

DIFERENTES MODELOS DE REGRESIÓN PARA DESCRIBIR LA RELACIÓN $\dot{V}O_2$ -FC Y PARA ESTIMAR EL $\dot{V}O_2$ A DIFERENTES INTENSIDADES DE ESFUERZO

*Different models of regression to describe the relation $\dot{V}O_2$ -Fc
 and to consider the $\dot{V}O_2$ with different intensities of effort*

Nuria Garatachea Vallejo, David García López y José Antonio de Paz Fernández

Universidad de León. Departamento de Fisiología

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA:

Dra. Nuria Garatachea Vallejo

Universidad de León. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Campus de Vegazana, s/n - 24071 León

dfingv@unileon.es

Fecha de recepción: Julio 2005 • Fecha de aceptación: Octubre 2005

RESUMEN

Muchos son los estudios que demuestran el potencial de la frecuencia cardiaca (FC) para estimar el coste energético de una actividad física, ya que se relaciona directamente con el consumo de oxígeno ($\dot{V}O_2$). La mayoría de estudios describen la relación $\dot{V}O_2$ -FC como lineal para un amplio rango de esfuerzo, exceptuando los valores de reposo aunque se han propuesto diferentes funciones matemáticas continuas no lineales sin existir todavía un acuerdo en la ecuación más apropiada. También existen estudios que apuntan un cambio en la relación $\dot{V}O_2$ -FC en función de la intensidad del esfuerzo. Nuestro objetivo fue determinar cuál es la mejor función matemática que describe la relación entre la FC y el $\dot{V}O_2$ y decidir cuál es la mejor función matemática para estimar el $\dot{V}O_2$ a diferentes intensidades de esfuerzo. Participaron 14 sujetos que realizaron una prueba de esfuerzo máxima sobre cicloergómetro y una prueba que consistía en pedalear a 5 intensidades de esfuerzo (40, 50, 60, 70 y 80% del $\dot{V}O_{2max}$) durante 3 minutos. Durante ambas pruebas se midió $\dot{V}O_2$ y frecuencia cardiaca. El modelo lineal y potencial fueron los modelos matemáticos más exactos para describir la relación $\dot{V}O_2$ -FC. El mayor error de estimación se produjo a bajas intensidades de esfuerzo. En conclusión, la elección de un tipo u otro de regresión influye en la exactitud del método de monitorización de la frecuencia cardiaca.

Palabras clave: Consumo de oxígeno, frecuencia cardiaca, gasto energético.

ABSTRACT

Many studies demonstrate the potential of the heart rate (HR) to estimate the energy expenditure of a specific physical activity, since it is directly related to the oxygen uptake ($\dot{V}O_2$). Studies describe the $\dot{V}O_2$ -HR relationship as linear for a great range of effort, apart from the resting, although there have been proposed different continuous nonlinear mathematical functions. Nevertheless, there is no agreement for the best-suited equation by the moment. There are also studies which report changes in the $\dot{V}O_2$ -HR relationship according to the intensity of the effort. Our objective was to determine which is the best mathematical function to describe the existing relationship among HR and $\dot{V}O_2$, and to state which one is the best mathematical function to estimate the $\dot{V}O_2$ at different intensities of effort. Fourteen subjects performed a maximal test on a cycle ergometer, and another test which consisted in pedalling at 5 different intensities of effort (40, 50, 60, 70 and 80 % of the $\dot{V}O_{2max}$) during 3 minutes. $\dot{V}O_2$ and HR data were collected during both tests. The linear model and the potential model were the most exact mathematical models to describe $\dot{V}O_2$ -HR relation. The greater estimate error was found at low effort intensities. In conclusion, selecting the regression model can possibly affect of the monitoring method for the HR.

Key words: Oxygen uptake, heart rate, energy expenditure.

Introducción

Desde que en 1907, Benedict describiera la relación entre la frecuencia cardíaca y la energía gastada, muchos son los estudios que demuestran el potencial de la frecuencia cardíaca (FC) para estimar el coste energético de una actividad física, ya que se relaciona directamente con el consumo de oxígeno ($\dot{V}O_2$) (Oja, Ilmarinen & Louhevaara, 1982; Ceesay, Prentice, Day, Murgatroyd, Goldberg, Scott & Spurr, 1989; Hiilloskorpi, Pasanen, Fogelholm, Laukkanen & Manttari, 2003).

