula así, no debería ser usada en niños de 10 años o más jóvenes, ya que la FC sigue un cambio asociado a la edad diferente para los niños. Además, puede ser cuestionada la probabilidad que los niños alcancen una verdadera frecuencia cardiaca máxima durante las evaluaciones.

Parece que la cita correcta del origen de la ecuación $FC\text{ máx.} = 220 - \text{edad}$, es Fox et al. (1). Sin embargo, y como fue explicado por Tanaka et al. (11), Fox no derivó esta ecuación de una investigación original.

Nosotros evaluamos el manuscrito original de Fox et al. (1), el cual era una larga revisión de investigaciones relacionadas a la actividad física y a enfermedades cardiacas. En una sección subtitulada "Intensidad", es presentada una figura que contiene los datos en cuestión, y que consiste de aproximadamente 35 puntos. No fue realizado ningún análisis de regresión con los datos, y en el texto de la figura los autores declararon:

"Ninguna recta sola va a representar los datos de la aparente declinación de la frecuencia cardiaca con la edad. La fórmula Frecuencia cardiaca máxima = 220 - edad en años, define una recta que no esta lejos de los puntos de los datos".

Nosotros decidimos replicar la propuesta usada por Fox et al. (1), usando los datos originales presentados en su manuscrito. Ya que no pudimos encontrar todos los manuscritos, debido a las citas inexactas, reproducimos los datos a partir de la figura y los presentamos en la Fig. 2. Ajustamos una regresión lineal al conjunto de datos y derivamos la siguiente ecuación; $FC\text{ máx.} = 215.4 - 0.9147(\text{edad})$, $r = 0.51$, $S_{xy} = 21\text{ lat/min}$. Así, aún los datos originales, a partir de la observación de los cuales se estableció la fórmula $FC\text{ máx.} = 220 - \text{edad}$, no apoyan a esta ecuación.

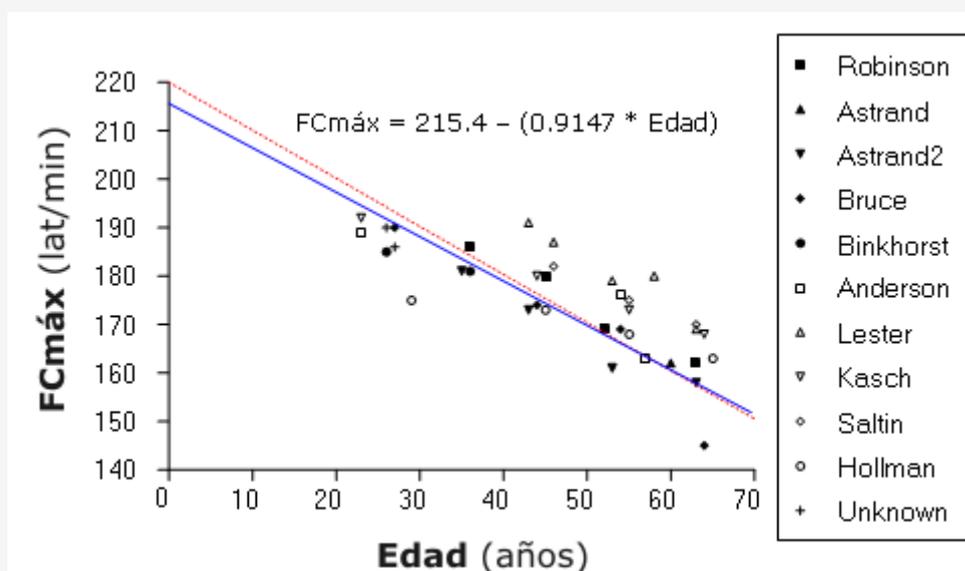


Figura 2. Una figura reproducida a partir de los datos de Fox et al. (1), que fueron usados para derivar la fórmula original $FC\text{ máx.} = 220 - \text{edad}$. La recta azul representa la recta más apropiada. La recta roja representa la ecuación $FC\text{ máx.} = 220 - \text{edad}$.

