

Fiabilidad del método de monitorización de la frecuencia cardiaca en la estimación del coste energético- VO_2

NURIA GARATACHEA VALLEJO
JOSÉ ANTONIO DE PAZ FERNÁNDEZ.

**Instituto Nacional de Ciencias de la
Actividad Física y del Deporte de
Castilla y León.**

CORRESPONDENCIA:
Campus Universitario Vegazana.
Universidad de León.
24.071 LEÓN
Tfno: 987 223915. Fax: 987 223812

APUNTS. MEDICINA DE L'ESPORT. 2001; 136: 29-35

RESUMEN. El método de monitorización de la frecuencia cardiaca es utilizado para la estimación de la energía gastada. Sin embargo, una de las principales críticas a dicho método es su fiabilidad. Por esto varias investigaciones se centran en el estudio de la exactitud del método y en consecuencia como mejorarlo.

El objetivo de este estudio fue cuantificar la fiabilidad de este método cuando se aplica a diferentes intensidades de esfuerzo.

Participaron en el estudio 4 mujeres y 5 hombres, con edades comprendidas entre los 20 y 27 años, estudiantes de INCAFD. Se realizó una primera ergoespirometría para la determinación de la recta VO_2 -FC y otra posterior para comparar la estimación de VO_2 mediante el método de monitorización de FC con los resultados medidos por calorimetría indirecta.

No existen diferencias entre el VO_2 estimado y el medido. El porcentaje de error medio fue de 1,47%, ocurriendo el mayor porcentaje de error a la intensidad mas baja. Diferenciando por sexos, ocurre que para las mujeres el VO_2 se sobrestima y en los hombres se subestima.

En vista de los resultados, este método es de una elevada relación coste-beneficio por lo que puede ser de gran utilidad en estudios de grandes poblaciones.

PALABRAS CLAVE: Frecuencia cardiaca, monitorización, VO_2 .

SUMMARY. The method of cardiac frequency monitoring is used to estimate the energy spent. However one of the main criticisms of this method is its reliability. For this reason, several investigations focus on the method's exactness, and therefore on how to improve it.

This study was aimed at quantifying this method's reliability when applied to different effort intensities.

Four women and five men from 20 to 27 years old that studied INCAFD were studied. A first ergospirometry was done to determine the VO_2 -FC line, and another ergospirometry was done to compare the VO_2 estimation. It was done with a FC monitoring method, whose results were measured according to indirect calorimetry.

There are no differences between the estimated and the measured VO_2 . The mean error percentage was 1,47%, which occurred mainly at the lowest intensity. According to sexes, VO_2 is overestimated in women and underestimated in men.

Considering these results, this method allows a high cost-benefit relationship, thus it can be very useful when studying large populations.

KEY WORDS: Cardiac frequency, monitoring, VO_2 .

1. ANTECEDENTES

Distintas investigaciones usan el método de la monitorización de la frecuencia cardíaca (FC) para la determinación de la energía gastada y varias de ellas han demostrado su potencial para estimar el coste energético¹.

Una de las principales críticas a este método es su fiabilidad, en tanto en cuanto nos proporciona información lo más ajustada posible a la realidad^{2,3,4,1,5}. Es por ello por lo que muchos autores centran sus investigaciones en el estudio de la exactitud del método y en consecuencia cómo mejorarlo.

Son varios los que proponen mejorar la predicción de la energía gastada (y por lo tanto de consumo de oxígeno (VO₂)) utilizando, a la vez que un pulsómetro para el registro de la frecuencia cardíaca, acelerómetros y podómetros para el registro del movimiento corporal.^{1,3,6,7}. Otros autores, por su parte, se centran en la mejora de la ecuación de predicción^{1,5,8}.

Su principal limitación ocurre cuando la linealidad existente entre la FC y el VO₂ se pierde a bajos niveles de gasto de energía. Es entonces cuando ocurre el mayor porcentaje de error en la estimación de la energía^{1,9,10}.

