

Precisión de las ecuaciones para estimar la frecuencia cardíaca máxima en cicloergómetro

João Carlos Bouzas Marins¹, Manuel Delgado Fernández², Pedro J. Benito Peinado³

¹Universidade Federal de Viçosa – Dep. Ed. Física – Laboratorio de Performance Humana

²Universidad de Granada – Facultad de Ciencias del Deporte

³Universidad Politécnica de Madrid. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Recibido: 02.08.2012

Aceptado: 16.08.2012

Resumen

Objetivos: Comparar la precisión de ecuaciones para estimar la frecuencia cardíaca máxima (FCM) en cicloergómetro para jóvenes.

Material y Métodos: La muestra estuvo compuesta por 51 hombres ($22,2 \pm 2,7$ años) y 17 mujeres ($21,9 \pm 1,9$ años). La prueba consistió en realizar, tras un período de calentamiento de 10 minutos, una fase de ejercicio a la máxima velocidad durante un minuto en cicloergómetro, aplicándole al evaluado como resistencia una carga de 3 vatios por cada Kg de peso corporal. Fueron consideradas un total de 53 ecuaciones para contrastar la FCM obtenida durante la prueba máxima en cicloergómetro. Se empleó la *t* de Student para muestras relacionadas, para comparar los valores medios entre los dos grupos ($FCM_{predicha}$ vs $FCM_{obtenida}$) con el fin de determinar la similitud entre los datos.

Resultados: Se obtuvo una FCM durante la prueba en ciclo de $183,5 \pm 8,1$ lpm (hombres) y $175,6 \pm 8,5$ lpm (mujeres). Entre las 53 fórmulas de predicción de FCM evaluadas para el ejercicio en cicloergómetro, entre los hombres solamente seis fórmulas presentaron un $P > 0,05$, sin embargo entre las mujeres fueron aceptadas solamente dos ecuaciones. La ecuación ($FCM = 220 - edad$) ha sobrevalorado sistemáticamente la FCM predicha tanto en hombres como en mujeres.

Conclusiones: La mayor parte de las ecuaciones evaluadas no son precisas para estimar la FCM en cicloergómetro. Para predecir la FCM en ejercicio de cicloergometría en hombres se recomienda la ecuación ($FCM = 202 - 0,72 * edad$) y para mujeres ($CM = 189 - 0,56 * edad$) o ($FCM = 196 - 0,9 * edad$). No se sugiere emplear la ecuación ($FCM = 220 - edad$) para predecir la FCM para una población de jóvenes adultos.

Palabras clave:

Frecuencia cardíaca.
Prueba ergométrica.
Esfuerzo físico.

Accuracy of different equation to predict maximal heart rate in cycle ergometer

Summary

Objectives: Comparing equations to predict the maximum heart rate (MHR) in cycle ergometer in young people.

Material and Methods: The sample was composed by 51 male (22.2 ± 2.7 years) and 17 female (21.9 ± 1.9 years). After a 10 min warm-up period, the subjects performed a maximum speed test during 1 minute, applying as resistance a load of 3 watts per Kg body weight. A total of 53 equations were considered to contrast their results with the MHR obtained during the maximum test at cycle ergometer. Paired Student's *t*-test was used to compare the mean values between the groups (MHR_{prev} and MHR_{obt}) in order to determinate the similarity between the data.

Results: The MHR mean values were 183.5 ± 8.1 bpm (male) and 175.6 ± 8.5 bpm (female). Among the MHR prediction equations for cycle exercise, only six of them showed a $p > 0.05$ for men, meanwhile only two equations were accepted for women. The equation ($MHR = 220 - age$) systematically overestimated the predicted MHR both in men and women.

Conclusions: The most suitable equation to predict MHR in cycle ergometer exercise for men was ($MHR = 202 - 0.72 * age$), while for women ($MHR = 189 - 0.56 * age$) or ($MHR = 196 - 0.9 * age$) were the most adequate. We suggest no to use the equation ($MHR = 220 - age$) to predict MHR in young people.

Key words:

Heart rate.
Ergometry test.
Physical exertion

Apoyos: Fundación Carolina - España, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Brasil

Correspondencia: João Carlos Bouzas Marins

E-mail: jcbouzas@ufv.br

Introducción

La frecuencia cardíaca máxima (FCM) es un parámetro muy empleado para ayudar en la planificación de la actividad física¹⁻³, y para realizar diagnósticos clínicos^{4,5}. Se considera la FCM como el valor que se registra de FC tras un esfuerzo incremental donde existiendo un aumento de la intensidad su valor se mantiene estable⁶.

Para el cálculo de la FCM, existen muchas ecuaciones posibles. Se considera a de Robson (1938), citado por Londeree y Moeschberger (1982)⁷ como el primero en establecer una ecuación que relaciona la edad con la FCM [$FCM = 212 - 0,775 (\text{edad})$]. Sin embargo, la fórmula más extendida en el campo de la Medicina del Deporte^{6,8} es la que considera la $FCM = 220 - \text{edad}$.