REVISIÓN DE LAS INVESTIGACIONES SOBRE LA FRECUENCIA CARDIACA MÁXIMA

Nosotros recuperamos la mayor cantidad de investigaciones posibles sobre $FC\text{ máx.}$. Esta fue una tarea intrépida, ya que muchas de las investigaciones originales y estudios de revisión sobre este tópico, no daban referencias completas, o citas de investigaciones originales. Colectamos 43 fórmulas a partir de diferentes estudios, las que son presentadas en la Tabla 3, acompañadas cuando fue posible, con los análisis estadísticos pertinentes.

Para verificar si hubo una tendencia hacia la ecuación $FC\text{ máx.} = 220 - \text{edad}$, seleccionamos 30 ecuaciones de las presentadas en la Tabla 3 (se excluyeron las ecuaciones derivadas a partir de sujetos que no estaban sanos). Las ecuaciones fueron usadas para re-calculer la $FC\text{ máx.}$ para edades de 20 a 100 años, y fue calculada una nueva ecuación de regresión a partir de los datos (Fig.3). La ecuación de predicción produjo una nueva fórmula; $FC\text{ máx.} = 208.754 - 0.734(\text{edad})$, $r = 0.93$ y un $S_{xy} = 7.2$, la cual esta muy cerca de la ecuación que fue derivada por Tanaka et al. (11) (Tabla 3).

Interesantemente, Londeree (20) desarrollo una ecuación multivariada, usando las variables edad, edad^2 , $\text{edad}^2/1000$,

etnia, modo de ejercicio, niveles de actividad, y tipo de protocolo usado para evaluar la FC (Tabla 4). Sin embargo, no fue dado ningún resultado estadístico por los autores, relacionado a incrementos significativos en la explicación de la varianza de la FC máx., usando un modelo multivariado. La misma crítica se aplica al estudio de Tanaka et al. (11). Como demostró Zavorsky (27), que el entrenamiento de resistencia baja la FC máx., otros han demostrado la especificidad de la FC máx. al modo de ejercicio (28, 29, 30), así un estudio original que use variables independientes múltiples es largamente requerido.

Los datos a partir de las investigaciones de FC máx. son claros en demostrar el gran error de predicción de la FC máx., usando solo una intersección en el eje y, junto con una pendiente, cuando la edad es la única variable independiente. Además, los resultados y las ecuaciones de regresión necesitan ser reconocidas como específicas al modo (28, 29, 30). Es desafortunado que la especificidad del modo de las ecuaciones de predicción de la FC máx. no este claramente establecida en los libros de texto de fisiología del ejercicio y de prescripción de ejercicio. Finalmente, aún un modelo multivariado de predicción de la FC máx. y de la explicación de la varianza, no reduce el error de predicción de la FC máx.

Estudio	N	Población	Edad media (rango)	Regresión (FCmáx.=)	r ²	Error Estándar de Estimación
Ecuaciones univariadas						
<i>Astrand, in Froelicher (2)</i>	100	Hombres sanos – ciclo ergómetro	50 (20 - 69)	211-0.922a	N/A	N/A
<i>Brick, in Froelicher (2)</i>	?	Mujeres	N/A	226-edad	N/A	N/A
<i>Bruce (12)</i>	1295	Enfermedad cardiocoronaria	52±8	204-1.07a	0.13	22
<i>Bruce (12)</i>	2091	Hombres sanos	44±8	210-0.662a	0.19	10
<i>Bruce (12)</i>	1295	Hipertensión	52±8	204-1.07a	0.24	16
<i>Bruce (12)</i>	2091	Hipertensión + Enfermedad cardiocoronaria	44±8	210-0.662a	0.10	21
<i>Cooper in Froelicher (2)</i>	2535	Hombres sanos	43(11 - 79)	217-0.845a	N/A	N/A
<i>Ellestad in Froelicher (2)</i>	2583	Hombres sanos	42(10-60)	197-0.556a	N/A	N/A
<i>Fernhall (13)</i>	276	Retraso mental	9-46	189-0.56a	0.09	13.8
<i>Fernhall (13)</i>	296	M & H sanos	N/A	205-0.64a	0.27	9.9
<i>Froelicher (2)</i>	1317	Hombres sanos	38.8(28-54)	207-0.64a	0.18	10