También se produce un error a niveles elevados de gasto de energía ya que toda la producción de energía no depende únicamente de la vía aeróbica sino que también participa la vía anaeróbica¹¹.

Otra crítica importante son los numerosos factores que influyen en la frecuencia cardíaca, como pueden ser: factores emocionales, estrés, excitantes, fármacos, tipo de ejercicio...^{6,12}.

Uno de los autores que investiga en el tema que nos ocupa, Ceesay, S.M. (1989), encuentra que este mismo método subestimó el VO₂ (equivalente de energía gastada) en solo un 1,2% (con un rango entre -11.4 y +10.6%) lo que nos da idea de su exactitud.

Es importante destacar que la mayoría de las investigaciones relacionadas con nuestro objeto de estudio no se centran en el ámbito de la actividad física y el deporte, sino que su principal ámbito de estudio es más bien clínico o médico^{4,10,12}.

2. OBJETIVOS

A la vista de los estudios comentados nos hemos planteado analizar la fiabilidad del método de monitorización de la frecuencia cardíaca para la estimación de la energía gastada (VO₂) a diferentes intensidades de actividad física.

De tal forma que al conocer dicha fiabilidad se puede obtener más y tomar precauciones en la estimación de la energía gastada mediante este método.

3. MATERIAL Y METODO

Para la realización de este estudio tomaron parte 9 voluntarios, 5 hombres y 4 mujeres, estudiantes del I.N.C.A.F. y D. de Castilla y León con edades comprendidas entre los 20 y 27 años.

Para determinar la relación individual entre VO₂ y FC se realizó una primera prueba de esfuerzo triangular discontinua máxima en cicloergómetro Ergoline 900. Registrando en todo momento la FC, mediante pulsómetro Polar Vantage NV, y los parámetros ventilatorios por medio de un analizador de gases Medical Graphics CPX plus.

Primeramente se procedía a pesar y medir al sujeto, utilizando una balanza Tefal 200 y una cinta métrica Holtain, siempre descalzo y con pantalón corto y camiseta deportiva. Después se realizaba un calentamiento de 5 minutos sobre cicloergómetro a una potencia de 75 vatios para los hombres y 50 vatios para las mujeres, precedido de estiramientos de la musculatura del tren inferior en un tiempo determinado por el propio sujeto.

A continuación daba comienzo la prueba en sí tras la colocación del aparataje (pulsómetro y boquilla). Primeramente se registraba un minuto en reposo y seguido empezaba el sujeto a pedalear a una potencia 25 vatios, incrementando dicha potencia en 25 vatios cada minuto hasta la extenuación del sujeto. Al tercer día después de la primera prueba se realizó una segunda. Antes de dar comienzo la prueba se realizaba el mismo protocolo que en la prueba anterior. Cada escalón tenía una duración de 3 minutos. Las intensidades de cada uno eran del 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% y 100% del VO₂ max. El sujeto debía de completar el máximo número posible de escalones.

El tratamiento gráfico se llevó a cabo en la Hoja de Cálculo Excel 97 y el estadístico en el Programa Statistica para Windows 95.

Primeramente se realizó la prueba de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov.

Para calcular las diferencias de medias se utilizó el test de la "U de Mann-Whitney", necesitando una p<0,05 para asumir diferencias significativas.

4. RESULTADOS

Las características de los sujetos se muestran en la tabla 1. Entre paréntesis se especifica el sexo (1: mujer; 2: hombre).

Existen diferencias significativas entre sexos en la talla, peso y VO₂ max.(p<0,05). En la edad y en el I.M.C. no hubo diferencias significativas.

No hubo diferencias significativas en el peso corporal entre la primera y la segunda prueba.

Tabla 1 Edad, talla, peso, índice de masa corporal (I.M.C.), VO₂ max y FC max. de cada uno de los sujetos y su correspondiente media para cada sexo expresada como: media ± desviación estándar.

