



apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



ARTÍCULO ESPECIAL

Aplicaciones de la frecuencia cardiaca máxima en la evaluación y prescripción de ejercicio

João C. Bouzas Marins^{a,*}, Nádia Maria Ottoline Marins^a y Manuel Delgado Fernández^b

^aUniversidade Federal de Viçosa, Laboratório de Performance Humana, Viçosa, Minas Gerais, Brasil

^bFacultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Universidad de Granada, Granada, España

Recibido el 16 de marzo de 2010; aceptado el 30 de abril de 2010

PALABRAS CLAVE

Frecuencia cardiaca máxima;
Intensidad de ejercicio;
Prescripción del ejercicio

KEYWORDS

Heart rate maximum;
Intensity exercise;
Prescription of exercise

Resumen

El objetivo del estudio es presentar posibles aplicaciones de la frecuencia cardiaca máxima (FCM) en el entrenamiento y ambiente clínico así como identificar las ecuaciones que estiman la FCM. En el entrenamiento proporciona informaciones para la prescripción del ejercicio, el estado de sobreentrenamiento y el cálculo del gasto diario energético. En el ambiente clínico ayuda en la realización e interpretación de pruebas submaximales y maximales. En determinadas situaciones se utilizan ecuaciones matemáticas para el cálculo de la FCM. En la literatura médica especializada existen más de cincuenta ecuaciones disponibles, en las cuales solo se tiene en cuenta el factor edad o se incluyen otros factores tales como sexo, condición de salud o parámetros antropométricos. Por todo ello, para tener mayor exactitud a la hora de elegir una ecuación estimativa de la FCM es necesario conocer las existentes y optar por aquella que se adapta mejor a los objetivos de evaluación o prescripción de ejercicio.

© 2010 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Applications of the heart rate maximum on the evaluation and prescription of exercise

Abstract

The aim of this study was to show the possible applications of the heart rate maximum (HRmax) on training and clinical environment, as well as to identify the use of different equations to estimate the HRmax. The training provides information for the prescription of exercise, state of over-training and to calculate the daily energy expenditure. Moreover, when performed in the clinical environment they can help interpret sub-maximal tests as maximal ones. In some situations mathematical equations are used for calculating the HRmax. Thus, of more than fifty (50) equations were available in the specialised literature,

*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: jcbouzas@ufv.br (J.C. Bouzas Marins).

some only have age as a factor, while others include, age, state of health and anthropometric parameters. However, to obtain more accuracy when choosing any equation to estimate the HRmax, one must have all the data and choose the one that best suits the objectives of evaluation or exercise prescription.

© 2010 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

El registro de la frecuencia cardiaca (FC) es una de las formas de control fisiológico más frecuente en la evaluación de la intensidad de esfuerzo a la que el organismo está siendo expuesto¹⁻³. Con el desarrollo de la técnica de control de la FC mediante el sistema Polar[®] se avanzó enormemente en el control de este parámetro fisiológico, ya que con esta técnica se realiza la lectura inmediata de la FC durante el ejercicio, resultando, además, más fiable que la técnica manual⁴.

La FC máxima (FCM) es un parámetro básico para determinar el esfuerzo y la intensidad del ejercicio. Se pueden adoptar dos maneras de registro de la FCM: la primera, considera el registro obtenido de FC más elevada tras un esfuerzo de alta intensidad⁵⁻⁸; la segunda, por medio de modelos estadísticos por ecuaciones que estiman la FCM de un sujeto⁹⁻¹².

De manera muy extendida se suele utilizar la ecuación $FCM = 220 - \text{edad}$ para estimar la FCM. Pero hay que considerar que estudios como los de Silva et al¹⁰ y Robergs y Landwehr¹¹ apuntan que utilizar esta ecuación de manera generalizada es un error metodológico.

Se sabe que la FCM disminuye con la edad. A partir de los 20-25 años es predecible una reducción de un latido por minuto (lpm) al año¹³. También está bien descrito que la edad es el principal factor en modular la FCM, representando entre un 70-75%^{9,14}. Pero cuando solamente se considera esta, es posible un aumento en la probabilidad de error del valor estimado de FCM.

Así que, además de la edad^{15,16}, factores como obesidad¹⁷, región corporal activa durante el ejercicio (brazos o piernas)¹⁸, ambiente de registro en competición o laboratorio^{2,19}, ejercicio en medio acuático²⁰, nivel de entrenamiento^{21,22}, sexo²¹ y acción metodológica de toma de datos^{23,24} son ejemplos de factores que influyen en la FCM, sugiriendo, así, el empleo de ecuaciones específicas.

Las ecuaciones estimativas iniciales de FCM fueron elaboradas a partir de diversos estudios de características transversales cuyo objetivo era determinar la curva de regresión de esta. Sin embargo, la mayor parte de las ecuaciones fueron desarrolladas para una situación de ejercicio en carrera y con hombres. Por ello, ha existido la necesidad de aumentar el abanico de actividades en que se observe la respuesta de la FCM y en mujeres.

