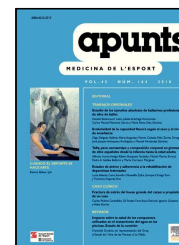


apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



ARTICLE ESPECIAL

## Aplicacions de la freqüència cardíaca màxima en l'avaluació i prescripció d'exercici

João C. Bouzas Marins<sup>a,\*</sup>, Nádia Maria Ottoline Marins<sup>a</sup> i Manuel Delgado Fernández<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Universidade Federal de Viçosa, Laboratório de Performance Humana, Viçosa, Minas Gerais, Brasil

<sup>b</sup>Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Universidad de Granada, Granada, Espanya

Rebut el 16 de març de 2010; acceptat el 30 d'abril de 2010

### PARAULES CLAU

Freqüència cardíaca  
màxima;  
Intensitat d'exercici;  
Prescripció d'exercici

### KEYWORDS

Heart rate maximum;  
Intensity exercise;  
Prescription of exercise

### Resum

L'objectiu de l'estudi és presentar possibles aplicacions de la freqüència cardíaca màxima (FCM) en l'entrenament i en l'àmbit clínic, així com identificar les equacions que calculen l'FCM. En l'entrenament proporciona informacions sobre la prescripció de l'exercici, l'estat de sobreentrenament i el càlcul de la despesa energètica diària. En l'àmbit clínic ajuda a fer i interpretar proves submaximals i maximals. En determinades situacions s'utilitzen equacions matemàtiques per calcular l'FCM. En la bibliografia mèdica especialitzada hi ha més de cinquanta equacions disponibles, en les quals només es té en compte el factor edat o bé inclouen altres factors, com ara sexe, condició de salut o paràmetres antropomètrics. Per tot això, per tenir més exactitud a l'hora d'elegir una equació de càlcul de l'FCM, cal conèixer les existents i optar per la que s'adapti millor als objectius d'avaluació o prescripció d'exercici.

© 2010 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicat per Elsevier España, S.L. Tots els drets reservats.

### 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

\*Autor per a correspondència.

Correu electrònic: jcbouzas@ufv.br (J. C. Bouzas Marins).

calculating the HRmax. Thus, of more than fifty (50) equations were available in the specialised literature, 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.

## Introducció

El registre de la freqüència cardíaca (FC) és una de les formes de control fisiològic més freqüent en l'avaluació de la intensitat d'esforç a què l'organisme està sent exposat<sup>1-3</sup>. Amb el desenvolupament de la tècnica de control de l'FC mitjançant el sistema Polar<sup>®</sup> es va avançar enormement en el control d'aquest paràmetre fisiològic, ja que amb aquesta tècnica s'obté una lectura immediata de l'FC durant l'exercici, i resulta, de retruc, més fiable que no la tècnica manual<sup>4</sup>.

L'FC màxima (FCM) és un paràmetre bàsic per determinar l'esforç i la intensitat de l'exercici. Es poden adoptar dues maneres de registre de l'FCM: la primera considera el registre obtingut d'FC més elevada després d'un esforç d'alta intensitat<sup>5-8</sup>; la segona, per mitjà de models estadístics i equacions que calculen l'FCM d'un subjecte<sup>9-12</sup>.

Se sol utilitzar, d'una manera molt estesa, l'equació  $FCM = 220 - \text{edat}$  per calcular l'FCM. Però cal considerar que estudis com els de Silva et al<sup>10</sup> i Robergs i Landwehr<sup>11</sup> apunten que utilitzar aquesta equació generalitzadament és un error metodològic.

Se sap que l'FCM disminueix amb l'edat. A partir dels 20-25 anys és previsible una reducció d'un batec per minut (bpm) a l'any<sup>13</sup>. També està ben descrit que l'edat és el principal factor que modula l'FCM, tot representant entre un 70-75%<sup>9,14</sup>. Però quan només és considerada aquesta, pot augmentar la probabilitat d'error del valor d'FCM.

Per tant, a més de l'edat<sup>15,16</sup>, factors com l'obesitat<sup>17</sup>, la regió corporal activa durant l'exercici (braços o cames)<sup>18</sup>, l'ambient de registre en competició o laboratori<sup>2,19</sup>, l'exercici al medi aquàtic<sup>20</sup>, el nivell d'entrenament<sup>21,22</sup>, el sexe<sup>21</sup> i l'acció metodològica d'obtenció de dades<sup>23,24</sup> són exemples de factors que influeixen en l'FCM, la qual cosa suggereix l'ús d'equacions específiques.