<i>Gruettinger (14)</i>	114	Hombres sanos	(19-73)	199-0.63a	0.22	N/A
<i>Hammond (15)</i>	156	Enfermedad cardiaca	53.9	209- edad	0.09	19
<i>Hossack (16)</i>	104	Mujeres sanas	(20-70)	206-0.597a	0.21	N/A
<i>Hossack (16)</i>	98	Hombres sanos	(20-73)	227-1.067a	0.40	N/A
<i>Inbar (17)</i>	1424	M & H sanos	46.7(20-70)	205.8-.685a	0.45	6.4
<i>Jones (18)</i>	100	M & H sanos cicloergómetro	(15 – 71)	202-0.72a	0.52	10.3
<i>Jones N/A</i>	?	M & H sanos		210-0.65a	0.04	N/A
<i>Jones (18)</i>	60	Mujeres sanas	(20-49)	201-0.63a		N/A
<i>Lester (19)</i>	48	M & H entrenados		205-0.41a	0.34	N/A
<i>Lester (19)</i>	148	M & H no entrenados	43(15 – 75)	198-0.41a	N/A	N/A
<i>Londeree (20)</i>	?	Atletas de nivel nacional	N/A	206.3-0.711a	0.72	N/A
<i>Miller (21)</i>	89	M & H obesos	42	200-0.48a	0.12	12
<i>Morris, in Froelicher (2)</i>	1388	Enfermedad cardiaca	57(21 – 89)	196-0.9a	0.00	N/A
<i>Morris, in Froelicher (2)</i>	244	Hombres sanos	45(20 – 72)	200 -0.72a	0.30	15
<i>Ricard (22)</i>	193	M & H, cinta		209 -0.587a	0.38	9.5
<i>Ricard (22)</i>	193	M & H, cicloergómetro		200 -0.687a	0.44	9.5
<i>Robinson 1938 in Froelicher (2)</i>	92	Hombres sanos	30(6 - 76)	212 -0.775a	0.00	N/A

<i>Rodeheffer (23)</i>	61	Hombres sanos	25 - 79	214-1.02a	0.45	N/A
<i>Schiller (24)</i>	53	Mujeres hispanas	46(20-75)	213.7-0.75a	0.56	N/A
<i>Schiller (24)</i>	93	Mujeres caucásicas	42(20-75)	207 -0.62a	0.44	N/A
<i>Sheffield (25)</i>	95	Mujeres	39(19 - 69)	216 -0.88a	0.58	N/A
<i>Tanaka (11)</i>	?	M & H sedentarios		211 -0.8a	0.81	N/A
<i>Tanaka (11)</i>	?	M & H activos		207 -0.7a	0.81	N/A
<i>Tanaka (11)</i>	?	M & H entrenados en resistencia		206 -0.7a	0.81	N/A
<i>Tanaka (11)</i>		M & H		208-0.7a	0.81	N/A
<i>Whaley (26)</i>	754	Mujeres	41.3(14-77)	209-0.7a	0.37	10.5
<i>Whaley (26)</i>	1256	Hombres	42.1(14-77)	214-0.8a	0.36	10.7

Tabla 3. Ecuaciones univariadas conocidas de predicción de la frecuencia cardiaca máxima. M = mujeres, H = hombres.