La necesidad de establecer ecuaciones específicas para cada tipo de ejercicio también está justificada por el hecho de que actividades con un mismo consumo de oxígeno puede suponer un estímulo distinto al sistema cardiovascular. Esto está bien descrito en el trabajo de Kravitz et al²⁵ al comparar las demandas cardiacas y metabólicas de cuatro tipos de ejercicios. Otro ejemplo sería el esfuerzo en

natación, en el que se admite una disminución de $14 \pm 1,54$ lpm¹⁴, o incluso registros inferiores del orden de 20,25 lpm en hombres y 22,1 lpm en mujeres, cuando se compara con la FCM en carrera²⁶.

La estimación del $VO_{2\text{max}}$ por medio de la FCM predicha por una ecuación inadecuada puede producir importantes errores a la hora de prescribir un entrenamiento: cargas de entrenamiento sin efectividad para proporcionar adaptaciones orgánicas o cargas extremadamente elevadas que pueden contribuir a desarrollar un estado de sobreentrenamiento²⁷. La realización de ejercicio por encima de la intensidad ideal puede producir una disminución inmunológica, con reducción de la resistencia viral, además de predisponer al deportista a un estado de síndrome de fatiga crónica²².

Por todo lo expuesto, el objetivo del presente documento ha sido realizar una revisión sobre las aplicaciones de la respuesta de la FCM en el entrenamiento y en el ambiente clínico, así como identificar las ecuaciones que estiman la FCM.

Aplicaciones de la frecuencia cardiaca máxima

La FCM es una variable cardiovascular que ofrece una serie de informaciones tanto a la hora de evaluar una prueba física como de prescribir un entrenamiento. Veamos estas aplicaciones con más detalle con el fin de mejorar la acción profesional.

Existen varias formas de control de la intensidad del ejercicio: formas simples, como la escala de percepción subjetiva del esfuerzo de Borg, o más complejas, como la toma de muestras sanguíneas seriadas para conocer los niveles de ácido láctico y detectar el umbral anaeróbico. No obstante, la toma de FC supone una excelente forma de control y seguimiento del ejercicio, siendo empleada para las poblaciones más diversas: sedentarios, deportistas, personas mayores y enfermos cardiacos, además de atletas infantiles de élite^{1,6,19,22,28-30}. El empleo de la FC como procedimiento de control de la carga de entrenamiento se justifica por ser de sencillo registro (manual o sistema de registro telemétrico con pulsómetros) y, principalmente, por el hecho de que existe una correlación entre los valores de la FCM y el VO_2 ³¹. Estos factores hacen posible que se pueda establecer un programa de actividad física que tome la FC como elemento de control de la intensidad del ejercicio³². Con este control se puede establecer la actividad física de forma individualizada.

Kesaniemi et al²⁹ han establecido unas pautas para determinar la intensidad del ejercicio, tomando como base la FC de reserva, el $VO_{2\text{max}}$ de reserva y la FCM absoluta, además del índice de percepción subjetiva de esfuerzo, más

Tabla 1 Propuesta para cálculo de intensidad de entrenamiento

Intensidad	Deportista	Adultos saludables		
	%VO ₂ R ^a %FCR ^b	%VO ₂ R ^a %FCR ^b	%FCM ^c	RPE
Muy fácil	< 50	< 20	< 50	< 10
Fácil	50–65	20–39	50–63	10–11
Moderado	65–75	40–59	64–76	12–13
Difícil	75–90	60–84	77–93	14–16
Muy difícil	90–95	≥ 85	≥ 94	17–19
Máximo	95–100	100	100	20

FCM: frecuencia cardiaca máxima; RPE: índice de percepción de esfuerzo.

^a%VO₂R: porcentaje de trabajo teniendo en cuenta al VO₂ de reserva.

^b%FCR: porcentaje de trabajo teniendo en cuenta al VO₂ de reserva.

^c%FCM: porcentaje de trabajo tomando como referencia la FCM registrada o calculada (Kesaniemi et al, 2001)²⁹.

conocido como índice de Borg. El primer factor que debe ser observado a la hora de calcular la intensidad es el nivel de actividad que presentan los sujetos, diferenciando entre deportistas y personas con un nivel de actividad física normal (tabla 1).

En la tabla anterior se muestra cómo es posible emplear la FC como parámetro de cálculo de intensidad del entrenamiento, observando la correlación existente entre la FC de reserva y el VO_{2max} de reserva. Por otra parte, los mismos autores afirman que si se tomase en consideración solamente la FCM, variaría la estimación de la curva de regresión, siendo necesario emplear la ecuación:

$$\%FCM = 0,7305(\%VO_{2max}) + 29,95$$

En la propuesta de Karvonen et al³³ se define el concepto de FC de reserva como la resultante de restar a la FCM la FC de reposo. Por medio de esta fórmula se puede establecer la FC de entrenamiento (FC_{ENT}) pretendida mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$FC_{ENT} = FC_{Reposo} + \%(FCM - FC_{Reposo})$$

La ecuación anterior permite establecer rangos de esfuerzo teniendo en cuenta umbrales metabólicos, en especial el umbral anaeróbico de 4 mmol/l⁻¹, que está a su vez relacionado con la FC_{ENT}. Se dispone, así, de valores mínimos o máximos de FC que deben ser seguidos por el deportista a lo largo de su entrenamiento. Esto permitirá que tenga mayor éxito deportivo, ya que entrenará de manera más adecuada.