Hay que añadir que existen otras 50 ecuaciones^{9,10}, lo que demuestra que este tema sigue siendo objeto de estudio, ya que existen otras variables que pueden influir en la respuesta de la FCM y que no han sido consideradas por estas ecuaciones. Los trabajos de Londeree y Moeschberger (1982)⁷, Johson y Prins (1991)¹¹, Whaley, *et al.* (1992)¹², Miller, *et al.* (1993)¹³ son ejemplos de estudios en los que se han tomado en consideración otras variables (género, tipo de ejercicio y condición física), además de la edad, para el cálculo de la FCM, mejorando así la exactitud de sus ecuaciones frente a la tradicional de $220 - \text{edad}$, que puede llegar a presentar un margen de error de 45 lpm⁷. Pero la mayor parte de estas ecuaciones fueron elaboradas para ejercicio de carrera.

El ejercicio de ciclismo impone una carga física distinta frente al ejercicio de carrera, lo que puede influir sobre la respuesta de la frecuencia cardíaca máxima^{14,15}. Marins (2003)¹⁶ apunta solamente 4 ecuaciones de un conjunto de 53 ecuaciones, para calcular la FCM de manera específica para el ejercicio en cicloergometría.

Es muy importante tener claro cual es la ecuación más precisa para ser empleada en cada situación de ejercicio, para poder realizar un correcto control de la carga de entrenamiento en una planificación individual del mismo. El control de la FCM sirve como indicador de otros parámetros en el ejercicio. La primera aplicación que puede tener una ecuación para predecir la FCM es la de ser considerada como referente a la hora de determinar la interrupción en una prueba ergométrica^{17,18}. En pruebas submaximales se utiliza la FCM predicha en la metodología para estimar la $VO_2\text{max}$ como en Marsh (2012)¹⁹, o Faulkner, *et al.*²⁰ además de la tradicional prueba en cicloergómetro de Åstrand y Ryhming²¹. Por otra parte, en los estudios de gasto energético diario, es posible calcular la energía consumida tomando como base un porcentaje del trabajo de la FCM²².

También es posible 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 respecto a la FCM calculada²³. La FCM también permite estimar franjas de entrenamiento durante una prueba maximal²⁴. Además una disminución en la FCM de 5 lpm a lo largo del tiempo puede indicar un estado de sobrentrenamiento²⁵.

No cabe duda que la FCM se ve influenciada por la edad^{4,5,7,26}. Sin embargo, estudios longitudinales sobre la respuesta de la FCM apuntan que ese descenso no es una línea de regresión continua, como prevé la mayor parte de las ecuaciones, pero sí una exponencial^{4,27}. Así, es proba-

ble que las ecuaciones tengan que ser específicas según determinados rangos de edad en función de determinadas características^{4,7,18,27-32}, lo cual genera interés en investigar la respuesta específica en determinadas franjas de edad, comenzando por los jóvenes.

Hay que añadir que existen evidencias científicas que apuntan que el tipo de ejercicio afecta la respuesta de la FCM^{14-16,33-35}. Por su parte eso interfiere en la utilización de una o otra ecuación, bien para establecer las zonas de entreamiento o bien para pruebas de laboratorio maximales y/o submaximales. Esto parece dejar claro que emplear una ecuación general para todas las edades y condiciones de ejercicio no parece ser correcto durante una intervención profesional o de investigación. Por otro lado, evidencia la necesidad de investigación para poder identificar que ecuaciones son más precisas para determinados rangos de edad y tipo de ejercicio. Por estos motivos, el objetivo del estudio ha sido comparar la precisión de ecuaciones para estimar la FCM en cicloergómetro en jóvenes.

Material y método

Sujetos

Se seleccionó un grupo de jóvenes universitarios. La muestra estuvo compuesta por 51 hombres ($22,2 \pm 2,7$ años) y 17 mujeres ($21,9 \pm 1,9$ años). Se consideraron criterios de exclusión ser fumador, consumir cualquier tipo de droga o medicamento que pudiese interferir en la FCM, padecer enfermedad metabólica o cardíaca. Con el fin de garantizar que los participantes no presentaban ningún tipo de riesgo coronario, se realizó encuestas para determinar la existencia de algún factor de riesgo. La primera encuesta se utilizó la propuesta por Heyward³⁶. Ya la segunda se empleó la encuesta conocida como PARq³⁷. En el caso de que se detectará algún factor de riesgo se excluía inmediatamente al sujeto. Este procedimiento se tomó como medida de seguridad, ya que la intensidad del ejercicio máximo exige una perfecta capacidad cardíaca. También se llevó a cabo un examen médico, que incluía la realización de un electrocardiograma de reposo. Los participantes debían de haber realizado un programa de actividad física en los últimos cinco meses, con una frecuencia semanal mínima de tres días y con sesiones de no menos de 1 hora de duración.