DESCRIPCIÓN DE LOS SUJETOS						
SUJETOS	EDAD (años)	TALLA (Cm.)	PESO (Kg.)	I.M.C.	VO ₂ max.* (ml./min.)	FC Máx. (puls./min.)
V.S.(1)	20	164	57,8	21,49	3654	183
I.E.(1)	23	160	62,2	24,30	2812	192
C.P.(1)	22	164	56,7	21,08	2537	204
M.M.(1)	22	165	56,6	20,79	2782	197
MEDIA MUJERES	21,7 ±1,25	162,67 ±2,21	58,9 ±2,63	22,29 ±1,61	2946.2 ±487.6	194 ±8.83
J.M.(2)	24	180	75,5	23,30	4516	200
S.S.(2)	22	171	68,0	23,26	3882	198
L.A.(2)	24	172	80,4	27,18	4589	197
E.A.(2)	27	170	67,4	23,32	4081	189
A.A.(2)	27	182	74,0	22,34	4770	193
MEDIA HOMBRES	24,3 ±2,16	173,3 ±5,56	72,8 ±5.43	24,3 ±1.89	4367.6 ±371.1	195.4 ±4.39

* Diferencias estadísticamente significativas (p<0.05) entre hombres y mujeres.

En la tabla 2 aparecen las rectas de regresión lineal FC-VO₂, para cada uno de los sujetos, junto con el coeficiente de correlación lineal R² y el valor de la pendiente de la recta (coeficiente de la x). Estas rectas fueron calculadas emparejando los datos del VO₂ y la FC desde el segundo hasta el último minuto de esfuerzo y según el modelo de ecuación:

$$VO_2 \text{ estimado} = AX + B$$

A = pendiente de la regresión lineal.

B = constante de la regresión lineal.

X = FC de la actividad sobre la que se estima el VO₂.

En la figura 1 se representa una de dichas rectas a modo de ejemplo.

Existen diferencias estadísticamente significativas (p< 0.05) en las pendientes de las rectas entre hombres y mujeres.

La figura 2 muestra todas las rectas de regresión individual VO₂-FC de los 9 sujetos.

La tabla 3 muestra los valores de VO₂ medidos en la segunda prueba en cada uno de los estadios que completó el sujeto. El valor de cada estadio corresponde a la media de los

últimos dos minutos de cada escalón, considerando así que este valor se estabiliza después del primer minuto de adaptación a la carga.

Existen diferencias estadísticamente significativas (p<0.05) entre hombres y mujeres en el 40%, 50%, 60%, 70% y 80% del VO₂ max.

En la tabla 4 se presentan los valores de VO₂ (ml./min.) estimados según las rectas de regresión (Tabla 2) y a partir de la FC registrada en la segunda prueba.

No existen diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres en ninguno de las intensidades de trabajo para el VO₂ estimado.

Entre el VO₂ observado y el VO₂ estimado, según las rectas de regresión individual, en cada uno de los sexos no existen diferencias estadísticamente significativas (p<0,05)

Las figuras 3 y 4 nos aportan información gráfica de las diferencias entre el VO₂ observado y el estimado en cada uno de los escalones de la segunda prueba, para cada uno de los sexos.

A partir de los datos anteriores se ha calculado el porcentaje de error de la estimación en cada uno de los porcentajes de trabajo. Estos quedan expresados en la tabla 5 y 6.

Tabla II Rectas de regresión lineal VO_2 -FC, coeficiente de correlación (R^2), y pendiente de la recta para cada sujeto y su correspondiente media para cada sexo expresada como media \pm desviación estándar.

SUJETOS	RECTAS DE REGRESIÓN	R^2	PENDIENTE*
V.S.(1)	$Y=35.68x-3010.6$	0.9725	35.68
I.E.(1)	$Y=26.199x-2379.9$	0.9551	26.199
C.P.(1)	$Y=17.461x-1218.6$	0.952	17.461
M.M.(1)	$Y=21.606x-1218.6$	0.9384	21.606
		0.9545 \pm 0.014	25.23 \pm 7.82
J.M.(2)	$Y=34.277x-2561.9$	0.9726	34.277
S.S.(2)	$Y=49.44x-5747.4$	0.9791	49.44
L.A.(2)	$Y=55.704x-6179.8$	0.9027	55.704
E.A.(2)	$Y=39.22x-3395.3$	0.9374	39.22
A.A.(2)	$Y=37.956x-2864.4$	0.9642	37.956
		0.9458 \pm 0.031	43.31 \pm 8.91

Y = VO_2 estimado (ml. / min.)