Una de las variables para estimar la FC_{ENT} es la FCM. Pero no siempre es viable llevar a cabo una prueba máxima para obtenerla (personas muy desentrenadas, enfermedades que contraindican esfuerzos máximos, etc.). En estas situaciones se utilizan ecuaciones matemáticas para el cálculo de la FCM.

Hay que destacar que la FCM estimada, además de ser utilizada como parámetro de control de la intensidad del ejercicio, es un factor que sirve como indicador de otros parámetros en el ejercicio. La primera aplicación es utilizarla como referente para estimar el VO_{2max} durante una prueba submaximal, como las pruebas de tapiz de Waddoups et al³⁴, Faulkner et al³⁵ o Ebbeling et al³⁶, además de la tradicional prueba en cicloergómetro de Astrand y Ryhming³⁷. En este sentido, Uth et al³⁸ propusieron una ecuación para estimar el VO_{2max} tomando como base la FCM y la FC de reposo en sujetos deportistas de entre 21–51 años. Una segunda utilidad aplicada a los estudios de gasto diario energético sería calcular la energía consumida tomando como base un porcentaje del trabajo de la FCM^{39,40}.

Como tercera aplicación, la FCM serviría para la interrupción del esfuerzo en una prueba ergométrica^{1,3,8,41,42}. Además, el Colegio Americano de Cardiología, junto con la Asociación Americana del Corazón (2002⁴³), consideran que no superar el 80–85% de la FCM prevista durante una prueba ergométrica es un indicio claro de la existencia de coronopatía. También se considera importante, tras obtener la FCM, observar la respuesta de la recuperación. Es necesaria una disminución de la FC del orden de 12 lpm tras 2 min de recuperación; en el caso de que no se produzca este descenso, también es previsible la existencia de algún problema cardiaco.

Otra aplicación de la FCM es determinar si una prueba ergométrica ha sido realizada con un esfuerzo máximo, si se observa que el evaluado presenta, en el último registro de la FC, una variación de 10 lpm con la FCM calculada^{41,42}. La FCM también puede servir para estimar umbrales metabólicos durante una prueba maximal⁴⁴. Por último, se debe tener en cuenta que una disminución en la FCM de 5 lpm puede indicar un estado de sobreentrenamiento⁴⁵.

La FCM proporciona, así, un conjunto de factores de análisis tanto para la prescripción del ejercicio como para condiciones de ambiente clínico de evaluación física. Es muy importante un conocimiento profundo sobre este parámetro fisiológico para su correcta interpretación.

Ecuaciones predictivas para estimar la frecuencia cardiaca máxima

Se considera a Robson (1938), citado por Londeree y Moeschberger¹⁴, como el primero en establecer una ecuación que relaciona la edad con la FCM (FCM=212–0,775 edad). Sin embargo, la fórmula más extendida en el campo de la medicina del deporte y del entrenamiento deportivo es la que considera la FCM=220–edad^{46–48}.

Se han realizado diversos estudios de características transversales con el fin de determinar la recta de regresión de la FCM. Marins y Delgado⁷ presentan un resumen de estos trabajos, donde tan solo se considera como factor de la ecuación la edad (tabla 2).

En la tabla 2 la edad es considerada como principal factor para la construcción de la recta de tendencia de disminución de la FCM. Pero algunos autores añaden más información al establecer, además de la edad, un perfil poblacional específico. Se han propuesto ecuaciones para personas con algún tipo de enfermedad de tipo coronario como las indicadas en las ecuaciones número 7, 9, 10, 22 y 37, o