El estudio fue aprobado por el comité de ética de la Universidad Federal de Viçosa MG - Brasil. De esta forma, se adoptaron todas las medidas de seguridad, protegiendo así la integridad física y psicológica del evaluado, teniendo en cuenta la normativa del Gobierno Brasileño para estudios con seres humanos y las recomendaciones del tratado de Helsinki, y todos los sujetos tras ser informados del protocolo dieron su consentimiento por escrito.

El diseño del estudio

La estrategia en la recogida de los datos fue de tipo transversal. Se consideró como variable dependiente (o resultado) el valor de la FCM obtenida (FCM_{OBT}) tras un esfuerzo máximo. Como variables independientes (o predictoras) fueron tomadas las diversas ecuaciones formuladas para calcular la FCM (Tabla 1).

Tabla 1. Ecuaciones para estimar la FCM.

Ecuación	Estudio	N	Fórmula de regresión
1	ACSM (1995)		FCM = 210 - 0,5 (edad)
2	Astrand ^{cicloergómetro}	100	FCM = 211 - 0.922 (edad)
3	Astrand		FCM = 216 - 0,84 (edad)
4	Ball State University		FCM = 214 - 0,8 (edad)
5	Ball State University		FCM = 209 - 0,7 (edad)
6	Brick (1995)		FCM = 226 - (edad)
7	Bruce, et al. (1974)	2091	FCM = 210 - 0.662 (edad)
8	Bruce, et al. (1974)	1295	FCM = 204 - 1.07 (edad)
9	Bruce, et al. (1974)	2091	FCM = 210 - 0.662 (edad)
10	Cooper	2535	FCM = 217 - 0.845 (edad)
11	Ellestad	2583	FCM = 197 - 0.556 (edad)
12	Engels, et al. (1998)	104 H y 101 M	FCM = 213,6 - 0,65 (edad)
13	Fernandez (1998)		FCM = 200 - 0,5 (edad)
14	Fernandez (1998)		FCM = 210 - (edad)
15	Fernhall, et al. (2001)	276	FCM = 189 - 0.56 (edad)
16	Fernhall, et al. (2001)	296	FCM = 205 - 0.64 (edad)
17	Froelicher y Myers(2000)	1317	FCM = 207 - 0.64 (edad)
18	Graettinger, et al. (1995)	41	FCM = 200 - 0,71 (edad)
19	Graettinger, et al. (1995)	114	FCM = 199 - 0.63 (edad)
20	Graettinger, et al. (1995)	73	FCM = 197 - 0,63 (edad)
21	Hammond	156	FCM = 209 - (edad)
22	Hakki (1983)		FCM = 205 - 0,5 (edad)
23	Hossack y Bruce (1982)	104	FCM = 206 - 0.59 (edad)
24	Hossack y Bruce (1982)	98	FCM = 227 - 1.067 (edad)
25	Inbar, et al. (1994)	1424	FCM = 205.8 - 0.685 (edad)
26	Jones, et al. (1985) ^{cicloergómetro}	100	FCM = 202 - 0.72 (edad)
27	Jones, et al. (1975)		FCM = 210 - 0.65 (edad)
28	Jones, et al. (1985)	60	FCM = 201 - 0.63 (edad)
29	Karvonen, et al.		FCM = 220 - (edad)
30	Lester, et al. (1968)	42	FCM = 205 - 0.41 (edad)
31	Lester, et al. (1968)	148	FCM = 198 - 0.41 (edad)
32	Londeree y Moeschberger (1982)		FCM = 206.3 - 0.711 (edad)
33	Miller, et al. (1993)	51	FCM = 217 - 0,85 (edad)
34	Miller, et al. (1993)	35	FCM = 219 - 0,85 (edad)
35	Miller, et al. (1993)	16	FCM = 218 - 0,98 (edad)
36	Morris	1388	FCM = 196 - 0.9 (edad)
37	Morris	244	FCM = 200 - 0.72 (edad)
38	Ricard, et al. (1990)	193	FCM = 209 - 0.587 (edad)
39	Ricard, et al. (1990) ^{cicloergómetro}	193	FCM = 205 - 0,687 (edad)
40	Robinson	92	FCM = 212 - 0.775 (edad)
41	Rodeheffer, et al. (1984)	61	FCM = 214 - 1.02 (edad)
42	Rodeheffer, et al. (1984) ^{cicloergómetro}	47 H y 14 M	FCM = 208,19 - 0,95 (edad)
43	Schiller, et al. (2001)	53	FCM = 213.7 - 0.75 (edad)
44	Schiller, et al. (2001)	93	FCM = 207 - 0.62 (edad)
45	Sheffield, et al. (1978)	95	FCM = 216 - 0.88 (edad)
46	Tanaka, et al. (1997)	84	FCM = 199 - 0,5 (edad)
47	Tanaka, et al. (1997)	72	FCM = 207 - 0,60 (edad)
48	Tanaka, et al. (2001)	285	FCM = 211 - 0.8 (edad)
49	Tanaka, et al. (2001)		FCM = 207 - 0.7 (edad)
50	Tanaka, et al. (2001)	229	FCM = 206 - 0.7 (edad)
51	Tanaka, et al. (2001)	18.712	FCM = 208,75 - 0,73 (edad)
52	Whaley, et al. (1992)	1256	FCM = 213 - 0,789 (edad)
53	Whaley, et al. (1992)	754	FCM = 208,8 - 0,723 (edad)