Estudio y Ecuaciones	r ²
Londree (20)	
PMFC = 196.7+1.986xC2+5.361xE+1.490xF4+3.730xF3+4.036xF2-0.0006xA ⁴ -0.542xA ²	0.77
PMFCI = 199.1+0.119xAEF4+0.112xAE+6.280xEF3+2.468xC2+3.485xF2-.00006xA ⁴ -0.591xA	0.78
PMFCC = 205-3.574xT1+8.316xE-7.624xF5-.00004xA ⁴ -0.624xA ²	0.85
PMFCCI = 205-0.116xAEF3-0.223xAF5+0.210xAE+6.876xEF3+2.091xC2-3.310xT1-0.0005xA ⁴ -0.654xA	0.86
PMFC (National Collegiate Athletes) = 202.8-0.533xA-0.0006xA ⁴	0.73

Tabla 4. Ecuaciones multivariadas conocidas de predicción de la frecuencia cardiaca máxima. PMFC = frecuencia cardiaca máxima predecida, C = Entrecruzado, I = interacción; a = A = edad; A2 = edad; A4 = (edad⁴)/1000; C# = continente (si es Europeo, entonces C2=1, de otro modo C2=0); E = ergómetro (si es cintaergómetro, entonces E = 1, si es cicloergómetro E = 0); F# = nivel de aptitud física (sedentario, F2=1, de otro modo F2=0; activo F3=1, de otro modo F3=0, entrenado en resistencia, entonces F4=1, de otro modo F4=0; Tipo # =tipo de protocolo de ejercicio (continuo e incremental, entonces T1=1, de otro modo T1=0). Términos de interacción múltiple que deberían ser multiplicados juntos.

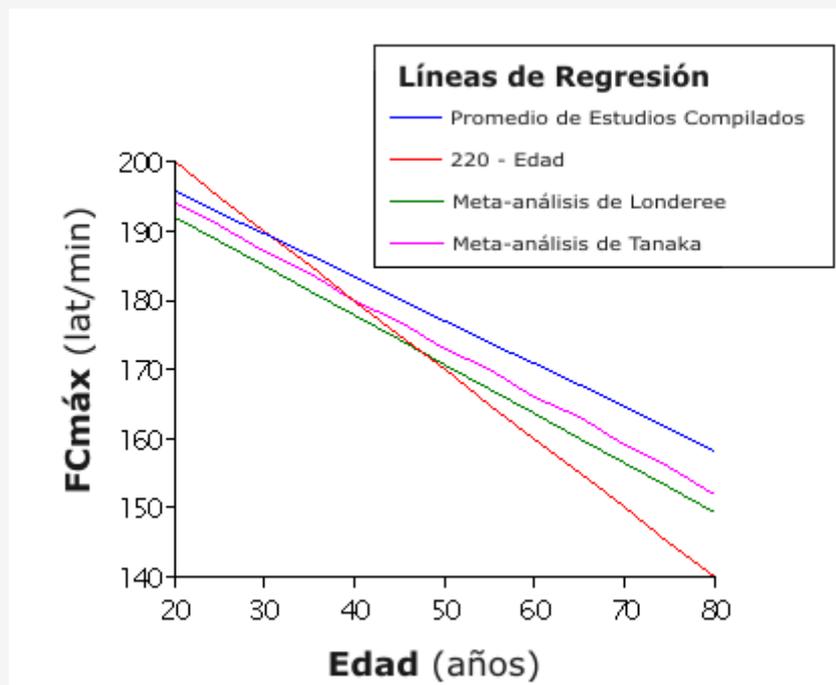


Figura 3. Rectas de regresión realizadas a partir de datos obtenidos de la ecuación $FC\ máx. = 220 - edad$, a partir de las medias de 30 estudios de la Tabla 3, y del meta-análisis de Londeree (28) y Tanaka (47).

¿QUE ES UN ERROR ACEPTABLE EN LA PREDICCIÓN DE LA FC máx?