Tabla 2 Resumen de ecuaciones para cálculo de la frecuencia cardiaca máxima

Ecuación	Estudio	n	Población	Fórmula de regresión
1	ACSM (1995)			FCM=210-0,5 edad
2	Astrand – cicloergómetro	100	Hombres asintomáticos	FCM=211-0,922 edad
3	Astrand			FCM=216-0,84 edad
4	Bal State University		Hombres	FCM=214-0,8 edad
5	Bal State University		Mujeres	FCM=209-0,7 edad
6	Brick (1995)		Mujeres	FCM=226-edad
7	Bruce et al (1974)	1.295	Enfermedad coronaria	FCM=204-1,07 edad
8	Bruce et al (1974)	2.091	Hombres asintomáticos	FCM=210-0,662 edad
9	Bruce et al (1974)	1.295	Enfermedad coronaria	FCM=204-1,07 edad
10	Bruce et al (1974)	2.091	Hipertensión+enfermos coronarios	FCM=210-0,662 edad
11	Cooper	2.535	Hombres asintomáticos	FCM=217-0,845 edad
12	Ellestad	2.583	Hombres asintomáticos	FCM=197-0,556 edad
13	Engels et al (1998)	104 H y 101 M	Hombres y mujeres	FCM=213,6-0,65 edad
14	Fernandez (1998)		Hombres	FCM=200-0,5 edad
15	Fernandez (1998)		Mujeres	FCM=210-edad
16	Fernhal et al (2001)	276	Retardo mental	FCM=189-0,56 edad
17	Fernhal et al (2001)	296	Hombres y mujeres asintomáticos	FCM=205-0,64 edad
18	Froelicher y Myers(2000)	1.317	Hombres asintomáticos	FCM=207-0,64 edad
19	Graettinger et al (1995)	41	Hipertensos	FCM=200-0,71 edad
20	Graettinger et al (1995)	114	Hombres asintomáticos	FCM=199-0,63 edad
21	Graettinger et al (1995)	73	Normotensos	FCM=197-0,63 edad
22	Hammond	156	Enfermedad coronaria	FCM=209-edad
23	Hakki (1983)		Hombres	FCM=205-0,5 edad
24	Hossack y Bruce (1982)	104	Mujeres asintomáticas	FCM=206-0,597 edad
25	Hossack y Bruce (1982)	98	Hombres asintomáticos	FCM=227-1,067 edad
26	Inbar et al (1994)	1.424	Hombres	FCM=205,8-0,685 edad
27	Jones et al (1985) – cicloergómetro	100	Hombres y mujeres asintomáticos	FCM=202-0,72 edad
28	Jones et al (1975)		Hombres y mujeres asintomáticos	FCM=210-0,65 edad
29	Jones et al (1985)	60	Mujeres asintomáticas	FCM=201-0,63 edad
30	Karvonen et al		Hombres y mujeres asintomáticos	FCM=220-edad
31	Lester et al (1968)	42	Hombres y mujeres entrenados	FCM=205-0,41 edad
32	Lester et al (1968)	148	Hombres y mujeres sedentarios	FCM=198-0,41 edad
33	Londeree y Moeschberger (1982)		Deportista de nivel nacional	FCM=206,3-0,711 edad
34	Miller et al (1993)	51	Hombres y mujeres de peso normal	FCM=217-0,85 edad
35	Miller et al (1993)	35	Hombres peso normal	FCM=219-0,85 edad
36	Miller et al (1993)	16	Mujeres de peso normal	FCM=218-0,98 edad
37	Morris	1.388	Enfermedad coronaria	FCM=196-0,9 edad
38	Morris	244	Hombres asintomáticos	FCM=200-0,72 edad
39	Ricard et al (1990)	193	Hombres y mujeres	FCM=209-0,587 edad
40	Ricard et al (1990) – cicloergómetro	193	Hombres y mujeres	FCM=205-0,687 edad
41	Robinson	92	Hombres asintomáticos	FCM=212-0,775 edad
42	Rodeheffer et al (1984)	61	Hombres asintomáticos	FCM=214-1,02 edad
43	Rodeheffer et al (1984) – cicloergómetro	47 H y 14 M	Hombres y mujeres	FCM=208,19-0,95 edad

Tabla 2 (continuación)

Ecuación	Estudio	n	Población	Fórmula de regresión
44	Schiller et al (2001)	53	Mujeres hispánicas	$FCM=213,7-0,75$ edad
45	Schiller et al (2001)	93	Mujeres caucásicas	$FCM=207-0,62$ edad
46	Sheffield et al (1978)	95	Mujeres	$FCM=216-0,88$ edad
47	Tanaka et al (1997)	84	Mujeres entrenadas resistencia aeróbica	$FCM=199-0,56$ edad
48	Tanaka et al (1997)	72	Mujeres sedentarias	$FCM=207-0,60$ edad
49	Tanaka et al (2001)	285	Hombres y mujeres sedentarias	$FCM=211-0,8$ edad
50	Tanaka et al (2001)		Hombres y mujeres activas	$FCM=207-0,7$ edad
51	Tanaka et al (2001)	229	Hombres y mujeres entrenados de resistencia	$FCM=206-0,7$ edad
52	Tanaka et al (2001)	18.712	Hombres y mujeres	$FCM=208,75-0,73$ edad
53	Whaley et al (1992)	1.256	Hombres	$FCM=213-0,789$ edad
54	Whaley et al (1992)	754	Mujeres	$FCM=208,8-0,723$ edad
55	Whyte et al (2008) ²¹	92	Hombres jóvenes deportistas de competición	$FCM=202-0,55$ edad
56	Whyte et al (2008) ²¹	76	Mujeres jóvenes deportistas de competición	$FCM=216-1,09$ edad

Edad expresada en años (Marins y Delgado⁷).
FCM: frecuencia cardiaca máxima; H: hombres; M: mujeres.

para personas con hipertensión, como son los casos de las ecuaciones 10 y 19, así como para personas con problemas neurológicos, como retardo mental⁴⁹.

Otros autores se concentraron en proponer ecuaciones para personas asintomáticas, pero diferenciando el factor sexo. Este es el caso de las ecuaciones 2, 4, 8, 11, 12, 14, 18, 20, 23, 25, 26, 35, 38, 41, 42 y 53, desarrolladas para los hombres, mientras que las ecuaciones 5, 6, 15, 24, 29, 36, 44, 45, 46, 48 y 54 fueron propuestas solamente para mujeres (tabla 2). Para algunos autores, el factor sexo no influye en la respuesta de la FCM y por dicha razón presentan una ecuación única; son ejemplos las ecuaciones número 13, 17, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 39, 40, 43, 49, 50, 51 y 52. Atendiendo a esta situación, sería necesario profundizar en investigación sobre el grado de influencia del factor sexo en la FCM.