Edad expresa en años; H = Hombres; M = Mujeres; Tabla adaptada de Marins, et al. (2010)⁹

El método empleado para obtener la FCM en los evaluados correspondió a una prueba de alta intensidad. Antes de la realización de la prueba, se realizó un período de calentamiento en dos fases. En la primera, el evaluado debía pedalear con una resistencia del 30% de la carga principal durante un período de 5 minutos, manteniendo una

cadencia constante entre 55 y 60 rpm. En el segundo período, la resistencia de la cicloergómetro correspondió al 60% de la carga principal, con una duración igual a la anterior.

La parte principal de la prueba consistió en realizar un ejercicio a la máxima velocidad durante un minuto, aplicándole al evaluado como

resistencia una carga de 3 vatios por cada Kg de peso corporal. Para el protocolo de evaluación se adaptó el test "Wingate", empleado para determinar la capacidad anaerobia³⁸, siendo ya empleada en otro estudio una metodología semejante¹⁵. Se consideró como FCM el valor más alto de FC obtenido en los 30 segundos finales de ejercicio. La elección del protocolo se hizo en base a trabajos anteriores^{39,40} que demuestran que con estímulos cortos y máximos de más de 30 segundos se puede alcanzar la FCM.

Se realizó las medidas antropométricas, siguiendo las orientaciones del Grupo Español de Cineantropometría (GREC, 2009)⁴¹. Para el cálculo del porcentaje de grasa corporal se empleó la ecuación de Jackson *et al.* (1985)⁴² de tres pliegues cutáneos. Los principales materiales empleados para la toma de datos de la FCM, fueron para el registro de la FC el sistema Polar® modelo Accurex Plus®, además del cicloergómetro mecánico de marca Monark®.

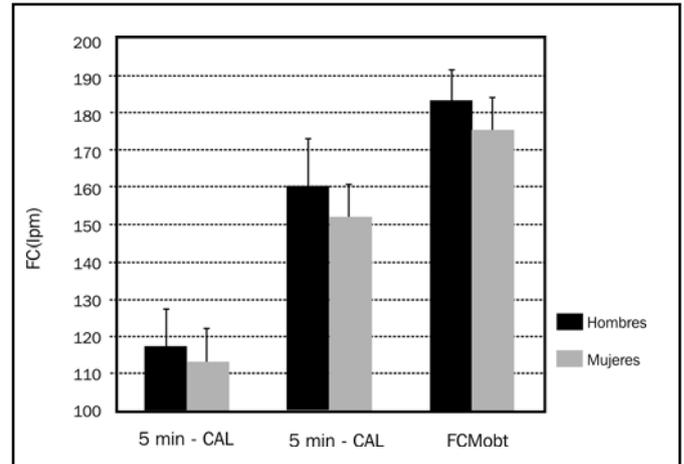
Para el análisis estadístico empleó para la primera fase, una vez comprobada la distribución normal de los datos, una estadística descriptiva, mostrando los valores medios y desviación típica obtenidos con el cálculo de FCM por diferentes ecuaciones, además de la FCM registrada. Se empleó el test de la *t* de Student para muestras relacionadas, para comparar los valores medios entre los dos grupos (FCM_{predicha} vs FCM_{obtenida}) con el fin de determinar la similitud entre los datos. En todas las pruebas estadísticas, se adoptó un nivel de significación del $\alpha = 0,05$.

Resultados

Los valores medios y desviación típica de los varones evaluados para los datos antropométricos de peso, talla y porcentaje de tejido graso, fueron de $66,8 \pm 3,2$ kg; $173,9 \pm 6$ cm; $8,9 \pm 1,2\%$ en los hombres. Para las mujeres los valores correspondieron al $56,5 \pm 9$ kg; $162,5 \pm 1,4$ cm; $13 \pm 5,1\%$. En la Figura 1 se presentan los resultados de progresión de la FC durante los 10 minutos de calentamiento, además de la FC obtenida tras realizar 60 segundos de ejercicio en un esfuerzo máximo obtenidos por hombres y mujeres.

Se tomó como base el valor más alto de la FCM obtenido durante la prueba de 1 minuto, para contrastar la FCM_{obt} con la calculada por diversas ecuaciones. El test de la *t* de Student indicó que la mayor

Figura 1. FC durante la prueba máxima en cicloergómetro en hombres y mujeres.



parte de las ecuaciones presentan una diferencia significativa ($P < 0,05$) tanto en hombres como en mujeres, indicando así que no son precisas. Por otro lado, en la Tabla 2 se exponen las ecuaciones, para hombres y mujeres respectivamente, indicándose cuáles son las ecuaciones con las que no se observaron diferencias significativas ($P > 0,05$), siendo éstas consideradas como más precisas para la estimación.