X = FC (Puls. / min.)

* Diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre hombres y mujeres.

Tabla III VO_2 (ml./min.) en cada uno de los diferentes estadios de la segunda prueba para cada uno de los sujetos y su correspondiente media para cada sexo expresada como: media \pm desviación estándar.

VO ₂ OBSERVADO EN LA SEGUNDA PRUEBA (ML./MIN.)						
SUJETOS	40%*	50%*	60%*	70%*	80%*	90%
V.S.(1)	1441,8	1746,9	1956,9	2404,5	2702,8	-
I.E.(1)	1172,1	1481,9	1716,5	2017,9	2451,1	2635
C.P.(1)	1107,9	1379,3	1701,6	2033,9	2336,0	2657
M.M.(1)	1279,6	1535,3	1835,6	2135,5	2442,1	2670
PROMEDIO	1250,3	1535,8	1802,7	2147,9	2483,0	2653,9
MUJERES	± 145.89	± 154.67	± 118.88	± 178.96	± 155.21	± 17.24
J.M.(2)	1972,6	2304,1	2842,8	3321,6	3872,4	4221
S.S.(2)	1691,5	2454,8	3218,0	3785,6	3852,5	-
L.A.(2)	1694,0	2305,1	2563,4	3198,6	3775,6	-
E.A.(2)	1562,1	2231,8	2648,9	2866,9	3365,9	3435
A.A.(2)	1838,1	2450,3	2926,5	3362,8	3742,1	-
PROMEDIO	1751,7	2349,2	2839,9	3307,1	3721,7	3827,7
HOMBRES	± 157.30	± 98.88	± 256.84	± 330.93	± 206.18	± 555.78

* Diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre hombres y mujeres.

Figura I

Recta de regresión individual FC-VO₂ de uno de los sujetos.

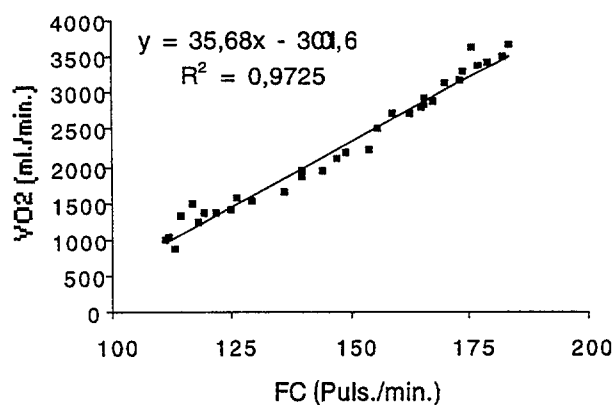


Figura II

Rectas de regresión individuales VO₂-FC de los 9 sujetos.

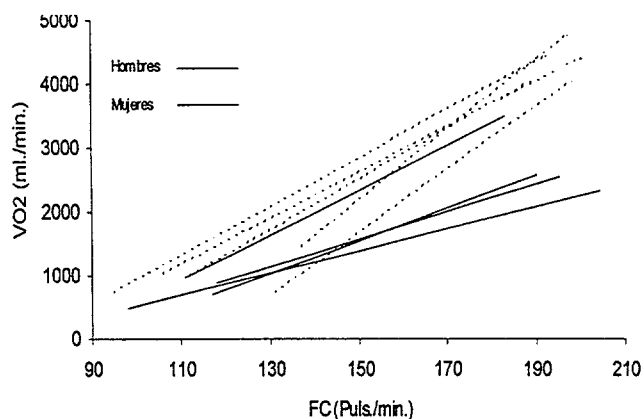


Tabla IV

VO₂ estimado (ml./min.) y calculado en función de FC registrada y según la recta de regresión lineal para cada uno de los sujetos y su correspondiente media para cada sexo expresada como: media ± desviación estándar.