También existen ecuaciones que consideran el factor etnia, como por ejemplo la ecuación número 44 para mujeres hispánicas y la 45 para mujeres caucásicas. En ningún caso se ha especificado para persona asiática o incluso indígena. El abanico de investigaciones en este sentido es muy restringido, lo que hace necesario estudios que permitan contrastar la influencia en la FCM de los factores étnicos.

En cuatro trabajos se ha investigado la etnia como un posible factor determinante en la FCM. En el primer estudio, desarrollado por Londeree y Moeschberger¹⁴, se propone un coeficiente en la ecuación. Wilmore et al⁵⁰ comparó a blancos y negros americanos, observando diferencias entre los dos grupos.

El trabajo elaborado por Schiller et al⁵¹ especifica una ecuación para mujeres hispanas y otra para caucásicas. En el grupo de hispanas se observó un descenso de 0,75 lpm al

año, mientras que para el segundo grupo la reducción fue menor, del orden de 0,62 lpm al año. Aunque estos resultados estadísticos no presentaron diferencias significativas, los autores formularon ecuaciones específicas para cada grupo. Por último, Weston et al⁵² no identificó diferencias en la FCM de corredores negros africanos y hombres caucásicos.

Hay ecuaciones específicas para el nivel de capacidad física, como por ejemplo las ecuaciones número 31, 33, 47, 50, 51, 52 y 55 destinadas a personas entrenadas. Por otro lado, las ecuaciones número 32, 48 y 49 son ecuaciones específicas para personas sedentarias. El nivel de aptitud física (sedentario vs. deportista) parece predeterminar una respuesta diferente en la FCM. Zavorsky²² realizó un estudio de revisión sobre este tema, en el que observó que un deportista posee, como media, 8 lpm menos de FCM que una persona sedentaria, lo que podría justificar una ecuación específica para este colectivo. Estas diferencias pueden ser causadas porque las personas entrenadas comparadas con personas sedentarias poseen un mayor volumen sistólico, lo que ocasiona una reducción del número máximo de latidos cardiacos. Por tanto, para personas altamente entrenadas es muy necesario considerar el empleo de ecuaciones específicas.

El índice de masa corporal (IMC) fue considerado un factor determinante en la respuesta de la FCM cuando se considera un estado de obesidad. Para personas con IMC normal se proponen las ecuaciones 34, 35 y 36 (tabla 2), mientras que para personas con IMC igual o superior a 30 kg/m² se proponen las ecuaciones específicas descritas en la tabla 3. Esto es muy importante principalmente a la hora de establecer la intensidad de entrenamiento o durante una prueba física como criterio de interrupción.

Tabla 3 Ecuaciones para estimar la frecuencia cardiaca máxima empleando multivariadas

n	Ecuaciones
1	FCM = 162 + 0,266 FC _{Reposo} + 0,164 FC del 3 min ejercicio - 0,7 edad Sheffield et al ⁵⁹
2	196,7 + 1,986 C2 + 5,361 E + 1,490 F4 + 3,730 F3 + 4,036 F2 - 0,0006 A ⁴ - 0,542 A ² Londeree y Moeschberger ¹⁴
3	FCM = 108,481 + 0,5108 RPE15 - 0,6570 8 FC* + 0,6075 10 FC* - 0,2641 edad Johnson y Prins ⁶⁰
4	Hombres: FCM = 203,9 - 0,812 edad + 0,276 FC _{Reposo} - 0,084 PC - 4,5 CF Whaley et al ⁶¹
5	Mujeres: FCM = 204,8 - 0,718 edad + 0,162 FC _{Reposo} - 0,105 PC - 6,2 CF Whaley et al ⁶¹
6	Hombres obesos: FCM = 198 - 0,44 edad Miller et al ⁶²
7	Mujeres obesas: FCM = 200 - 0,49 edad Miller et al ⁶²
8	Hombres y mujeres obesos: FCM = 200 - 0,48 edad Miller et al ⁶²
9	FCM = 236 - 0,72 edad - 6,8 dimensión del ventrículo izquierdo Graettinger et al ⁶³

A²: edad²; A⁴: edad⁴/1.000; C2: continente (1 para Europa y 0 para otros); CF: código de fumadores (1 para fumador y 0 para no fumador); E: ergómetro (1 para tapiz y 0 para cicloergómetro); F2: nivel físico (1 para sedentario y 0 para otros); F3: nivel de actividad (1 para activo y 0 para otros); F4: nivel de resistencia aeróbica (1 para alto nivel y 0 para otros); FC: frecuencia cardiaca; FCM: frecuencia cardiaca máxima; PC: peso corporal.
*FC durante el 8.º y 10.º min del protocolo de Balke en tapiz.