El registro de la FC es más barato y menos invasivo que técnicas calorimétricas y además los rápidos avances tecnológicos nos ofrecen nuevos pulsómetros más pequeños y baratos a la vez que más potentes (Léger & Thivierge, 1988), de ahí la gran utilidad del método de monitorización de la FC (MFC) en la cuantificación de la energía en situaciones de campo.

En general, los estudios realizados en humanos indican que es un aceptable método cuando se compara con otros considerados como estándares (Ainslie, Reilly & Westerterp, 2003).

La relación entre la FC y el $\dot{V}O_2$ varía entre sujetos, y existe acuerdo en que se determine de forma individual; pero además esta relación puede modificarse según diferentes factores como modo de ejercicio (Maas, Kok, Westra & Kemper, 1989), temperatura (Kriemler, Hebestreit & Bar-Or, 2002), embarazo (Pivarnik, Stein & Rivera, 2002) ... situaciones que debe controlar el investigador para minimizar el error del método. A estos factores hay que añadir cuando el investigador no elige la función matemática más adecuada para describir la relación $\dot{V}O_2$ -FC.

La mayoría de estudios describen la relación $\dot{V}O_2$ -FC como lineal para un amplio rango de esfuerzo, exceptuando los valores de reposo; uno de los primeros en describirlo así fue Berggren y Christensen en 1950. También se ha propuesto un método, llamado flex, que utiliza dos segmentos lineales para describir la relación $\dot{V}O_2$ -FC (una recta para FC bajas y otra para FC altas) (Spurr, Prentice, Murgatroyd, Goldberg, Reina & Christman, 1988). Está claro que la curva de calibración individual $\dot{V}O_2$ -FC para el rango total de energía gastada e incluyendo los valores de

reposo es curvilínea (Saris, Baecke & Bin-khorst, 1982), y en este sentido se han propuesto diferentes funciones matemáticas continuas no lineales pero no existe acuerdo en la ecuación más apropiada (Londree & Ames, 1976, Saris et al., 1982).

Del mismo modo, también existen estudios que apuntan un cambio en la relación $\dot{V}O_2$ -FC en función de la intensidad del esfuerzo (Bernard, Gavarry, Bermon, Giacomoni, Marconnet & Falgairette, 1997), otro factor añadido a tener en consideración a la hora de estimar el $\dot{V}O_2$ en función de la FC.

Por todo esto nos hemos planteado dos objetivos principales para mejorar la exactitud del método de monitorización de la frecuencia cardíaca para la estimación de la energía gastada: en primer lugar, determinar cuál es la mejor función matemática que describe la relación entre la FC y el $\dot{V}O_2$; y en segundo lugar, decidir cuál es la mejor función matemática para estimar el $\dot{V}O_2$ a diferentes intensidades de esfuerzo.

Método

Sujetos. Participaron en este estudio 14 sujetos voluntarios, 10 hombres y 4 mujeres (edad: $23,5 \pm 2,3$ años; peso: $74,7 \pm 18,4$ Kg; talla: $172,6 \pm 7,2$ m), no fumadores, y que no presentaban enfermedad cardiovascular ni respiratoria. Todos los sujetos dieron informe escrito de su consentimiento para la participación después de que se les explicara los detalles del estudio, así como los riesgos asociados. El protocolo del estudio fue aprobado por el comité ético de la Universidad de León.

Protocolos. Cada sujeto realizó dos pruebas de esfuerzo sobre cicloergómetro (Ergometrics 900; Ergo-line, Barcelona, Spain) en días distintos, en un periodo máximo de una semana. Todas las pruebas se realizaron a la misma hora del día (10:00-13:00) y bajo similares condiciones ambientales ($21-24$ °C y 45-55% de humedad relativa).

Cada sujeto permanecía en reposo antes de empezar la prueba y no realizó esfuerzos físicos duros durante las 24 h anteriores. Todos ellos realizaron la última comida (desayuno), por lo menos, 3 horas antes de comenzar el test y ninguno de

ellos tomaba sustancias que pudieran influir en los resultados.