VO ₂ estimado para la segunda prueba (ml./min.)						
SUJETOS	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
V.S.(1)	1947,43	2485,61	2915,25	3310,71	3661,56	
I.E.(1)	753,06	1128,58	1608,90	2058,65	2447,27	2558,61
C.P.(1)	1143,00	1434,74	1714,12	1997,13	2181,20	2299,79
M.M.(1)	1680,21	2169,94	2492,23	2817,22	3043,18	3209,60
PROMEDIO MUJERES	1380,93 ±535.82	1804,72 ±630.08	2182,63 ±627.49	2545,93 ±631.69	2833,30 ±659.37	2689,33 ±468.78
J.M.(2)	1549,91	1866,97	2491,10	2876,72	3210,92	3546,55
S.S.(2)	1246,30	2004,38	2939,62	3438,14	3728,60	
L.A.(2)	978,16	1713,92	2370,76	3287,56	4053,49	
E.A.(2)	1227,76	1948,43	2566,14	2989,39	3528,66	4023,82
A.A.(2)	1630,22	2427,30	3153,21	3659,29	4050,62	
PROMEDIO HOMBRES	1326,47 ±264.42	1992,20 ±266.69	2704,17 ±328.89	3250,22 ±320.77	3714,46 ±359.24	3785,18 ±337.48

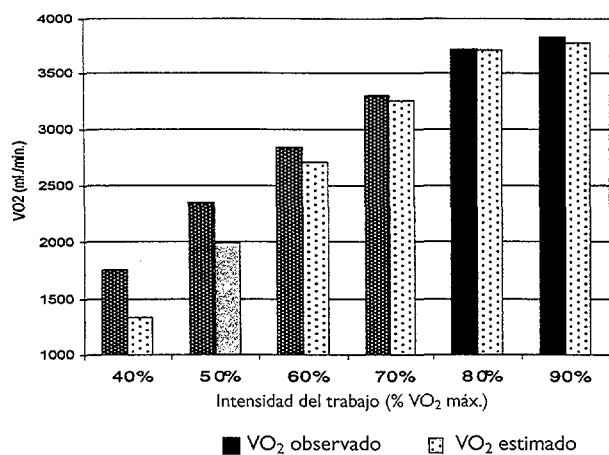
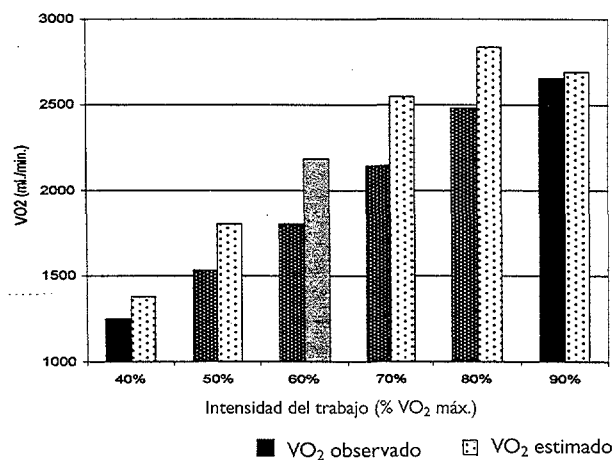
Tabla V

% de error en la estimación del VO₂ en cada intensidad de esfuerzo.

Intensidad de esfuerzo	% de error
40%	-9,88%
50%	-1,42%
60%	6,14%
70%	7,01%
80%	5,94%
90%	1,01%
Promedio	1,47%

Tabla VI Igual a la tabla 5 pero diferenciando por sexo.

