

Fiabilitat del mètode de monitorització de la freqüència cardíaca en l'estimació del cost energètic VO₂

NURIA GARATACHEA VALLEJO
JOSÉ ANTONIO DE PAZ FERNÁNDEZ

Institut Nacional de Ciències
de l'activitat física i l'esport
de Castella i Lleó

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

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

RESUM. El mètode de monitorització de la freqüència cardíaca s'utilitza per a l'estimació de l'energia gastada. Tanmateix, una de les principals crítiques a aquest mètode és la seva fiabilitat. Per això, diverses investigacions es centren en l'estudi de l'exactitud del mètode i, en conseqüència, com millorar-lo.

L'objectiu d'aquest estudi va ser quantificar la fiabilitat d'aquest mètode quan s'aplica a diferents intensitats d'esforç.

En l'estudi van participar 4 dones i 5 homes, d'edats compreses entre els 20 i els 27 anys, estudiants d'INCAFD. Es va realitzar una primera ergoespirometria per determinar la recta VO₂-FC i una altra, més endavant, per comparar l'estimació de VO₂ mitjançant el mètode de monitorització de FC amb els resultats mesurats per calorimetria indirecta.

No existeixen diferències entre el VO₂ estimat i el mesurat. El percentatge mig d'errada va ser de 1,47%, donant-se el major percentatge d'errada en la intensitat més baixa. Diferenciant per sexes, en les dones el VO₂ es sobreestima i en els homes es subestima.

A la vista dels resultats, aquest mètode és d'una alta relació cost-benefici; per això, pot ser de gran utilitat en estudis multitudinaris.

PARAULES CLAU: Freqüència cardíaca, monitorització, VO₂.

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 VO₂-FC line, and another ergospirometry was done to compare the VO₂ 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 VO₂. The mean error percentage was 1,47%, which occurred mainly at the lowest intensity. According to sexes, VO₂ 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, VO₂.

1. ANTECEDENTS

Diferents investigacions utilitzen el mètode de la monitorització de la freqüència cardíaca (FC) per determinar l'energia gastada i algunes d'elles han demostrat el seu potencial per estimar el cost energètic¹.

Una de les principals crítiques a aquest mètode és la seva fiabilitat, ja que ens proporciona una informació el més ajustada possible a la realitat^{2,3,4,11,5}. Per això, molts autors centren les seves investigacions en l'estudi de l'exactitud del mètode i, per tant, en com millorar-lo.

Son varis els que proposen millorar la predicció de l'energia gastada (i, per tant, el consum d'oxigen (VO_2)), utilitzant al mateix temps que un pulsòmetre per registrar la freqüència cardíaca, acceleròmetres i podòmetres per registrar el moviment corporal.^{1,3,6,7} D'altra banda, altres autors es centren en la millora de l'equació de predicció^{1,5,8}.

També es produeix una errada a nivells elevats de despesa d'energia ja que tota la producció d'energia no depèn únicament de la via aeròbica, sinó que també hi participa la via anaeròbica¹¹.

Una altra crítica important és la feta als nombrosos factors que influeixen en la freqüència cardíaca, com poden ser: factors emocionals, estrès, excitants, fàrmacs, tipus d'exercici, etc.^{6,12}.

Un dels autors que investiga en el tema que ens ocupa, Ceesay, S.M. (1989), va observar que aquest mateix mètode subestimà el VO_2 (equivalent a l'energia gastada) un només un 1,2% (amb un rang entre -11,4 i + 10,6%), el que ens dona una idea de la seva exactitud.

És important destacar que la majoria de les investigacions relacionades amb el nostre objectiu d'estudi no es centren només en l'àmbit de l'activitat física i l'esport, sinó que el seu principal terreny d'estudi és més aviat clínic o mèdic^{4,10,12}.

2. OBJECTIUS

Davant els estudis esmentats, ens hem plantejat analitzar la fiabilitat del mètode de monitorització de la freqüència cardíaca per a l'estimació de l'energia gastada (VO_2) a diferents intensitats d'activitat física.

Així, en conèixer aquesta fiabilitat, es pot objectivar més i prendre precaucions en l'estimació de l'energia gastada mitjançant aquest mètode.