Les equacions de càlcul inicials d'FCM van ser elaborades a partir de diversos estudis de característiques transversals que tenien l'objectiu de determinar-ne la corba de regressió. Però la majoria d'equacions van ser desenvolupades per a una situació d'exercici en cursa i amb homes. Per això hi ha hagut la necessitat d'augmentar el ventall d'activitats en què s'observi la resposta de l'FCM i en dones.

La necessitat d'establir equacions específiques per a cada tipus d'exercici també està justificada pel fet que activitats amb un mateix consum d'oxigen poden suposar un estímul diferent per al sistema cardiovascular. Això està ben descrit en el treball de Kravitz et al<sup>25</sup> en comparar les demandes cardíques i metabòliques de quatre tipus d'exercicis. Un altre exemple seria l'esforç en natació, en què s'admet una

disminució de  $14 \pm 1,54$  bpm<sup>14</sup>, o fins i tot registres inferiors, de l'ordre de 20,25 bpm en homes i 22,1 bpm en dones, quan es compara amb l'FCM en cursa<sup>26</sup>.

L'estimació del  $VO_{2\text{màx}}$  per mitjà de l'FCM predita per una equació inadequada pot produir errors importants a l'hora de prescriure un entrenament: càrregues d'entrenament sense efectivitat per proporcionar adaptacions orgàniques o càrregues extremament elevades que poden contribuir a desenvolupar un estat de sobreentrenament<sup>27</sup>. La realització d'exercici per sobre de la intensitat ideal pot produir una disminució immunològica, amb reducció de la resistència viral, a més de predisposar l'esportista a un estat de síndrome de fatiga crònica<sup>22</sup>.

Per tot el que s'ha exposat, l'objectiu d'aquest document ha estat fer una revisió sobre les aplicacions de la resposta de l'FCM en l'entrenament i en l'àmbit clínic, així com identificar les equacions que calculen l'FCM.

## Aplicacions de la freqüència cardíaca màxima

L'FCM és una variable cardiovascular que ofereix una sèrie d'informacions tant a l'hora d'avaluar una prova física com de prescriure un entrenament. Vegem aquestes aplicacions amb més detall a fi de millorar l'acció professional.

Hi ha diverses formes de control de la intensitat de l'exercici: formes simples, com ara l'escala de percepció subjectiva de l'esforç de Borg, o d'altres més complexes, com l'obtenció de mostres sanguínies seriades per conèixer els nivells d'àcid làctic i detectar el llindar anaeròbic. No obstant això, l'obtenció d'FCM suposa una excel·lent forma de control i seguiment de l'exercici, que és emprada per a les poblacions més diverses: sedentaris, esportistes, persones grans i malalts cardíacs, a més d'atletes infantils d'elit<sup>1,6,19,22,28-30</sup>. L'ús de l'FC com a procediment de control de la càrrega d'entrenament es justifica perquè suposa un registre senzill (manual o per sistema de registre telemètric amb pulsòmetres) i, principalment, pel fet que hi ha una correlació entre els valors de l'FCM i el  $VO_{2\text{màx}}$ <sup>31</sup>. Aquests factors fan possible que es pugui establir un programa d'activitat física que adopti l'FC com a element de control de la intensitat de l'exercici<sup>32</sup>. Amb aquest control es pot establir l'activitat física de forma individualitzada.

Kesaniemi et al<sup>29</sup> han establert unes pautes per determinar la intensitat de l'exercici, prenent com a base l'FC de reserva, el  $VO_{2\text{màx}}$  de reserva i l'FCM absoluta, a més de l'índex de percepció subjectiva d'esforç, més conegut com a índex de Borg. El primer factor que ha de ser observat a l'hora de calcular la intensitat és el nivell d'activitat que

**Taula 1** Proposta per al càlcul d'intensitat d'entrenament

Intensitat	Esportista	Adult saludable		
	%VO <sub>2</sub> R <sup>a</sup> %FCR <sup>b</sup>	%VO <sub>2</sub> R <sup>a</sup> %FCR <sup>b</sup>	%FCM <sup>c</sup>	RPE
Molt fàcil	<50	<20	<50	<10
Fàcil	50-65	20-39	50-63	10-11
Moderat	65-75	40-59	64-76	12-13
Difícil	75-90	60-84	77-93	14-16
Molt difícil	90-95	≥85	≥94	17-19
Màxim	95-100	100	100	20

FCM: freqüència cardíaca màxima; RPE: índex de percepció d'esforç.