% ERROR EN LA ESTIMACIÓN DE VO ₂							
	40%	50%	60%	70%	80%	90%	MEDIA
MUJERES	8,50	15,99	19,85	17,49	13,34	1,29	12,74
HOMBRES	-24,53	-15,31	-4,76	-1,32	0,04	0,59	-7,55

Figura III VO₂ observado y estimado en mujeres a diferentes intensidades de trabajo.**Figura IV** VO₂ observado y estimado en hombres a diferentes intensidades de trabajo.

5. DISCUSION

El método de la estimación del VO₂ a partir de la monitorización de la FC nos permite evaluar el VO₂ de muchas actividades físicas y deportivas¹³ en el campo deportivo que de otra manera serían difícilmente medibles sino se llevasen al laboratorio. Además son muchas las actividades físicas en las que una evaluación directa del VO₂ es inviable actualmente.

Al ser un método de estimación es importante determinar la fiabilidad de este, pues es imprescindible que los datos que se obtienen de este método sean lo más ajustado posible a la realidad.

La pendiente de la recta de regresión VO₂-FC en los hombres es significativamente mayor que la de las mujeres ($p < 0,05$) ya que al aproximado incremento de FC le corresponde un mayor incremento de VO₂ para los hombres. Puesto que los hombres consiguieron alcanzar valores más altos de VO₂, con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), que las mujeres, mientras que los valores de frecuencia cardíaca máxima no presentan diferencias estadísticas significativas.

Respecto a nuestro estudio podemos decir que la recta de regresión se adapta casi perfectamente a todos los puntos pues los coeficientes de regresión (R^2) oscilan entre 0.9027 y 0.9791. Sin embargo no hay que descartar la posibilidad de

buscar otras rectas que se ajusten mejor a los parámetros registrados. Además de mejorarla con la posible utilización de acelerómetros y podómetros.

En cuanto a la fiabilidad de este método, podemos decir que teniendo en consideración los totales de los porcentajes de error en cada uno de las intensidades de trabajo (Tabla 5) su fiabilidad es bastante elevada pues el error máximo es de -9.88% cuando el esfuerzo requiere el 40% del VO₂. Como ya hemos dicho este mayor porcentaje de error corresponde con el más bajo nivel de actividad. Varios autores confirman estos mismos resultados^{1,10}. La razón de esta disminución en la exactitud del método para intensidades bajas de trabajo es debido a la influencia de varios factores: emocionales, estrés... Una de las soluciones, tal como propone Kalkwarf, H.J. (1989), para mejorar esta predicción es considerar dos rectas de regresión, una recta para las frecuencias cardíacas bajas y otra recta para las frecuencias cardíacas altas.

Nuestro estudio sobrestimó en total el VO₂ en un 1.47% (con un rango entre -9.88% y 7.01%).

A la vista de estos datos podemos decir que la predicción resulta bastante fiable. Sin embargo al tratar por separado hombres y mujeres este porcentaje de error cambia notablemente (Tabla 6); de tal manera que este método, en nuestro estudio, sobrestimó el VO₂ en las mujeres con un porcentaje

medio de error de +12.74%. Mientras que en los hombres se subestima dicho valor con un porcentaje medio de error de -7.55%.

La justificación podríamos encontrarla al analizar los datos de FC en cada estadio. Esta es siempre mayor para las mujeres aunque las diferencias no sean estadísticamente significativas. Las razones pueden ser achacadas a que las mujeres generalmente poseen un menor volumen sistólico que los hombres por lo que sus aumentos en el VO_2 se hacen más a expensas de un aumento de la FC que por un aumento de dicho volumen sistólico. Además también pudiera ocurrir que las mujeres presentasen un mayor nerviosismo o estrés ante la prueba de esfuerzo. Así este método de frecuencia cardiaca, obviamente, no diferencia entre situaciones de estrés físico y estrés mental, por lo que un aumento de la frecuencia cardiaca siempre se interpreta como un aumento de la actividad física o gasto energético, aún cuando este aumento venga provocado por situaciones de nerviosismo, consumo de excitantes...

Por último anotar que la estimación de la energía gastada será tan exacta como lo sea la estimación del consumo de oxígeno.