A pesar de que se ha observado claramente que la FCM obtenida en carrera sobre tapiz rodante presenta valores significativamente mayores a los obtenidos en cicloergómetro, solamente se han formulado cuatro ecuaciones específicas para ciclismo (tabla 2), por lo que dicha temática debe seguir siendo objeto de investigación. No se identificaron propuestas de ecuaciones para otras formas de ejercicio, como remo o natación, que por su respuesta de inmersión necesitan muy probablemente una ecuación específica.

Los estudios^{26,53-55} que compararon la FCM en un ejercicio de natación con la obtenida en un ejercicio de carrera indican una considerable diferencia entre los resultados, con una FCM menor de entre 10-22 latidos en el ejercicio de natación. Más recientemente, Mazzeo y Tanaka⁵⁶ han señalado que en los ejercicios realizados en el agua se produce una braquicardia en la FCM del orden de 10 lpm, siendo necesario restar estos valores en las ecuaciones formuladas para un medio terrestre. Así que la gran mayoría de las ecuaciones propuestas solamente han abarcado el ejercicio de carrera. Esto permite un gran abanico de posibilidades de estudios exploratorios sobre la FCM en diferentes formas de ejercicio físico. Veamos algunos ejemplos.

La ecuación FCM = 208,75 - 0,73 edad¹² se considera la más adecuada para la población general de entre 18-30 años para ejercicio en carrera, tanto para hombres como para mujeres⁷. El trabajo de Marins et al (2007)⁵⁷ apuntó que para esfuerzos en bicicleta en personas sin perfil competitivo las ecuaciones más adecuadas fueron para hombres FCM = 202 - 0,72 edad⁵⁸ y para mujeres FCM = 189 - 0,56 edad⁴⁹. Más recientemente, Whyte et al²¹ han propuesto dos ecuaciones para deportistas jóvenes según el factor sexo, como se puede apreciar en la tabla 2.

Algunos autores propusieron ecuaciones con modelos de regresión múltiple que son más complejos, añadiendo otra variable además de la edad (tabla 3). Son ejemplos las ecuaciones de Sheffield et al⁵⁹, que añaden en la ecuación un factor que corresponde a la FC submaximal en tapiz; Londeree y Moeschberger¹⁴, que consideran la etnia, el tipo de ergómetro, el nivel físico y el tipo de protocolo; Johnson y Prins⁶⁰, que consideran la percepción subjetiva de esfuerzo y FC submaximal; Whaley et al⁶¹, que proponen la FC en reposo, el peso corporal y el tabaquismo; Miller et al⁶², para personas con IMC superior a 30 kg/m², y Graettinger et al⁶³, que proponen la dimensión del ventrículo izquierdo o delta epinefrina. Más recientemente, Karavirta et al⁶⁴ establecen también una influencia de la variabilidad de la FC. Estos trabajos son ejemplos en los que se han tomado en consideración otras variables, además de la edad, para el cálculo de la FCM, mejorando así la exactitud de sus ecuaciones frente a la típica de 220 - edad, que puede llegar a presentar un margen de error de 45 lpm¹⁴.

A la hora de utilizar una ecuación para estimar la FCM con los objetivos de prescripción de ejercicio, control del entrenamiento o análisis clínico es fundamental conocer las características del deportista o evaluado con el fin de proceder a la elección adecuada de la ecuación estimativa de la FCM, mejorando así la acción profesional. Adoptar una ecuación única para todos los casos y los ambientes solamente por tradición o costumbre no parece ser una actitud correcta.

Conclusiones

La FCM proporciona una importante gama de informaciones aplicadas tanto al entrenamiento deportivo como al