<sup>a</sup>%VO<sub>2</sub>R: percentatge de treball tenint en compte el VO<sub>2</sub> de reserva.

<sup>b</sup>%FCR: percentatge de treball tenint en compte al VO<sub>2</sub> de reserva.

<sup>c</sup>entatge de treball prenent com a referència l'FCM registrada o calculada (Kesaniemi et al, 2001)<sup>29</sup>.

presenten els subjectes, tot diferenciant esportistes de persones amb un nivell d'activitat física normal (taula 1).

En la taula 1 es mostra com és possible emprar l'FC com a paràmetre de càlcul d'intensitat de l'entrenament, observant la correlació existent entre l'FC de reserva i el VO<sub>2</sub><sub>2màx</sub> de reserva. D'altra banda, els mateixos autors afirmen que si es considerés només l'FCM, el càlcul de la corba de regressió variaria, per la qual cosa caldria emprar l'equació:

$$\%FCM = 0,7305(\%VO_{2m\grave{a}x}) + 29,95$$

En la proposta de Karvonen et al<sup>33</sup> es defineix el concepte d'FC de reserva com la resultant de restar, a l'FCM, l'FC de repòs. Per mitjà d'aquesta fórmula es pot establir l'FC d'entrenament (FC<sub>ENT</sub>) pretesa mitjançant l'aplicació de l'equació següent:

$$FC_{ENT} = FC_{Rep\grave{o}s} + \% (FCM - FC_{Rep\grave{o}s})$$

Aquesta equació permet establir rangs d'esforç tenint en compte l'indici metabòlic, especialment el l'indici anaeròbic de 4 mmol/l<sup>-1</sup>, que alhora està relacionat amb l'FC<sub>ENT</sub>. Es disposa, així, de valors mínims o màxims d'FC que han de ser seguits per l'esportista al llarg del seu entrenament. Això permetrà que tingui més èxit esportiu, ja que s'entrenarà d'una manera més adequada.

Una de les variables per calcular la FC<sub>ENT</sub> és l'FCM. Però no sempre és viable fer una prova màxima per obtenir-la (persones molt desentrenades, malalties que contraindiquin esforços màxims, etc.). En aquestes situacions s'utilitzen equacions matemàtiques per calcular l'FCM.

Cal destacar que l'FCM estimada, a més de ser utilitzada com a paràmetre de control de la intensitat de l'exercici, és un factor que serveix com a indicador d'altres paràmetres en l'exercici. La primera aplicació és utilitzar-la com a referent per calcular el VO<sub>2</sub><sub>2màx</sub> durant una prova submàxi-

mal, com les proves de cinta contínua de Waddoups et al<sup>34</sup>, Faulkner et al<sup>35</sup> o Ebbeling et al<sup>36</sup>, a més de la tradicional prova en cicloergòmetre d'Astrand i Ryhming<sup>37</sup>. En aquest sentit, Uth et al<sup>38</sup> van proposar una equació per calcular el VO<sub>2</sub><sub>2màx</sub> prenent com a base l'FCM i l'FC en repòs en subjectes esportistes entre 21-51 anys. Una segona utilitat aplicada als estudis de despesa energètica diària és calcular l'energia consumida prenent com a base un percentatge del treball de l'FCM<sup>39,40</sup>.

Com a tercera aplicació, l'FCM pot servir per a la interrupció de l'esforç en una prova ergomètrica<sup>1,3,8,41,42</sup>. A més, el Col·legi Americà de Cardiologia, juntament amb l'Associació Americana del Cor (2002)<sup>43</sup>, consideren que no superar el 80-85% de l'FCM prevista durant una prova ergomètrica és un indicatiu clar de l'existència de coronopatia. També es considera important, després d'obtenir l'FCM, observar la resposta de la recuperació. Cal una disminució de l'FC de l'ordre de 12 bpm després de 2 min de recuperació; en el cas que no es produeixi aquest descens, també és previsible l'existència d'algun problema cardíac.