Discusión

Los principales resultados obtenidos en la prueba de cicloergómetro, apuntan que existen ecuaciones específicas que pueden ser utilizadas para predecir con mayor exactitud la FCM para el ejercicio realizado en cicloergómetro en sujetos jóvenes. Cuando se comparan los resultados de la Figura 1 con los valores calculados por las 53 ecuaciones expuestas en la Tabla 1, se observa que estadísticamente no presentaron diferencias significativas ($P > 0,05$) 6 ecuaciones entre los hombres y solamente 2 ecuaciones entre las mujeres (Tabla 2).

Es importante subrayar que se optó por testar el total de las 53 ecuaciones, aunque solamente son consideradas específicas para un

Tabla 2. Ecuaciones aceptadas para calcular la FCM en cicloergómetro en hombres y mujeres.

Ecuación	Estudio	Fórmula	Media	DT	$\Delta FCM_{cal} - FCM_{obt}$
HOMBRES					
11	Ellestad*	$FCM = 197 - .556 * edad$	184,6	1,5	1,1
18	Graettinger, <i>et al.</i> (1995) ⁴⁴	$FCM = 200 - 0.71 * edad$	184,1	1,9	0,6
19	Graettinger, <i>et al.</i> (1995) ⁴⁴	$FCM = 199 - 0.63 * edad$	184,9	1,7	1,4
20	Graettinger, <i>et al.</i> (1995) ⁴⁴	$FCM = 197 - 0.63 * edad$	182,9	1,7	- 0,6
26	Jones, <i>et al.</i> (1985) ⁴⁵	$FCM = 202 - 0.72 * edad$	185,9	2,0	2,4
37	Morris*	$FCM = 200 - 0.72 * edad$	183,9	2,0	0,4
MUJERES					
15	Fernhall, <i>et al.</i> (2001) ⁴⁶	$FCM = 189 - 0.56 * edad$	176,7	1,0	1,1
36	Morris*	$FCM = 196 - 0.9 * edad$	176,2	1,7	0,6

FCM_{obt} en hombres = $183,5 \pm 8,1$ lpm; FCM_{obt} en mujeres = $175,6 \pm 8,5$ lpm; (*) en Froelicher, *et al.* (1998)⁴³

ejercicio de ciclismo 4 de ellas, las de números 2, 26, 39 y 42. El tratamiento estadístico consideró, para los hombres, las ecuaciones nº 11, 18, 19, 20, 26 y 37 como las más precisas para calcular la FCM en el ciclismo, mientras que para las mujeres fueron las ecuaciones nº 15 y 36, al no observarse diferencias significativas ($P > 0,05$).

Hay que apuntar que de las seis ecuaciones consideradas como precisas para el género masculino, solo la de Jones, et al. (1985)⁴⁵ (nº 26) ($FCM = 202 - 0,72 * edad$) es la única que fue originariamente elaborada para un ejercicio de ciclismo, comprobándose en este estudio su validez. Con las demás ecuaciones propuestas originariamente para este tipo de ejercicio, las números 2, 39 y 42, se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$), por lo que su empleo debe ser evaluado de manera más crítica, ya que su aplicación para un ejercicio en cicloergómetro realizado por hombres es muy discutible. Es importante también destacar que de las 6 ecuaciones indicadas como más precisas, todas habían sido elaborada para personas del género masculino.

Figura 2. Distribución de FCM_{obtenida} entre los hombres y líneas de regresión de dos ecuaciones para calcular la FCM.