Dada la precisión de la medición de la FC, el error de medición de la FC máx. es pequeño y es atribuible al protocolo de ejercicio y a la motivación del sujeto. Consecuentemente, la medición de la FC máx. parece tener un nivel de exactitud de ± 2 lat/min, si el sujeto alcanza realmente un esfuerzo máximo. No obstante, otro factor para considerar es el impacto del error de predicción sobre la aplicación de la FC máx.. Para la estimación de dos intensidades de ejercicio (Tabla 5), errores de predicción de la FC máx. ($FC\ máx. - FC\ predecida = error$) de 2, 4, 6 y 8 lat/min, causaron un error insignificante. Por ejemplo, una FC de 150 lat/min, que cae en el centro del "verdadero" rango de prescripción de la frecuencia cardíaca, permaneció entre los rangos de frecuencia cardíaca recomendados de todos los ejemplos de errores. Sin embargo, como fue revelado en la Tabla 3, los errores en la estimación de la FC máx. pueden exceder de 11 latidos/min. Consecuentemente, parece que las ecuaciones actuales usadas para estimar la FC máx., no son suficientemente exactas para prescribir los rangos de frecuencia cardíaca de los entrenamientos, para un gran número de individuos.

Cuando la predicción de la FC máx. es usada en la estimación del VO_2 máx., tal como lo hace el método YMCA, puede haber errores considerables en el VO_2 máx. estimado (Tabla 5). Por ejemplo, cuando la FC máx. es subestimada en 6 lat/min, hay un error resultante de 350 ml/min en el VO_2 máx. estimado. Esto equivale a un error de -8.3% o -4.7 ml/kg/min para una persona de 75 kg.

Los datos de la Tabla 5 ayudan a seleccionar un error conveniente en la estimación de la FC máx.. Los errores pueden ser mayores para los propósitos de prescribir los rangos de frecuencia cardíaca de entrenamiento, que en la estimación del VO_2 máx. Para propósitos de prescripción de la frecuencia cardíaca de entrenamiento, parecen ser aceptables errores ≤ 8 lat/min. Sin embargo, para el VO_2 máx., puede ser sostenido que los errores de predicción de la FC máx. necesitan ser $< \pm 3$ lat/min.

Intensidad	Valores de FC para errores de FC máx. dados. (Verdadero–Estimado, lat/min (%))				
	Verdadero	2 (1)	4 (2.1)	6 (3.1)	8 (4.2)
Intensidades de ejercicio submáximas					
60-80% FCR	135-164	134-162	133-160	132-159	130-157
VO₂máx.					
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

Tabla 5. Estimación del error en las intensidades de ejercicio submáximo y el VO₂ máx., cuando se usan FC estimadas con errores de 2, 4, 6 y 8 lat/min (predicción de la FC máx. subestimada).

Los cálculos se basaron en suponer una frecuencia cardiaca de reposo de 50 lat/min, para una persona de 25 años, con una FC máx. = 192 lat/min; FCR = frecuencia cardiaca de reserva; para el protocolo YMCA, las frecuencias cardiacas y las cargas de trabajo fueron supuestas (FC: kgm/min) 90:150, 125:750, 153:1200, respectivamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Basándose en la revisión de las investigaciones y de la aplicación de la predicción de la FC máx., pueden ser hechas las siguientes recomendaciones:

1. Actualmente, no hay ningún método aceptable para estimar la FC máx..
2. Si se necesita estimar la FC máx., deberían ser usadas fórmulas específicas de la población. Sin embargo, la ecuación general más exacta es aquella de Invar (17) (Tabla 3); FC máx. = 205.8–0.685 (edad). No obstante, el error ($S_{xy} = 6.4$ lat/min) es todavía inaceptablemente grande.
3. Un error de predicción aceptable de la FC máx., para la aplicación en la estimación del VO₂ máx es $< \pm 3$ lat/min. Así, para una persona con una FC máx. de 200 lat/min, el error equivale a $\pm 1,5$ %. Si esta precisión no es posible, entonces no hay justificación para usar métodos para la estimación del VO₂ máx., que dependen de una fórmula de predicción de la FC máx.
4. Se necesita que sean realizadas investigaciones adicionales, que desarrollen ecuaciones de regresión multivariadas, que aumenten la exactitud de la predicción de la FC máx. de poblaciones específicas, y de diferentes tipos de ejercicio.
5. El uso de la FC máx., prevalece más en la industria del fitness, y la gente que trabaja en este medio, tiene principalmente finalizados estudios de pre-grado en ciencias del ejercicio y áreas relacionadas. Estos estudiantes/graduados necesitan ser mejor formados en estadística, para reconocer y entender el concepto de error de predicción, y de las consecuencias prácticas de depender de una ecuación con un gran error de estimación estándar (S_{xy}).
6. Los libros de fisiología del ejercicio y de prescripción del ejercicio, deberían contener contenidos que sean más críticos de la ecuación FC máx. = 220 – edad o de fórmulas similares. Los autores deben hacer hincapié en la especificidad al modo de la FC máx., proveer alternativas, buscar fórmulas justificadas, y expresar todos los contenidos de los ítems 1-5 de arriba. Similarmente, la cobertura académica de la FC máx., necesita explicar como el error de la fórmula FC máx. = 220 – edad, le quita mérito al uso de la estimación de la FC máx. en muchas áreas de evaluación de la aptitud física y de la prescripción del ejercicio.