3. MATERIAL I MÈTODE

Per a la realització d'aquest estudi, es va comptar amb 9 voluntaris, 5 homes i 4 dones, estudiants d'INCAF i D de Castella i Lleó, d'edats compreses entre els 20 i els 27 anys.

Per tal de determinar la relació individual entre VO_2 i FC es va realitzar una primera prova d'esforç triangular discontinu màxim en cicloergòmetre Ergoline 900. En tot moment es va enregistrar la FC mitjançant pulsòmetre Polar Vantage NV i els paràmetres ventilatoris mitjançant un analitzador de gasos Medical Graphics CPX plus.

En primer lloc, es pesava i mesurava el subjecte, utilitzant una balança Tefal 200 i una cinta mètrica Holtain, sempre descalç i amb pantaló curt i samarreta esportiva. Després es realitzava un escalfament de 5 minuts sobre cicloergòmetre a una potència de 75 wats pels homes i 50 wats per a les dones, precedit d'estiraments de la musculatura del tren inferior en un temps determinat pel propi subjecte.

Després de col·locar els aparells corresponents (pulsòmetre i broquet), començava la prova. En primer lloc, es registrava un minut de repòs i a continuació el subjecte començava a pedalejar a una potència de 25 wats, incrementant-la en 25 wats cada minut fins arribar a l'extenuació del subjecte.

Al tercer dia, després de la primera prova se'n va realitzar una segona. Abans de començar-la es va aplicar el mateix protocol que en la prova anterior. Cada escaló tenia una durada de 3 minuts. Les intensitats de cadascun eren del 40, 50, 60, 70, 80, 90 i 100% del $VO_{2\text{ màx}}$. El subjecte havia de completar el màxim nombre possibles d'escalons.

El tractament gràfic s'enregistrava en el Full de Càlcul Excel 97 i l'estadístic en el Programa Statistica per a Windows 95.

En primer lloc es va fer la prova de Normalitat de Kolmogorov-Smirnov.

Per tal de calcular les diferències mitges es va utilitzar el test de la "U de Mann-Whitney", essent necessari una $p < 0,05$ per assumir diferències significatives.

4. RESULTATS

Les característiques dels subjectes es mostren a la taula 1. Entre parèntesi s'especifica el sexe (1: dona; 2: home).

Existeixen significatives diferències entre sexes tant en la talla, el pes com en la $VO_{2\text{ màx}}$ ($p < 0,05$). Pel que fa a l'edat i en el I.M.C. ni es van observar diferències significatives.

Tampoc es van detectar diferències significatives en el pes corporal entre la primera i la segona prova.

A la taula 2 apareixen les rectes de regressió lineal FC- VO_2 , per a cadascun dels subjectes, al costat del coeficient de correlació lineal R^2 i el valor del pendent de la recta (coeficient de la x). Aquestes rectes van calcular-se aparellant les dades del VO_2 i de la FC des del segon fins el darrer minut d'esforç i segons el model d'equació:

Taula 1

Edat, talla, pes, index de massa corporal (I.M.C.) VO₂ i FC màx de cadascun dels subjectes i la seva mesura corresponent per a cada sexe expressada com: mitjana ± desviació estàndard.

DESCRIPCIO DELS SUBJECTES						
SUBJECTES	EDAT (anys)	TALLA (Cm.)	PES (Kg.)	I.M.C.	VO ₂ max.* (ml./min.)	FC Màx. (puls./min.)
VS.(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
MITJANA DONES	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
MITJANA HOMES	24,3 ±2,16	173,3 ±5,56	72,8 ±5.43	24,3 ±1.89	4367.6 ±371.1	195.4 ±4.39

* Diferències estadísticament significatives (p<0,05) entre homes i dones

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

A = pendent de la regressió lineal

B = constant de la regressió lineal

X = FC de l'activitat sobre la qual s'estima el VO₂

A la figura 1 es representa una d'aquestes rectes a tall d'exemple.

Existeixen diferències estadísticament significatives (p < 0,05) en els pendents de les rectes entre els homes i les dones.

La figura 2 mostra totes les rectes de regressió individual VO₂-FC dels 9 subjectes.