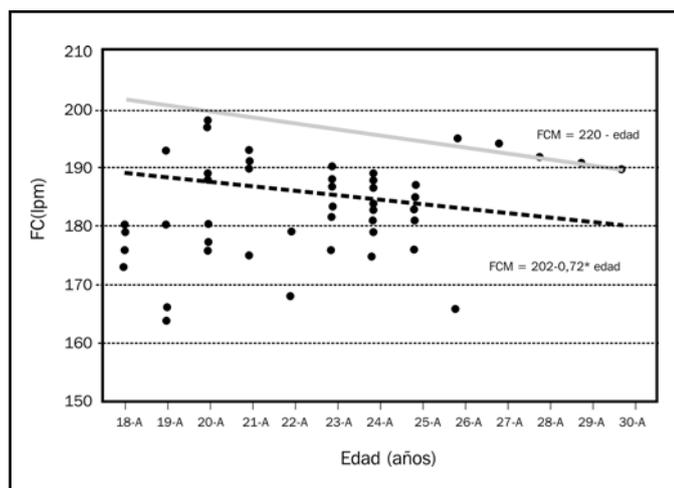
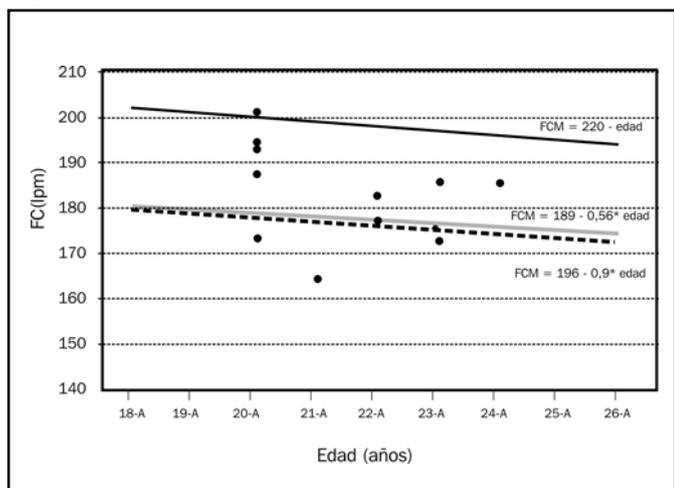


Figura 3. Distribución de FCM_{obtenida} entre las mujeres y líneas de regresión de tres ecuaciones para calcular la FCM.



Tomando como base los resultados obtenidos en este estudio, solamente dos ecuaciones son consideradas precisas para las mujeres. No son frecuentes los estudios en los que se compare la FCM obtenida en mujeres con la calculada mediante ecuaciones. En el trabajo de Scolfaro et al. (1998)¹⁵ se obtuvieron resultados semejantes a los de este estudio, ya que tanto la ecuación nº 27 ($FCM = 210 - 0,65 * edad$), como la nº 29 ($FCM = 220 - edad$), fueron rechazadas, al observarse diferencias significativas ($P < 0,05$) entre el valor estimado y el real.

La ecuación $FCM = 220 - edad$ es empleada normalmente tanto en el ámbito del entrenamiento como en pruebas de laboratorio. Sin embargo, las Figuras 2 y 3 señalan que su empleo es un error ya que sobrevaloran los resultados, tanto en hombres como en mujeres, cambiando totalmente la interpretación de una prueba ergométrica tanto submaximal como maximal. Así, tanto los investigadores como los profesionales en su rutina diaria deben ser más críticos a la hora de utilizar esa ecuación como referencia en el trabajo empleando cicloergómetro.

Es curioso observar que para las mujeres las dos ecuaciones en las que no se observó diferencias significativas ($P > 0,05$) fueron elaboradas para grupos de población muy específicos. La ecuación nº 15 de Fernhall, et al. (2001)⁴⁶ se formuló originariamente para un grupo de personas que presentaban retraso psíquico, evaluadas mediante un ejercicio de carrera. Por otra parte, la ecuación nº 36 de Morris (Froelicher, et al. 1998)⁴³ fue elaborada para personas con enfermedades coronarias.

Ciertas ecuaciones que fueron evaluadas en el presente estudio también fueron testadas en otras investigaciones^{6,7,10,12,15,26,29,30-32,41,47}. Algunas fueron consideradas precisas para el ejercicio en carrera para determinados grupos específicos, incluso jóvenes, pero ninguna de ellas fue considerada precisa para estimar la FC en cicloergómetro en nuestra investigación. Esto confirma las indicaciones de que las ecuaciones deben ser específicas para cada tipo de ejercicio^{6,14-16,33-35}.

El empleo de forma rutinaria de las ecuaciones consideradas precisas en ese estudio para hombres y mujeres deben tener en cuenta las características del grupo evaluado, adultos jóvenes activos y aparentemente saludables. Así que, ciclistas de alto nivel pueden presentar adaptaciones cardiovasculares, resistencia local e incluso motivación especial a la hora de una prueba maximal, que pueden influir en los resultados, causando así la necesidad de nuevas ecuaciones^{18,48}.

El trabajo de Lucía et al, (2006)¹⁸ deja clara la importancia del uso de ecuaciones específicas para determinados grupos. Tras evaluar en una prueba maximal en cicloergómetro a 38 ciclistas y 38 sedentarios, todos hombres, empleando la misma ecuación ($FCM = 220 - edad$) como uno de los criterios para señalar que la prueba ha sido máxima, se pudo observar que el 95% de los ciclistas llegaron a ese criterio, pero solamente el 68% de los sedentarios obtuvieron ese resultado. Así, parece que otros factores influyen en la FCM cuando se evalúa a personas ya adaptadas a ese tipo de ejercicio. Los resultados de hombres y mujeres del presente estudio concuerdan en este aspecto ya que las personas evaluadas no eran ciclistas entrenados, de manera que las ecuaciones propuestas no se pueden aplicar a ciclistas, triatletas o personas que estén entrenadas en dicha forma de ejercicio.