Dirección para 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 (1971). Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Ann Clin Res* 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 (1957). The effects of training on heart rate: a longitudinal study. *Ann Med Exper Fenn* 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 (1994). Target heart rates for the development of cardiorespiratory fitness. *Med Sci Sports Exerc* 26 (1):112-116
7. Wandewalle GP and Havette P (1987). Heart rate, máx.imal heart rate and pedal rate. *J Sports Med* 27:205-210
8. Tanaka , H., Monahan, K.G. and Seals, D.S (2001). Age \square predicted máx.imal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol* 37:153-6
9. Bruce, R.A., Fisher, L.D., Cooper, M.N. and Grey, G.O (1974). Separation of effects of cardiovascular disease and age on ventricular function with máx.imal exercise. *Am J Cardiol* 34(7):757-763
10. Fernhall, B., McCubbin J.A., Pitetti, K.H., Rintala, P, Rimmer, J.H., Millar A.L. and Silva A (2001). Prediction of máx.imal heart rate in individuals with mental retardation. *Med Sci Sport Exerc* 33(10):1655-1660
11. 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 máx.imal heart rate during exercise. *Chest* 107(2):341-345
12. Hammond, H.K, Kelly, T.L. and Froelicher, V (1983). Radionucleotide imaging correlates of heart rate impairment during máx.imal exercise testing. *J Am Col Cardiol* 2(5):826-33
13. Hossack KF and Bruce RA (1982). Máximal cardiac function in sedentary normal men and women: comparison of age-related changes. *J Appl Physiol* 53(4):799-804
14. Inbar, O. Oten, A., Scheinowitz, M., Rotstein, A., Dlin, R. and Casaburi, R (1994). Normal cardiopulmonary responses during incremental exercise in 20-70-yr-old men. *Med Sci Sport Exerc* 26(5):538-546
15. Jones, N.L., Makrides, L., Hitchcock, C., Chypchar, T. and McCartney, N (1985). Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. *Am Rev Respir Dis* 131:700-708
16. Lester, M., Sheffield, L.T. Trammel, P. and Reeves, T.J (1968). The effect of age and athletic training on the máx.imal heart rate during muscular exercise. *Am Heart J* 76(3):370-376
17. Londeree, B.R. and Moeschberger, M.L (1982). Effect of age and other factors on máx.imal heart rate. *Res Quarter Exerc Sport* 53(4):297-304
18. Miller, W.C., Wallace, J.P. & Eggert, K.E (1993). Predicting máx. FC and the FC-VO2 relationship for exercise prescription in obesity. *Med Sci Sports Exerc* 25(9):1077-1081
19. Ricard, R.M., Leger, L. and Massicotte, D (1990). Validity of the \square 220-age formula \square to predict máx.imal heart rate. *Med Sci Sports Exerc* 22(2):Supplement S96(Abstract 575)
20. Rodeheffer, R.J., Gerstenblith, G., Becker, L.C. Fleg, J.L. Weisfeldt, M.L. and Lakatta, E (1984). 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* 69(2):203 - 213
21. Schiller, B.C., Casas, Y.G., DeSouza, A. and Seals, D.R (2001). Máximal aerobic capacity across age in healthy Hispanic and Caucasian women. *J Appl Physiol* 91(3):1048-1054
22. Sheffield, L.T, Maloof, J.A. Sawyer, J.A. and Roitman, D (1978). Máx.imal heart rate and treadmill performance of healthy women in relation to age. *Circulation* 57(1):79-84
23. Whaley, M.W, Kaminsky, L.A, Dwyer, G.B., Getchell, L.H. and Norton, J.A (1992). Predictors of over - and underachievement of age \square predicted máx.imal heart rate. *Med Sci Sports Exerc* 24(10):1173-1179
24. Zavorsky, G.S (2000). Evidence and possible mechanisms of altered máx.imum heart rate with endurance training and tapering. *Sports Med* 29(1):13-26
25. Kravitz L., R.A. Robergs, V.H. Heyward, D.R. Wagner and K. Powers (1997). Exercise mode and gender comparisons of energy expenditure at self-selected intensities. *Med Sci Sports Exerc* 29(8):1028-1035
26. Tanaka, H. Fukumoto, S. Osaka, Y., Ogawa, S., Yamaguchi, H. and Miyamoto, H (1991). Distinctive effects of tFCee different modes of exercise on oxygen uptake, heart rate and blood lactate and pyruvate. *Int J Sports Med* 12:433-438
27. Cassady, S. and Nielsen, D.H (1992). Cardiorespiratory responses of healthy subjects to calisthenics performed on land versus in water. *Physical Therapy* 72(7):532-537
28. Engels, H.J., Zhu, W. and Moffatt, R.J (1998). An empirical evaluation of the prediction of máx.imal heart-rate. *Res Quart Exerc Sport* 69(1):94-98
29. American College of Sports Medicine (2000). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins
30. American College of Sports Medicine (2001). ACSM's resource manual: guidelines for exercise testing and prescription. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins
31. Baechle, T.R. & Earle, R.W., (editors) (2000). Essentials of strength training and conditioning - NSCA. 2nd ed. Human Kinetics Champaign, Illinois: Human Kinetics
32. 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
33. 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