Una altra aplicació de l'FCM és determinar si una prova ergomètrica ha estat realitzada amb un esforç màxim, si s'observa que l'avaluat presenta, en l'últim registre de l'FC, una variació de 10 bpm respecte de l'FCM calculada<sup>41,42</sup>. L'FCM també pot servir per calcular l'indici metabòlic durant una prova maximal<sup>44</sup>. Per últim, s'ha de tenir en compte que una disminució en l'FCM de 5 bpm pot indicar un estat de sobreentrenament<sup>45</sup>.

L'FCM proporciona, doncs, un conjunt de factors d'anàlisi tant per a la prescripció de l'exercici com per a condicions d'àmbit clínic d'avaluació física. És molt important un coneixement profund sobre aquest paràmetre fisiològic per a una interpretació correcta.

## Equacions predictives per calcular la freqüència cardíaca màxima

Es considera Robson (1938), esmentat per Londeree i Moeschberger<sup>14</sup>, com el primer a establir una equació que relaciona l'edat amb l'FCM (FCM = 212 - 0,775 edat). Però la fórmula més estesa en el camp de la medicina de l'esport i de l'entrenament esportiu és la que considera: FCM = 220 - edat<sup>46-48</sup>.

S'han fet diversos estudis de característiques transversals a fi de determinar la recta de regressió de l'FCM. Marins i Delgado<sup>7</sup> presenten un resum d'aquests treballs, en què només es considera l'edat com a factor de l'equació (taula 2).

En la taula 2 l'edat és considerada com a factor principal per a la construcció de la recta de tendència de disminució de l'FCM. Però alguns autors hi afegeixen més informació en establir, a més de l'edat, un perfil poblacional específic. S'han proposat equacions per a persones amb algun tipus de malaltia de tipus coronari, com les indicades amb el número 7, 9, 10, 22 i 37, o per a persones amb hipertensió, com són els casos de les equacions 10 i 19, i per a persones amb problemes neurològics, com ara retard mental<sup>49</sup>.

Altres autors es van concentrar a proposar equacions per a persones asimptomàtiques, però diferenciant-hi el factor sexe. Aquest és el cas de les equacions 2, 4, 8, 11, 12, 14,