Esos resultados dejan claro que es necesario realizar estudios con un mayor número de sujetos de cara a generar ecuaciones específicas para el ejercicio en cicloergómetro, teniendo en cuenta grupos con distintos rangos de edad, como se refleja en el trabajo de Nes et al,

(2012)²⁷ que propuso ecuaciones tras evaluar más de 3.320 personas, Tanaka *et al*, (2001)⁴⁹ con aproximadamente 18.000 evaluados o Zhu *et al*, (2010)⁴ con 9.622 sujetos.

Hay indicaciones muy claras de que la FCM en cicloergómetro es diferente a la obtenida en el ejercicio de carrera⁵⁰. Para Carter *et al*, (2000)⁵¹ esto es debido a factores relacionados con los tipos de tensión intramusculares que son distintos entre las dos formas de ejercicio. Durante la carrera el componente excéntrico impone un mayor reclutamiento de las fibras produciendo así una mayor carga física. Esto nos indica que las ecuaciones para estimar la FCM tienen que ser específicas en función del tipo de ejercicio. Una limitación del presente estudio fue no haber sometido a los evaluados a una prueba en tapiz, hecho que podría confirmar esa condición. Otra limitación fue el número reducido de evaluados, principalmente en el caso de mujeres, lo cual ha llevado a no proponer una ecuación específica, ya que para eso sería necesario un estudio con un número mayor de sujetos.

El ejercicio en bicicleta suele ser una de las formas más utilizadas para el mantenimiento físico por la población en general. No todas las personas tienen la posibilidad de hacer una prueba maximal, lo que hace necesario emplear una ecuación para estimar la FCM que permita elaborar su entrenamiento. Eso impone la necesidad de establecer nuevas ecuaciones mejorando así la calidad de prescripción del ejercicio, además de su empleo en laboratorio durante pruebas físicas para evaluar la capacidad aeróbica.

Conclusiones

No todas las ecuaciones sirven para estimar la FCM en cicloergometría. Hay que establecer ecuaciones que sean específicas para cada perfil de población. Para jóvenes, las más ajustadas a los valores reales han sido (FCM = 202 - 0,72 * edad) para hombres y (FCM = 189 - 0,56 * edad) o (FCM = 196 - 0,9 * edad) para mujeres.

Se desaconseja totalmente el empleo de la ecuación (FCM = 220 - edad) para estimar la FCM en ejercicio empleando el cicloergómetro en esta población. Es necesaria la realización de estudios para proponer una ecuación específica para ese tipo de ejercicio considerando además el nivel de aptitud física y rangos de edad distintos.