6. CONCLUSIONES

Es necesario que este método se base en una recta de regresión individual, pues esta es diferente para cada individuo, pero existe una mayor semejanza entre individuos de mismo sexo, teniendo una mayor pendiente los hombres que las mujeres.

Otra vez más se confirma que este método conlleva un porcentaje de error mayor cuando se aplica a actividades físicas de baja intensidad.

El método de estimación de la energía gastada a partir de la FC resulta un método fiable (El porcentaje de error medio vario entre +12,74% para los hombres y -7,55% para las mujeres) y económico en tiempo y dinero. La relación coste-beneficio es muy elevada por lo que pudiera resultar uno de los métodos más adecuados para evaluar a grandes poblaciones.

Es necesario seguir investigando en esta misma línea para poder mejorar este método y poder aumentar todavía más su fiabilidad.

Bibliografía

1. MOON, J. K. y BUTTE, N.: Combined heart rate and activity improve estimates of oxygen consumption and carbon dioxide production rates. *J. Appl. Physiol.* Vol. 81(4). Pp. 1754-1761, 1996.
2. CEESAY, S.; PRENTICE, A.; DAY, K.; MURGATROYD, P.; GOLDBERG, G.; SCOTT, W.: The use of heart rate monitoring in the estimation of energy expenditure: a validation study using indirect whole-body calorimetry. *Br. J. Nutr.* N° 61, Pp. 175-186, 1989.
3. ESTON, R., ROWLANDS, A., INGLEDEW, D.: Validity of heart rate, pedometry, and accelerometry for predicting the energy cost of children's activities. *J. Appl. Physiol.* N° 84(1), Pp. 362-371, 1998.
4. RACETTE, S. B.; SCHOELLER, D. A. y KUSHNER, R. F.: comparison of heart rate and physical activity recall with doubly labeled water in obese women. *Med. Sci. Sports Exerc.* Vol. 27, N° 1. Pp. 126-133, 1995.
5. KALKWARE, H. J. y cols.: Accuracy of heart-rate monitoring and activity diaries for estimating energy expenditure. *Am. J. Clin. Nutr.* N° 49. Pp. 37-43, 1989.
6. LUKE, A.; MAKI, K., BARKEY, N.; COOPER, R.; MCGEE, D.: Simultaneous monitoring of heart rate and motion to assess energy expenditure. *Med. Sci. Sports Exerc.* Vol. 29, N° 1 Pp. 144-148, 1997.
7. HASKELL, W.; YEE, M.; EVANS, A.; IRBY, P.: Simultaneous measurement of heart rate and body motion to quantitate physical activity. *Med. Sci. Sports Exerc.* Vol. 25, N° 1 Pp. 109-115, 1993.
8. LI, R., DEURENBERG, P., HAUTVAST, J.: A critical evaluation of heart rate monitoring to assess energy expenditure in individuals. *Am. J. Clin. Nutr.* N° 58, Pp. 602-607, 1993
9. LIVINGSTONE, M. B.: Simultaneous measurement of free-living energy expenditure by the doubly labeled water method and heart-rate monitoring. *Am. J. clin. Nutr.* N° 52. Pp. 59-65, 1990.
10. CHRISTENSEN, C. y cols.: A critical evaluation of energy expenditure estimates based on individual O_2 consumption/heart rate curves and average daily heart rate. *Am. J. clin. Nutr.* N° 37. Pp. 468-472, 1983.
11. SCOTT, C. B.: Interpreting energy expenditure for anaerobic exercise and recovery: an anaerobic hypothesis. *J. sports. Med. Phys. Fitness.* N° 37. Pp. 18-23, 1997.
12. VAN DEN BERG-EMONS, R.; SARIS, W.; WESTERTERP, K. y VAN BAAK, M.: Heart rate monitoring to assess energy expenditure in children with reduced physical activity. *Med. Sci. Sports Exerc.* Vol. 28, N° 4. Pp. 496-501, 1996.
13. FOX. E.L.: Fisiología del deporte. Ed. Panamericana. 1984.