La taula 3 mostra els valors de VO₂ mesurats en la segona prova en cadascun dels nivells que el subjecte va completar. El valor de cada nivell correspon a la mitja dels darrers dos minuts de cada escaló, considerant, d'aquesta manera, que aquest valor s'estabilitza després del primer minut d'adaptació a la càrrega.

Existeixen diferències estadísticament significatives (p<0,05) entre homes i dones en el 40, 50, 60, 70 i 80% del VO₂màx.

A la taula 4 es presenten els valors del VO₂ (ml/min) estimats segons les rectes de regressió (taula 2) i a partir de la FC enregistrada a la segona prova.

No existeixen diferències estadísticament significatives entre homes i dones en cap de les intensitats de treball pel VO₂ estimat.

Entre el VO₂ observat i el VO₂ estimat, segons les rectes de regressió individual, en cadascun del sexes no existeixen diferències estadísticament significatives (p<0,05).

Les figures 3 i 4 ens aporten informació gràfica de les diferències entre el VO₂ observat i l'estimat en cadascun dels escalons de la segona prova, per a cadascun dels sexes.

A partir de les dades anteriors s'ha calculat el percentatge d'error de l'estimació en cadascun dels percentatges de treball. Aquests s'expressen a la taula 5 i 6.

5 DISCUSSIO

El mètode de l'estimació del VO₂ a partir de la monitorització de la FC ens permet avaluar el VO₂ de moltes activitats físiques i esportives¹³ en el camp esportiu que d'altra manera serien difícilment mesurables sinó es portessin al laboratori. A més a més, són moltes les activitats físiques en les quals una avaluació directa del VO₂ és inviable actualment.

En ser un mètode d'estimació és important determinar la seva fiabilitat, doncs és imprescindible que les dades que s'obtenen d'aquest mètode s'ajustin el més possible a la realitat.

Taula II Rectes de regressió lineal VO₂-FC, coeficient de correlació (R²) i pendent de la recta per a cada subjecte i la seva corresponent mitjana per a cada sexe expressada com: mitjana ± desviació estàndard.

SUBJECTES	RECTES DE REGRESSIO	R ²	PENDENT*
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±0.014	25.23±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±0.031	43.31±8.91

Y = VO₂ estimado (ml. / min.)

X = FC (Puls. / min.)

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

Taula III VO₂ (ml/min) en cadascun dels diferents estadis de la segona prova per a cadascun dels subjectes i la seva corresponent mitjana per a cada sexe expressada com: mitjana ± desviació estàndard.

VO ₂ OBSERVAT EN LA SEGONA PROVA (ML./MIN.)						
SUBJECTES	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
Promig dones	1250,3 ±145.89	1535,8 ±154.67	1802,7 ±118.88	2147,9 ±178.96	2483,0 ±155.21	2653,9 ±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	-
Promig homes	1751,7 ±157.30	2349,2 ±98.88	2839,9 ±256.84	3307,1 ±330.93	3721,7 ±206.18	3827,7 ±555.78

* Diferències estadísticament significatives (p<0,05) entre homes i dones

Figura I Recta de regressió individual FC-VO₂ d'un dels subjectes.

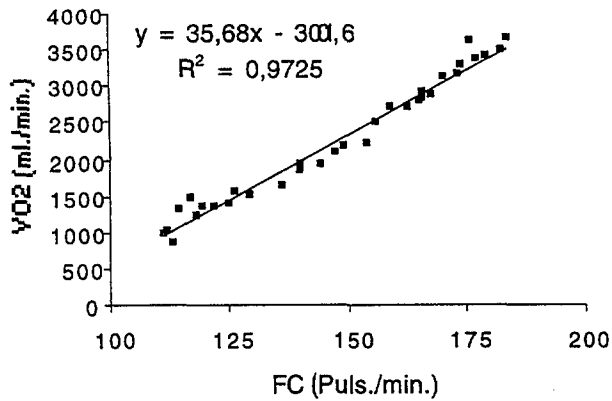
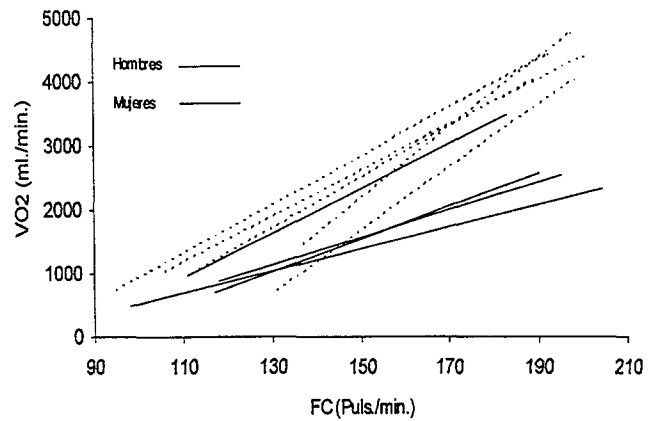