Bibliografía

- Cunha FA, Midgley AW, Monteiro WD, Farinatti PT. Influence of cardiopulmonary exercise testing protocol and resting VO(2) assessment on %HR(max), %HRR, %VO(2max) and %VO(2)R relationships. *Int J Sports Med* 2010;31:319-26.
- Morton DP. Heart rate responses and fluid balance of competitive cross-country hang gliding pilots. *Int J Sports Physiol Perform* 2010; 5:55-63.
- Ciolac EG, Brech GC and Greve JM. Age Does Not Affect Exercise Intensity Progression Among Women. *J Strength Cond Res* 2010;24:3023-31.
- Zhu N, Suarez-Lopez JR, Sidney S, Sternfeld B, Schreiner PJ, Carnethon MR, *et al*. Longitudinal examination of age-predicted symptom-limited exercise maximum HR. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42:1519-27.
- Gulati M, Shaw LJ, Thisted RA, Black HR, Bairey Merz CN, Arnsdorf MF. Heart rate response to exercise stress testing in asymptomatic women: the St. James women take heart project. *Circulation* 2010;122:130-7.
- Silva VA, Bottaro M, Justino MA, Ribeiro MM, Lima RM and Oliveira RJ. Maximum heart rate in Brazilian elderly women: comparing measured and predicted values. *Arq Bras Cardiol* 2007; 88:314-20.
- Londeree B and Moeschberger M. Effect of age and other factors on maximal heart rate. *Res Q Exerc Sport* 1982;53:297-304.
- Wilmore J, Costill D. *Fisiología do esporte e do exercício*. São Paulo. Manole; 2001.
- Marins J, Marins NO and Delgado-Fernandez. Aplicaciones de la frecuencia cardíaca máxima en la evaluación y prescripción de ejercicio. *Apunts Med Esport*. 2010; <http://www.apunts.org/ficheros/eop/dx.doi.org/10.1016/j.apunts.2010.04.003>.
- Marins J, Delgado M. Empleo de ecuaciones para predecir la frecuencia cardíaca máxima en carrera para jóvenes deportistas. *Arch Med Deporte* 2007;24:112-20.
- Johson J, Prins A. Prediction of maximal heart rate during a submaximal work test. *J Sports Med Phys Fitness* 1991;31:44-7.
- 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.
- 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.
- Mays RJ, Boer NF, Mealey LM, Kim KH, Goss FL. A comparison of practical assessment methods to determine treadmill, cycle, and elliptical ergometer VO2 peak. *J Strength Cond Res*. 2010;24:1325-31.
- Scolfaro L, Marins J, Regazzi A. Estudo comparativo da FCM em três modalidades cíclicas. *Revista da APEF* 1998;13:44-54.
- Marins J. *Comparación de la frecuencia cardíaca máxima y fórmulas para su predicción*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Universidad de Granada, 2003.
- Robergs RA, Dwyer D, Astorino T. Recommendations for improved data processing from expired gas analysis indirect calorimetry. *Sports Med* 2010;40:95-111.
- 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; 27:984-992.
- Marsh CE. Evaluation of the American College of Sports Medicine submaximal treadmill running test for predicting VO2max. *J Strength Cond Res* 2012; 26:548-554.
- Faulkner J, Parfitt G and 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.
- Astrand P, Ryhming I. A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *Journal Appl Physiol* 1954;7:218-21.
- 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.
- Howley E, Basset D, Welch H. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:1292-1301.
- 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.
- Zavorsky GS. Evidence and possible mechanisms of altered maximum heart rate with endurance training and tapering. *Sports Med* 2000;29:13-26.
- Marins JB, Silva CD, Braga MO, Cerqueira MS, Bandeira FC. Frecuencia cardíaca máxima obtenida y predicha: estudio retrospectivo en Brasileños. *Rev Andal Med Esporte* 2010; 3:146-52.
- Nes BM, Janszky I, Wisløff U, Støylen A, Karlsen T. Age-predicted maximal heart rate in healthy subjects: The HUNT Fitness Study. *Scand J Med Sci Sports* 2012; Feb 29.
- Franckowiak SC, Dobrosielski DA, Reilley SM, Walston JD, Andersen RE. Maximal heart rate prediction in adults that are overweight or obese. *J Strength Cond Res* 2011; 25:1407-12.
- Machado FA, Denadai BS. Validity of maximum heart rate prediction equations for children and adolescents. *Arq Bras Cardiol* 2011;97:136-40.
- Sporis G, Vucetic V, Jukic I, Omrcen D, Bok D, Custonja Z. How reliable are the equations for predicting maximal heart rate values in military personnel? *Mil Med* 2011; 176:347-51.
- 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.
- Astrand PO, Bergh U, Kilbom A. A 33-yr follow-up of peak oxygen uptake and related variables of former physical education students. *J Appl Physiol* 1997;82:1844-52.
- Azevedo LB, Lambert MI, Zogaib PS, Barros Neto TL. Maximal and submaximal physiological responses to adaptation to deep water running. *J Sports Sci* 2010;28:407-14.
- Utter AC, Kang J, Nieman DC, Williams F, Robertson RJ, Henson DA, *et al*. Effect of carbohydrate ingestion and hormonal responses on ratings of perceived exertion during prolonged cycling and running. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999;80:92-9.
- 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.

36. Heyward V. *Evaluación y prescripción del ejercicio físico*. Barcelona. Paidotribo; 1996. p 211-220.
37. Thomas S, Reading J, Shephard RJ. Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q). *Can J Sport Sci* 1992;17:338-45.
38. Wasuntarawat C, Pengnet S, Walaikavinan N, Kamkaew N, Bualoang T, Toskulkao C, et al. No effect of acute ingestion of Thai ginseng (*Kaempferia parviflora*) on sprint and endurance exercise performance in humans. *J Sports Sci* 2010;28:1243-50.
39. 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.
40. 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.
41. Alvero JR, Cabañas MD, Herrero A, Martinez L, Moreno C, Manzanido J, et al. Protocolo de valoración de la composición corporal para el reconocimiento médico-deportivo. Documento de consenso del grupo español de cineantropometría. *Arch Med Deporte* 2009;26:166-79.
42. Jackson AS, Pollock ML. Assesment of body composition. *Phys Sports Med* 1985;13:76-90.
43. Froelicher V, Myers J, Follansbee W, Labovitz A. *Exercício e o coração*. Rio de Janeiro: Revinter, 1998.
44. 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.
45. 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.
46. Fernhall B, Mccubbin J, Pitetti K, Rintala P, Rimmer J, Millar A, Silva A. Prediction of maximal heart rate in individuals with mental retardation. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33:1655-60.
47. Mahon AD, Marjerrison AD, Lee JD, Woodruff ME, Hanna LE. Evaluating the prediction of maximal heart rate in children and adolescents. *Res Q Exerc Sport*. 2010; 81:466-71.
48. 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.
49. Tanaka H, Monahan K, Seals D. Age-Predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol*. 2001;37:153-6.
50. Millet G. Physiological differences between cycling and running. *Rev Med Suisse*. 2009; 5:1564-7.
51. Carter H, Jones AM, Barstow TJ, Burnley M, Williams CA, Doust JH. Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: a comparison. *J Appl Physiol* 2000; 89:899-907.