**Taula 2** Resum d'equacions per calcular la freqüència cardíaca màxima

Equació	Estudi	n	Població	Fórmula de regressió
1	ACSM (1995)			FCM=210-0,5 edat
2	Astri-cicloergòmetre	100	Homes asimptomàtics	FCM=211-0,922 edat
3	Astri			FCM=216-0,84 edat
4	Bal State University		Homes	FCM=214-0,8 edat
5	Bal State University		Dones	FCM=209-0,7 edat
6	Brick (1995)		Dones	FCM=226-edat
7	Bruce et al (1974)	1.295	Malaltia coronària	FCM=204-1,07 edat
8	Bruce et al (1974)	2.091	Homes asimptomàtics	FCM=210-0,662 edat
9	Bruce et al (1974)	1.295	Malaltia coronària	FCM=204-1,07 edat
10	Bruce et al (1974)	2.091	Hipertensió+malalts coronaris	FCM=210-0,662 edat
11	Cooper	2.535	Homes asimptomàtics	FCM=217-0,845 edat
12	Ellestad	2.583	Homes asimptomàtics	FCM=197-0,556 edat
13	Engels et al (1998)	104 H i 101 D	Homes i dones	FCM=213,6-0,65 edat
14	Fernández (1998)		Homes	FCM=200-0,5 edat
15	Fernández (1998)		Dones	FCM=210-edat
16	Fernhal et al (2001)	276	Retard mental	FCM=189-0,56 edat
17	Fernhal et al (2001)	296	Homes i dones asimptomàtics	FCM=205-0,64 edat
18	Froelicher i Myers (2000)	1.317	Homes asimptomàtics	FCM=207-0,64 edat
19	Graettinger et al (1995)	41	Hipertensos	FCM=200-0,71 edat
20	Graettinger et al (1995)	114	Homes asimptomàtics	FCM=199-0,63 edat
21	Graettinger et al (1995)	73	Normotensos	FCM=197-0,63 edat
22	Hammond	156	Malaltia coronària	FCM=209-edat
23	Hakki (1983)		Homes	FCM=205-0,5 edat
24	Hossack i Bruce (1982)	104	Dones asimptomàtiques	FCM=206-0,597 edat
25	Hossack i Bruce (1982)	98	Homes asimptomàtics	FCM=227-1,067 edat
26	Inbar et al (1994)	1.424	Homes	FCM=205,8-0,685 edat
27	Jones et al (1985) - cicloergòmetre	100	Homes i dones asimptomàtics	FCM=202-0,72 edat
28	Jones et al (1975)		Homes i dones asimptomàtics	FCM=210-0,65 edat
29	Jones et al (1985)	60	Dones asimptomàtiques	FCM=201-0,63 edat
30	Karvonen et al		Homes i dones asimptomàtics	FCM=220-edat
31	Lester et al (1968)	42	Homes i dones entrenats	FCM=205-0,41 edat
32	Lester et al (1968)	148	Homes i dones sedentaris	FCM=198-0,41 edat
33	Londeree i Moeschberger (1982)		Esportista de nivell nacional	FCM=206,3-0,711 edat
34	Miller et al (1993)	51	Homes i dones de pes normal	FCM=217-0,85 edat
35	Miller et al (1993)	35	Homes de pes normal	FCM =219-0,85 edat
36	Miller et al (1993)	16	Dones de pes normal	FCM=218-0,98 edat
37	Morris	1.388	Malaltia coronària	FCM=196-0,9 edat
38	Morris	244	Homes asimptomàtics	FCM=200-0,72 edat
39	Ricard et al (1990)	193	Homes i dones	FCM=209-0,587 edat
40	Ricard et al (1990) - cicloergòmetre	193	Homes i dones	FCM=205-0,687 edat
41	Robinson	92	Homes asimptomàtics	FCM=212-0,775 edat
42	Rodeheffer et al (1984)	61	Homes asimptomàtics	FCM=214-1,02 edat
43	Rodeheffer et al (1984) - cicloergòmetre	47 H i 14 D	Homes i dones	FCM=208,19-0,95 edat
44	Schiller et al (2001)	53	Dones hispàniques	FCM=213,7-0,75 edat
45	Schiller et al (2001)	93	Dones caucàsiques	FCM=207-0,62 edat
46	Sheffield et al (1978)	95	Dones	FCM=216-0,88 edat
47	Tanaka et al (1997)	84	Dones entrenades resistència aeròbica	FCM=199-0,56 edat
48	Tanaka et al (1997)	72	Dones sedentàries	FCM=207-0,60 edat
49	Tanaka et al (2001)	285	Homes i dones sedentàries	FCM=211-0,8 edat

Taula 2 (continuació)

Equació	Estudi	n	Població	Fórmula de regressió
50	Tanaka et al (2001)	229	Homes i dones actives	FCM=207-0,7 edat
51	Tanaka et al (2001)		Homes i dones entrenats en resistència	FCM=206-0,7 edat
52	Tanaka et al (2001)	18.712	Homes i dones	FCM=208,75-0,73 edat
53	Whaley et al (1992)	1.256	Homes	FCM=213-0,789 edat
54	Whaley et al (1992)	754	Dones	FCM=208,8-0,723 edat
55	Whyte et al (2008) <sup>21</sup>	92	Homes joves esportistes de competició	FCM=202-0,55 edat
56	Whyte et al (2008) <sup>21</sup>	76	Dones joves esportistes de competició	FCM=216-1,09 edat

Edat expressada en anys (Marins i Delgado<sup>7</sup>).

D: dones; FCM: freqüència cardíaca màxima; H: homes.

18, 20, 23, 25, 26, 35, 38, 41, 42 i 53, desenvolupades per als homes, mentre que les equacions 5, 6, 15, 24, 29, 36, 44, 45, 46, 48 i 54 van ser proposades només per a dones (taula 2). Per a alguns autors, el factor sexe no influeix en la resposta de l'FCM i per aquesta raó presenten una equació única; en són exemples les equacions número 13, 17, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 39, 40, 43, 49, 50, 51 i 52. Atenent a aquesta situació, caldria aprofundir en la recerca sobre el grau d'influència del factor sexe en l'FCM.

També hi ha equacions que consideren el factor ètnia, com per exemple l'equació número 44 per a dones hispàniques i la 45 per a dones caucàsiques. En cap cas s'ha especificat per a persona asiàtica o fins i tot indígena. El ventall d'investigacions en aquest sentit és molt restringit, la qual cosa reclama estudis que permetin contrastar la influència en l'FCM dels factors ètnics.