ambiente clínico de evaluación física. En el caso de utilizar una ecuación para estimar la FCM se debería realizar tras un análisis crítico, ya que existe un gran número de ecuaciones que han sido propuestas para diferentes grupos de población, como por ejemplo personas con enfermedad coronaria, hipertensos, con retraso mental, obesos, así como para hombres y mujeres, además de para deportistas o sedentarios. Por tanto, es necesario seleccionar aquella ecuación que estime con mayor exactitud la FCM, para que en el ámbito del entrenamiento deportivo no se cometan errores metodológicos graves en la planificación, y para que en el ámbito clínico se valore el estado de la persona y se prescriba el ejercicio físico con máxima seguridad.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- Robergs RA, Dwyer D, Astorino T. Recommendations for improved data processing from expired gas analysis indirect calorimetry. *Sports Med.* 2010;40:95–111.
- Wirnitzer KC, Kornel E. Exercise intensity during an 8-day mountain bike marathon race. *Eur J Appl Physiol.* 2008;104:999–1005.
- Midgley AW, McNaughton LR, Polman R, Marchant D. Criteria for determination of maximal oxygen uptake: A brief critique and recommendations for future research. *Sports Med.* 2007;37:1019–28.
- Karvonen M, Vuorima T. Heart rate and exercise intensity during sports activities: Practical application. *Sports Med.* 1988;5:303–12.
- Marins J. Comparación de la frecuencia cardiaca máxima y fórmulas para su predicción [tesis doctoral]. Granada: INEF Universidad de Granada; 2003.
- Marins J, Delgado M. Comparação da frequência cardíaca máxima por meio de provas com perfil aeróbico e anaeróbico. *Fit Perf J.* 2004;3:166–74.
- Marins J, Delgado M. Empleo de ecuaciones para predecir la frecuencia cardiaca máxima en carrera para jóvenes deportistas. *Arch Med Deport.* 2007;24:112–20.
- Lucía A, Rabadán M, Hoyos J, Hernández-Capilla M, Pérez M, San Juan AF, et al. Frequency of the VO₂max plateau phenomenon in world-class cyclists. *Int J Sports Med.* 2006;27:984–92.
- Gellish RL, Goslin BR, Olson RE, McDonald A, Russi GD, Moudgil VK. Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39:822–9.
- Silva VA, Bottaro M, Justino MA, Ribeiro MM, Lima RM, Oliveira RJ. Maximum heart rate in Brazilian elderly women: Comparing measured and predicted values. *Arq Bras Cardiol.* 2007;88:314–20.
- Robergs R, Landwehr R. The surprising history of the “HR_{max} = 220 – age” equation. *JEPonline.* 2002;5.[consultado 1/3/2010]. Disponible en: <http://www.css.edu/users/tboone2/asep/JEPonline.html>.
- Tanaka H, Monahan K, Seals D. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol.* 2001;37:153–6.
- Skinner J. Prova de esforço e prescrição de exercícios. Rio de Janeiro: Revinter; 1991.
- Londeree B, Moeschberger M. Effect of age and other factors on maximal heart rate. *Res Q Exerc Sport.* 1982;53:297–304.
- Balmer J, Potter CR, Bird SR, Davison RC. Age-related changes in maximal power and maximal heart rate recorded during a ramped test in 114 cyclists age 15–73 years. *J Aging Phys Act.* 2005;13:75–86.
- Balmer J, Bird S, Davison R. Indoor 16.1-km time-trial performance in cyclists aged 25–63 years. *J Sports Sci.* 2008;26:57–62.
- Fornitano LD, Godoy MF. Exercise testing in individuals with morbid obesity. *Obes Surg.* 2010;20:583–8.
- deJong AT, Bonzheim K, Franklin BA, Saltarelli W. Cardiorespiratory responses to maximal arm and leg exercise in national-class marathon runners. *Phys Sportsmed.* 2009;37:120–6.
- Antonacci L, Mortimer LF, Rodrigues VM, Coelho DB, Soares DD, Silami-Garcia E. Competition, estimated, and test maximum heart rate. *J Sports Med Phys Fitness.* 2007;47:418–21.
- Phillips VK, Legge M, Jones LM. Maximal physiological responses between aquatic and land exercise in overweight women. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40:959–64.
- Whyte GP, George K, Shave R, Middleton N, Nevill AM. Training induced changes in maximum heart rate. *Int J Sports Med.* 2008;29:129–33.
- Zavorsky GS. Evidence and possible mechanisms of altered maximum heart rate with endurance training and tapering. *Sports Med.* 2000;29:13–26.
- Roffey DM, Byrne NM, Hills AP. Effect of stage duration on physiological variables commonly used to determine maximum aerobic performance during cycle ergometry. *J Sports Sci.* 2007;25:1325–35.
- Miller GS, Dougherty PJ, Green JS, Crouse SF. Comparison of cardiorespiratory responses of moderately trained men and women using two different treadmill protocols. *J Strength Cond Res.* 2007;21:1067–71.
- Kravitz L, Robergs R, Heyward V, Wagner D, Powers K. Exercise mode and gender comparisons of energy expenditure at self – selected intensities. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29:1028–35.
- Scolfaro L, Marins J, Regazzi A. Estudo comparativo da FCM em três modalidades cíclicas. *Revista da APEF.* 1998;13:44–54.
- Gilman M. The use of heart rate to monitor the intensity of endurance training. *Sports Med.* 1996;21:73–9.
- Marins J, Giannichi R. Avaliação e prescrição de atividade física. Rio de Janeiro: Shape; 2003.
- Kesaniemi Y, Danforth E, Jensen M, Kopelman P, Lefebvre P, Reeder B. Dose-response issues concerning physical activity and health: An evidence-based symposium. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:S351–8.
- Comité Olímpico Internacional (COI). Declaración de consenso del COI. Entrenamiento de atletas infantiles de élite. *Apunts Med Esport.* 2008;43:97–8.
- Froelicher V, Myers J, Follansbee W, Labovitz A. Exercício e o coração. Rio de Janeiro: Revinter; 1998.
- Lounana J, Campion F, Noakes TD, Medelli J. Relationship between %HR_{max}, %HR reserve, %VO₂max, and %VO₂ reserve in elite cyclists. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39:350–7.
- Karvonen M, Kentala E, Mustala O. The effects of training on heart rate: A longitudinal study. *Ann Med Exp Biol Fenn.* 1957;35:307–15.
- Waddoups L, Wagner D, Falon J, Heath E. Validation of a single-stage submaximal treadmill walking test. *J Sports Sci.* 2008;26:491–7.
- 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. *Eur J Appl Physiol.* 2007;101:397–407.
- Ebbeling CB, Ward A, Puleo EM, Widrick J, Rippe JM. Development of a single-stage submaximal treadmill walking test. *Med Sci Sports Exerc.* 1991;23:966–73.
- Astrand P, Ryhming I. A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J Appl Physiol.* 1954;7:218–21.
- Uth N, Sørensen H, Overgaard K, Pedersen PK. Estimation of VO₂max from the ratio between HR_{max} and HR_{rest} – the Heart Rate Ratio Method. *Eur J Appl Physiol.* 2004;91:111–5.