Figura II Rectes de regressió individuals VO₂-FC dels 9 subjectes.



Taula IV VO₂ estimat (ml/min) i calculat en funció de FC registrada i segons la recta de regressió lineal per a cadascun dels subjectes i la seva corresponent mitjana per a cada sexe expressada com: mitjana ± desviació estàndard.

VO ₂ OBSERVAT PER A LA SEGONA PROVA (ML./MIN.)						
SUBJECTES	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
VS.(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
Promig dones	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	
Promig homes	1326,47 ±264.42	1992,20 ±266.69	2704,17 ±328.89	3250,22 ±320.77	3714,46 ±359.24	3785,18 ±337.48

Taula V % d'errada en l'estimació del VO₂ en cada intensitat d'esforç.

Intensitat de l'esforç	% d'errada
40%	-9,88%
50%	-1,42%
60%	6,14%
70%	7,01%
80%	5,94%
90%	1,01%
Promig	1,47%

Taula VI Igual que la taula 5 però diferenciant per sexe.

% D'ERRADA EN L'ESTIMACIÓ DEL VO ₂							
	40%	50%	60%	70%	80%	90%	MITJANA
DONES	8,50	15,99	19,85	17,49	13,34	1,29	12,74
HOMES	-24,53	-15,31	-4,76	-1,32	0,04	0,59	-7,55

Figura III VO₂ observat i estimat en dones a diferents intensitats de treball.

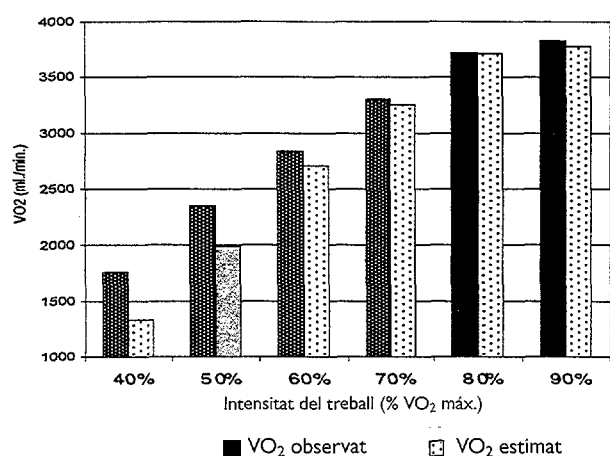
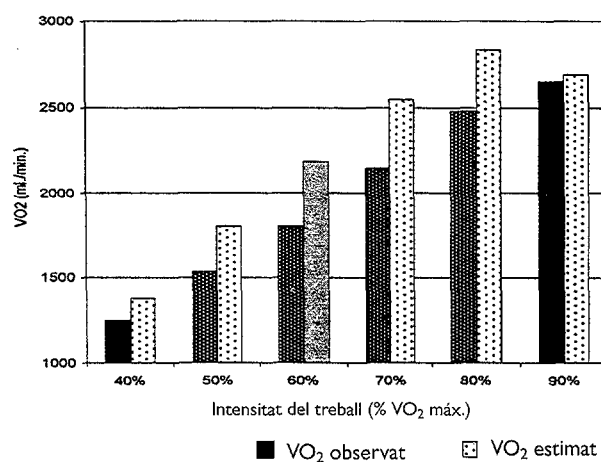


Figura IV VO₂ observat i estimat en homes a diferents intensitats de treball.