El primer día que llegaron al laboratorio se les tomaron las medidas de peso y talla conforme a la metodología del Grupo Internacional de Cineantropometría (Lohman y cols., 1988). Posteriormente realizaron una prueba de esfuerzo máximo (Pmax) sobre cicloergómetro. Tras un minuto de reposo, el sujeto comenzaba a pedalear debiendo mantener, durante todo el desarrollo del test, una cadencia de pedaleo entre 60 y 80 rpm. La potencia se incrementaba 25 W cada minuto. El test terminaba 1) voluntariamente por el sujeto, 2) cuando la cadencia de pedaleo no podía ser mantenida en el rango requerido, o 3) cuando se establecían los criterios de terminación de un test propuestos por el ACSM (ACSM, 2000).

El segundo día, los sujetos realizaron una prueba que consistía en pedalear a 5 intensidades de esfuerzo diferentes durante 3 minutos (Pint). Estas intensidades eran, en este orden, 40, 50, 60, 70 y 80% del $\dot{V}O_2$ max individual. La cadencia de pedaleo se estandarizó también entre 60-80 rpm.

Mediciones. Durante ambas pruebas se monitorizó de forma continua y simultáneamente los gases respirados y la frecuencia cardíaca. Se pasa a explicar cada una de ellas.

Intercambio gaseoso. El análisis del intercambio gaseoso se realizó por el sistema de circuito abierto de respiración a respiración (CPX, Medical Graphics; St. Paul, MN). Antes del inicio de cada test se realizaba una calibración del aparato siguiendo las instrucciones del fabricante. Se registraba el $\dot{V}O_2$, calculando la media de cada intervalo de 15 s.

Frecuencia cardíaca. Para el registro de la FC se utilizó un pulsómetro Polar Vantage NV (Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia); se colocaba un emisor al nivel del final del esternón y un receptor en la muñeca del sujeto. Los datos almacenados en el receptor se pasaban al software informático Polar Training Advisor por medio de un interface Polar Advantage. Los datos de FC se registraron cada 15 s.

Análisis estadístico. Los datos son presentados como media \pm desviación estándar (SD). Para el cálculo de los modelos de regresión se utilizó el paquete estadístico

Tabla 1. Modelos Matemáticos

Lineal (LIN)	$\dot{V}O_2 = m FC + b$	m es la pendiente y b la intersección en $X = 0$.
Exponencial (EXP)	$\dot{V}O_2 = b (e^{cFC})$	b y c son constantes
Potencial (POT)	$\dot{V}O_2 = b FC^c$	b y c son constantes
Logarítmica (LOG)	$\dot{V}O_2 = b + c \ln FC$	b y c son constantes y \ln función logarítmica natural
Cuadrática (CUAD)	$\dot{V}O_2 = b + c_1 FC + c_2 FC^2$	b , c_1 y c_2 son constantes

SPSS (v.10, SPSS Inc., Chicago), siendo la variable dependiente el $\dot{V}O_2$ y la independiente la FC. Para ello se utilizaron los datos registrados simultáneamente de estas variables durante la Pmax, desde el tercer minuto hasta el máximo.

Se calcularon los siguientes modelos de regresión presentados en la tabla 1, por ser los que en general mejor explican las variables biológicas. Para el estudio de la bondad del ajuste de las funciones se utilizaron 3 parámetros:

Coficiente de determinación (R^2): mide la proporción de la variación de los puntos los cuales son explicados por el modelo de regresión.

Suma de cuadrados de residuos (SCR): es la suma de los cuadrados de las diferencias verticales entre los datos y la curva generada por la regresión.

Error estándar de la regresión (EEE): es la desviación estándar de los residuos.

Las diferencias entre el $\dot{V}O_2$ medido a cada una de las intensidades desarrolladas en la Pint y el estimado por cada modelo de regresión, fueron calculadas y evaluadas por la prueba t para muestras relacionadas.

Resultados

Modelo de regresión que mejor describe la relación $\dot{V}O_2$ -FC. La tabla 2 muestra los parámetros para el estudio de la bondad del ajuste de cada uno de los modelos de regresión calculados.