34. 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*
35. Garret, Jr.,W.E. & Kirkendall, D.T. (editors) (2000). *Exercise and sports science. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins*
36. McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L (1996). *Exercise physiology: energy, nutrition and human performance. 4th ed. Williams & Wilkins*
37. McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L (2000). *Essentials of exercise physiology. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins*
38. Nieman, D.C (1999). *Exercise testing and prescription: a health related approach. 4th ed. Mountain View. Mayfield*
39. Plowman, S.A. & Smith, D.L (1997). *Exercise physiology for health, fitness, and performance. Boston: Allyn and Bacon*
40. Powers, S.K. & Howley, E.T (1996). *Exercise physiology: theory and application to fitness and performance. 3rd ed. Boston, Massachusetts: McGraw-Hill*
41. Robergs, R.A. & Roberts, S.O (1997). *Exercise physiology: exercise, performance, and clinical applications. St. Louis: Mosby*
42. Robergs, R.A. & Roberts, S.O (2000). *Fundamental principles of exercise physiology for fitness, performance, and health. Boston: McGraw-Hill*
43. Roberts, S.O., Robergs, R.A. & Hanson, P. (editors) (1997). *Clinical exercise testing and prescription: theory and application. Boca Raton, CRC*
44. Rowland, T.W (1996). *Developmental exercise physiology. Champaign, Illinois: Human Kinetics*
45. 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*
46. Wilmore, J.H. & Costill, D.L (1999). *Physiology of Sport and Exercise. 2nd ed. Champaign, Illinois: Human Kinetics*

Cita Original

Robergs RA, Landwehr, R. The surprising history of the $[\text{HR max} = 220 - \text{age}]$ equation JEPonline, Volumen 5, Número 2, Mayo de 2002.