El pendent de la recta de regressió VO₂-FC en els homes és significativament més gran que en les dones ($p < 0,05$) ja que a un aproximat increment de FC li correspon un major increment de VO₂ pels homes. Els homes van assolir valors més alts de VO₂, amb diferències estadísticament significatives ($p < 0,05$), que les dones; en canvi, els valors de freqüència cardíaca màxima no presentaven diferències estadístiques significatives.

Respecte al nostre estudi, podem dir que la recta de regressió s'adapta quasi perfectament a tots els punts, doncs el coeficients de regressió (R^2) oscil·len entre 0,9027 i 0,9791. Tanmateix, no s'ha de descartar la possibilitat de buscar altres rectes que s'ajustin millor als paràmetres enregistrats, a més a més de millorar-la amb la possible utilització d'acceleròmetres i podòmetres.

Pel que fa a la fiabilitat d'aquest mètode, podem dir que tenint en consideració els totals dels percentatges d'errada en cadascuna de les intensitats de treball (taula 5), la seva fiabilitat és força alta, doncs l'errada màxima és de -9,88% quan l'esforç requereix un 40% del VO₂. Com ja hem dit, aquest percentatge d'errada correspon amb el nivell més baix d'activitat. Diversos autors confirmen aquests mateixos resultats^{1,10}. La raó d'aquesta disminució en l'exactitud del

mètode per a intensitats baixes de treballa es deu a la influència de diversos factors: emocionals, estrès, etc. Una de les solucions, tal com ho proposa Kalkwarf, H.J. (1989), per millorar aquesta predicció és considerar dues rectes de regressió, una recta per a les freqüències cardíques baixes i una altra recta per a les freqüències cardíques altes.

El nostre estudi va sobreestimar en total el VO₂ en un 1,47% (amb un rang entre -9,88% i 7,01%).

Davant aquestes dades, podem dir que la predicció resulta bastant fiable. Tanmateix, en tractar per separat homes i dones aquest percentatge d'errada canvia notablement (taula 6), de forma que, en el nostre estudi, aquest mètode va sobreestimar el VO₂ en les dones amb un percentatge mig d'errada de +12,74%. En els homes, aquest valor es va sobreestimar amb un percentatge mig d'errada de -7,55%.

La justificació podríem trobar-la a l'analitzar les dades de FC en cada estudi. Aquesta sempre és major per a les dones, encara que les diferències no siguin estadísticament significatives. Les raons poden imputar-se a que les dones, generalment, posseeixen un volum sistòlic més baix que els homes, fet pel qual els increments de VO₂ es produeixen més a costa d'un augment de la FC que d'un augment del volum sistòlic. A més a més, també pot passar que les dones

presentin un nerviosisme o estrès més acusat davant la prova d'esforç.

Aquest mètode de freqüència cardíaca no diferencia entre situacions d'estrès físic i d'estrès mental, fet pel qual un augment de la freqüència cardíaca sempre s'interpreta com un increment de l'activitat física o despesa energètica, fins i tot quan aquest increment sigui provocat per situacions de nerviosisme, consum d'excitants, etc.

Per acabar, anotar que l'estimació de l'energia gastada serà tan exacta com ho sigui l'estimació del consum d'oxigen.

6 CONCLUSIONS

És necessari que aquest mètode es basi en una recta de regressió individual, doncs aquesta és diferents segons l'individu, però existeix una major similitud entre individus

d'un mateix sexe, tenint un pendent major els homes que les dones.

Altra vegada es confirma que aquest mètode comporta un percentatge d'errada més important quan s'aplica a activitats físiques de baixa intensitat.

El mètode d'estimació de l'energia gastada a partir de la FC resulta un mètode fiable (el percentatge d'errada mitja va variar entre +12,74% pels homes i -7,55% per a les dones) i econòmic en temps i diners. La relació cost-benefici és molt elevada; per tant, podria ser un dels mètodes més adients per avaluar grans quantitats de població.

És necessari seguir investigant en aquesta mateixa línia per poder millor aquest mètode i augmentar encara més la seva fiabilitat.

Bibliografia

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. KALKWARF, 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 O₂ 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.; WESTERTER, 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.: Fisiologia del deporte. Ed. Panamericana. 1984.