En quatre treballs s'ha investigat l'ètnia com un possible factor determinant en l'FCM. En el primer estudi, desenvolupat per Londeree i Moeschberger<sup>14</sup>, es proposa un coeficient en l'equació. Wilmore et al<sup>50</sup> va comparar blancs i negres americans, i va observar diferències entre els dos grups.

El treball elaborat per Schiller et al<sup>51</sup> especifica una equació per a dones hispanes i una altra per a caucàsiques. En el grup d'hispanes, s'hi va observar un descens de 0,75 bpm a l'any, mentre que per al segon grup la reducció va ser menor, de l'ordre de 0,62 bpm a l'any. Malgrat que aquests resultats estadístics no van presentar diferències significatives, els autors van formular equacions específiques per a cada grup. Per últim, Weston et al<sup>52</sup> no van identificar diferències en l'FCM de corredors negres africans i homes caucàsics.

Hi ha equacions específiques per al nivell de capacitat física, com per exemple les equacions número 31, 33, 47, 50, 51, 52 i 55, destinades a persones entrenades. D'altra banda, les equacions número 32, 48 i 49 són específiques per a persones sedentàries. El nivell d'aptitud física (sedentari vs. esportista) sembla que predetermina una resposta diferent en l'FCM. Zavorsky<sup>22</sup> va fer un estudi de revisió sobre aquest tema, i va observar que un esportista

presenta, de mitjana, 8 bpm menys d'FCM que una persona sedentària, la qual cosa podria justificar una equació específica per a aquest col·lectiu. Aquestes diferències poden ser causades perquè les persones entrenades comparades amb persones sedentàries tenen un major volum sistòlic, fet que comporta una reducció del nombre màxim de batecs cardíacs. Per tant, per a persones altament entrenades és molt necessari considerar l'ús d'equacions específiques.

L'índex de massa corporal (IMC) va ser considerat un factor determinant en la resposta de l'FCM quan es considera un estat d'obesitat. Per a persones amb IMC normal es proposen les equacions 34, 35 i 36 (taula 2), mentre que per a persones amb IMC igual o superior a 30 kg/m<sup>2</sup> es proposen les equacions específiques descrites en la taula 3. Això és molt important principalment a l'hora d'establir la intensitat d'entrenament o durant una prova física com a criteri d'interrupció.

Malgrat que s'ha observat clarament que l'FCM obtinguda en cursa sobre cinta continua presenta valors significativament més alts respecte dels obtinguts en cicloergòmetre, només s'han formulat quatre equacions específiques per a ciclisme (taula 2), per la qual cosa aquesta temàtica ha de continuar sent objecte d'investigació. No s'han identificat propostes d'equacions per a altres formes d'exercici, com ara el rem o la natació, que per la seva resposta d'immersió necessiten molt probablement una equació específica.

Els estudis<sup>26,53-55</sup> que van comparar l'FCM en un exercici de natació amb l'obtinguda en un exercici de cursa indiquen una diferència considerable entre els resultats, amb una FCM menor entre 10-22 batecs en l'exercici de natació. Més recentment, Mazzeo i Tanaka<sup>56</sup> han assenyalat que en els exercicis realitzats a l'aigua es produeix una braquicàrdia en l'FCM de l'ordre de 10 bpm, que fa necessari restar aquests valors en les equacions formulades per a un medi terrestre. Així, la gran majoria de les equacions proposades només es refereixen a l'exercici de cursa. Això permet un gran ventall de possibilitats d'estudis per explorar l'FCM en