39. Montgomery PG, Green DJ, Etxebarria N, Pyne DB, Saunders PU, Minahan CL. Validation of heart rate monitor-based predictions of oxygen uptake and energy expenditure. *J Strength Cond Res.* 2009;23:1489–95.
40. Howley E. Type of activity: resistance, aerobic and leisure versus occupational physical activity. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:s364–9.
41. Poole DC, Wilkerson DP, Jones AM. Validity of criteria for establishing maximal O₂ uptake during ramp exercise tests. *Eur J Appl Physiol.* 2008;102:403–10.
42. Howley E, Bassett D, Welch H. Criteria for maximal oxygen uptake: Review and commentary. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27:1292–301.
43. American College Of Cardiology (ACC)/American Heart Association (AHA). (2002) ACC/AHA Guideline update for exercise testing: Summary article. *Circulation.* 2002;106:1883–92.
44. De Izaguirre I, Suñé D, Huelin F, Dulanto D, Gutiérrez Rincón J. El VT₂ se encuentra muy próximo al 90% de la frecuencia cardíaca máxima individual. *Apunts Med Esport.* 2004;39:5–10.
45. Snyder A, Kuipers H, Cheng B, Servais R, Franssen E. Overtraining following intensified training with normal muscle glycogen. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27:1063–70.
46. Wilmore J, Costill D. *Fisiologia do esporte e do exercício.* São Paulo: Manole; 2001.
47. Powers S, Howley E. *Fisiologia do exercício: Teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho.* São Paulo: Manole; 2000.
48. American College of Sports Medicine (ACSM). *Diretrizes do ACSM para os testes de esforço e sua prescrição.* Rio de Janeiro: Guanabara; 2003.
49. Fernhall B, McCubbin J, Pitetti K, Rintala P, Rimmer J, Millar A, et al. Prediction of maximal heart rate in individuals with mental retardation. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:1655–60.
50. Wilmore J, Stanforth P, Gagnon J, Rice T, Mandel S, Leon A, et al. Heart rate and blood pressure changes with endurance training: The HERITAGE family Study. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:107–16.
51. Schiller B, Casas Y, Desouza A, Seals D. Maximal aerobic capacity across age in healthy Hispanic and Caucasian women. *J Appl Physiol.* 2001;91:1048–54.
52. Weston A, Karamizrak O, Smith A, Noakes T, Myburgh K. African runners exhibit greater fatigue resistance, lower lactate accumulation, and higher oxidative enzyme activity. *J Appl Physiol.* 1999;86:915–23.
53. Hauber C, Sharp R, Franke W. Heart rate responses to submaximal and maximal workloads during running and swimming. *Int J Sports Med.* 1996;18:347–53.
54. Dicarlo L, Sparling P, Millard-Stafford M, Rupp J. Peak heart rates during maximal running and swimming: Implications for exercise prescription. *Int J Sports Med.* 1991;12:309–12.
55. Millard-Stafford M, Sparling P, Roskopf L, Hinson B, Dicarlo L. Carbohydrate-electrolyte replacement during a simulated triathlon in the heat. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22:621–8.
56. Mazzeo R, Tanaka H. Exercise prescription for the elderly. *Sports Med.* 2001;31:809–11.
57. Marins J, Delgado F, Fernandez-Castany B. Frecuencia cardíaca máxima en jóvenes sometidos a ejercicio en cicloergómetro. *Arch Med Deporte.* 2007;34:377.
58. Jones N, Makrides L, Hitchcock C, Chypchar T, McCartney N. Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. *Am Rev Respir Dis.* 1985;131:700–8.
59. Sheffield L, Maloof J, Sawyer J, Roitman D. Maximal heart rate and treadmill performance of healthy women in relation to age. *Circulation.* 1978;57:79–84.
60. Johnson J, Prins A. Prediction of maximal heart rate during a submaximal work test. *J Sports Med Phys Fitness.* 1991;31:44–7.
61. Whaley M, Kaminsky L, Dwyer G, Getchell L, Norton J. Predictors of over- and underachievement of age – predicted maximal heart rate. *Med Sci Sports Exerc.* 1992;24:1173–9.
62. Miller W, Wallace J, Eggert K. Predicting max hr and the HR-VO₂ relationship for exercise prescription in obesity. *Med Sci Sports Exerc.* 1993;25:1077–81.
63. Graettinger W, Smith D, Neutel J, Myers J, Froelicher V, Weber M. Relationship of left ventricular structure to maximal heart rate during exercise. *Chest.* 1995;107:341–5.
64. Karavirta L, Tulppo MP, Nyman K, Laaksonen DE, Pullinen T, Laukkanen RT, et al. Estimation of maximal heart rate using the relationship between heart rate variability and exercise intensity in 40–67 years old men. *Eur J Appl Physiol.* 2008;103:25–32.