**Taula 3** Equacions per calcular la freqüència cardíaca màxima emprant multivariables

n	Equacions
1	FCM=162+0,266 FC <sub>Repòs</sub> +0,164 FC del 3 min exercici-0,7 edat Sheffield et al <sup>59</sup>
2	196,7+1,986C2+5,361E+1,490F4+3,730F3+4,036F2-0,0006A <sup>4</sup> -0,542 A <sup>2</sup> Londeree i Moeschberger <sup>14</sup>
3	FCM=108,481+0,5108 RPE15-0,6570 8 FC*+0,6075 10 FC*-0,2641 edat Johnson i Prins <sup>60</sup>
4	Homes: FCM=203,9-0,812 edat+0,276 FC <sub>Repòs</sub> -0,084 PC-4,5 CF Whaley et al <sup>61</sup>
5	Dones: FCM=204,8-0,718 edat+0,162 FC <sub>Repòs</sub> -0,105 PC-6,2 CF Whaley et al <sup>61</sup>
6	Homes obesos: FCM=198-0,44 edat Miller et al <sup>62</sup>
7	Dones obeses: FCM=200-0,49 edat Miller et al <sup>62</sup>
8	Homes i dones obesos: FCM=200-0,48 edat Miller et al <sup>62</sup>
9	FCM=236-0,72 edat-6,8 dimensió del ventricle esquerre Graettinger et al <sup>63</sup>

A<sup>2</sup>: edat<sup>2</sup>; A<sup>4</sup>: edat<sup>4</sup>/1.000; C2: continent (1 per a Europa i 0 per a altres); CF: codi de fumadors (1 per a fumador i 0 per a no fumador); E: ergòmetre (1 per a cinta contínua i 0 per a cicloergòmetre); F2: nivell físic (1 per a sedentari i 0 per a altres); F3: nivell d'activitat (1 per a actiu i 0 per a altres); F4: nivell de resistència aeròbica (1 per a alt nivell i 0 per a altres); FC: freqüència cardíaca; FCM: freqüència cardíaca màxima; PC: pes corporal.

\* FC durant el 8è i 10è min del protocol de Balke en cinta contínua.

diferents formes d'exercici físic. Vegem-ne alguns exemples.

L'equació FCM = 208,75 - 0,73 edat<sup>12</sup> es considera la més adequada per a la població general entre 18-30 anys per a exercici en cursa, tant per a homes com per a dones<sup>7</sup>. El treball de Marins et al (2007)<sup>57</sup> va apuntar que per a esforços amb bicicleta en persones sense perfil competitiu, les equacions més adequades eren, per a homes, FCM = 202 - 0,72 edat<sup>58</sup> i, per a dones, FCM = 189 - 0,56 edat<sup>49</sup>. Més recentment, Whyte et al<sup>21</sup> han proposat dues equacions per a esportistes joves segons el factor sexe, com es pot observar en la taula 2.

Alguns autors van proposar equacions amb models de regressió múltiple que són més complexos, i afegint-hi una altra variable a més de l'edat (taula 3). En són exemples les equacions de Sheffield et al<sup>59</sup>, que afegeixen a l'equació un factor que correspon a l'FC submaximal en cinta contínua; Londeree i Moeschberger<sup>14</sup>, que consideren l'ètnia, el tipus d'ergòmetre, el nivell físic i el tipus de protocol; Johnson i Prins<sup>60</sup>, que consideren la percepció subjectiva d'esforç i FC submaximal; Whaley et al<sup>61</sup>, que proposen l'FC en repòs, el pes corporal i el tabaquisme; Miller et al<sup>62</sup>, per a persones amb IMC superior a 30 kg/m<sup>2</sup>, i Graettinger et al<sup>63</sup>, que proposen la dimensió del ventricle esquerre o delta epinefrina. Més recentment, Karavirta et al<sup>64</sup> estableixen també una influència de la variabilitat de l'FC. Aquests treballs són exemples en què s'han pres en consideració altres variables, a més de l'edat, a l'hora de calcular l'FCM, tot millorant l'exactitud de les seves equacions respecte de la típica de 220-edat, que pot arribar a presentar un marge d'error de 45 bpm<sup>14</sup>.

A l'hora d'utilitzar una equació per calcular l'FCM amb els objectius de prescripció d'exercici, control de l'entrenament o anàlisi clínica, és fonamental conèixer les característiques de l'esportista o avaluat, a fi de fer l'elecció adequada de l'equació de càlcul de l'FCM, i així millorar l'acció professional. Adoptar una equació única per a tots els casos i els àmbits només per tradició o costum no sembla una actitud correcta.

## Conclusions

L'FCM proporciona una important gamma d'informacions aplicades tant a l'entrenament esportiu com a l'àmbit clínic d'avaluació física. En el cas d'utilitzar una equació per calcular l'FCM, caldria fer-ho després d'una anàlisi crítica, ja que hi ha un gran nombre d'equacions que han estat proposades per a diferents grups de població, com per exemple persones amb malaltia coronària, hipertensos, amb retard mental, obesos, així com per a homes i dones, a més de per a esportistes o sedentaris. Per tant, cal seleccionar l'equació que calculi amb més exactitud l'FCM, perquè en l'àmbit de l'entrenament esportiu no es cometin errors metodològics greus en la planificació, i perquè en l'àmbit clínic es valori l'estat de la persona i es prescriu l'exercici físic amb la màxima seguretat.

## Conflicte d'interessos

Els autors declaren no tenir cap conflicte d'interessos.

## Bibliografia

1. Robergs RA, Dwyer D, Astorino T. Recommendations for improved data processing from expired gas analysis indirect calorimetry. *Sports Med.* 2010;40:95-111.
2. Wirnitzer KC, Kornex IE. Exercise intensity during an 8-day mountain bike marathon race. *Eur J Appl Physiol.* 2008;104:999-1005.
3. 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.
4. Karvonen M, Vuorima T. Heart rate and exercise intensity during sports activities: Practical application. *Sports Med.* 1988;5:303-12.
5. Marins J. Comparación de la frecuencia cardíaca máxima y fórmulas para su predicción [tesis doctoral]. Granada: INEF Universidad de Granada; 2003.
6. 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.
7. Marins J, Delgado M. Empleo de ecuaciones para predecir la frecuencia cardíaca máxima en carrera para jóvenes deportistas. *Arch Med Deport.* 2007;24:112-20.
8. Lucía A, Rabadán M, Hoyos J, Hernández-Capilla M, Pérez M, San Juan AF, et al. Frequency of the VO<sub>2</sub> max plateau phenomenon in world-class cyclists. *Int J Sports Med.* 2006;27:984-92.
9. Gellish RL, Goslin BR, Olson RE, McDonald A, Russi GD, Moudgil VK. Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heartrate. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39:822-9.
10. 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.
11. 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>
12. Tanaka H, Monahan K, Seals D. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol.* 2001;37:153-6.
13. Skinner J. Prova de esforço e prescrição de exercícios. Rio de Janeiro: Revinter; 1991.
14. Londeree B, Moeschberger M. Effect of age and other factors on maximal heartrate. *Res Q Exerc Sport.* 1982;53:297-304.
15. 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.
16. 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.
17. Fornitano LD, Godoy MF. Exercise testing in individuals with morbid obesity. *Obes Surg.* 2010;20:583-8.
18. De Jong 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. Zavorsky GS. Evidence and possible mechanisms of altered maximum heart rate with endurance training and tapering. *Sports Med.* 2000;29:13-26.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. Scolfaro L, Marins J, Regazzi A. Estudo comparativo da FCM em três modalidades cíclicas. *Revista da APEF.* 1998;13:44-54.
27. Gilman M. The use of heart rate to monitor the intensity of endurance training. *Sports Med.* 1996;21:73-9.
28. Marins J, Giannichi R. Avaliação e prescrição de atividade física. Rio de Janeiro: Shape; 2003.
29. 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.
30. Comité Olímpico Internacional (COI). Declaración de consenso del COI. Entrenamiento de atletas infantiles de élite. *Apunts Med Esport.* 2008;43:97-8.
31. Froelicher V, Myers J, Follansbee W, Labovitz A. Exercício e o coração. Rio de Janeiro: Revinter; 1998.
32. Lounana J, Champion F, Noakes TD, Medelli J. Relationship between %HR max, %HR reserve, %VO<sub>2</sub> max, and %VO<sub>2</sub> reserve in elite cyclists. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39:350-7.
33. 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.
34. Waddoups L, Wagner D, Falon J, Heath E. Validation of a single-stage submaximal treadmill walking test. *J Sports Sci.* 2008;26:491-7.
35. Faulkner J, Parfitt G, Eston R. Prediction of maximal oxygen uptake from the ratings of perceived exertion and heartrate during a perceptually-regulated sub-maximal exercise test in active and sedentary participants. *Eur J Appl Physiol.* 2007;101:397-407.
36. 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.
37. 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.
38. Uth N, Sørensen H, Overgaard K, Pedersen PK. Estimation of VO<sub>2</sub> max 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 O<sub>2</sub> 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. Delzaguirrel, Suñé D, Huelín 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, Fransen 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 ciclo ergómetro. *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 under-achievement 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.