El R^2 oscila en un pequeño rango que va desde 0,86 del modelo exponencial hasta 0,91 del modelo cuadrático.

En cuanto al EEE y SCR, ambos son claramente superiores en los modelos lineal, logarítmico y cuadrático, mostrando los valores más elevados el modelo logarítmico. Por el contrario, los modelos potencial y exponencial son los dos que muestran valores notablemente inferiores respecto del resto de modelos, y es el modelo potencial el que presenta los valores más bajos.

Modelo de regresión a cada intensidad. Los sujetos 10 y 11 no completaron la última carga de esfuerzo correspondiente al 80% del $\dot{V}O_2$ max en la Pint, por lo que los resultados relativos a esta intensidad solamente se refieren a 12 sujetos.

Los valores de $\dot{V}O_2$ medidos a cada una de las intensidades así como los estimados según cada modelo de regresión y para cada una de las intensidades se recogen en la tabla 3.

En esta tabla también se marcan las diferencias entre el $\dot{V}O_2$ medido y el estimado al aplicar la prueba t para muestras relacionadas. El $\dot{V}O_2$ estimado al 40% del $\dot{V}O_2$ max fue diferente en todos los modelos respecto del $\dot{V}O_2$ medido, a excepción del logarítmico. Por el contrario, el estimado al 80% fue similar al medido en todos los modelos salvo en el caso del logarítmico. La única intensidad en que el $\dot{V}O_2$ estimado por todos los modelos es similar al medido fue la del 70%

del $\dot{V}O_2$ max. En general puede apreciarse que la estimación según un modelo u otro presenta más diferencias en relación con el $\dot{V}O_2$ medido en las bajas intensidades de esfuerzo.

En cuanto a los modelos calculados, son el lineal y el logarítmico los dos que solamente muestran diferencias en una de las intensidades de todas las desarrolladas, que fueron el 40 y el 80% del $\dot{V}O_2$ max respectivamente. Los otros modelos, por su parte muestran diferencias en dos o tres de las intensidades desarrolladas.

El modelo logarítmico fue el más exacto de los calculados en las 3 intensidades más bajas, a saber: 40, 50 y 60% del $\dot{V}O_2$ max, sin embargo en las dos intensidades más altas presentan el mayor porcentaje de error.

El modelo con menor error al 70% del $\dot{V}O_2$ max fue el exponencial y al 80% fue el potencial, mostrando en ambos casos un porcentaje de error muy próximo a 0%.

Es de resaltar que en todas las intensidades calculadas el $\dot{V}O_2$ fue subestimado por el MFC, a excepción del 80% del $\dot{V}O_2$ max según el modelo exponencial.

Discusión

La FC es la variable fisiológica más fácil de monitorizar en el campo, y por lo tanto es la más utilizada para estimar la energía gastada. El MFC se utiliza desde hace años (Brandfield, 1971; Payne, Wheeler & Salvosa, 1971) y su principal utilidad es la de poder ser utilizado en situaciones de campo, no quedando así restringido su uso solamente al laboratorio. Por ello que nos encontramos ante un método de gran aplicabilidad para la valoración y la prescripción del ejercicio físico en el ámbito del ejercicio para la salud.

Según Li y sus colegas, 1993, existen distintas fuentes de error en el MFC debidas a las diferencias intraindividuales a corto plazo, que son: infecciones, dura-

Tabla 2. Coeficiente de determinación (R^2), Suma de cuadrados de residuos (EEE) y Suma de cuadrados de residuos (SCR) de cada modelo de regresión.

	R^2	EEE	SCR
LIN	0,89 (0,13)	306,2 (146,3)	7256547,8 (7706942,5)
EXP	0,86 (0,13)	0,22 (0,08)	3,4 (2,6)
POT	0,89 (0,13)	0,19 (0,08)	2,6 (2,4)
LOG	0,87 (0,11)	359,5 (123,6)	9160194,6 (7071850,4)
CUAD	0,91 (0,12)	284,1 (155,2)	6478712,4 (7491795,6)

Tabla 3. Media (SD) del $\dot{V}O_2$ medido y del $\dot{V}O_2$ estimado según los diferentes modelos de regresión y a diferentes intensidades. Diferencias significativas respecto de medido: p < 0,05; **: p < 0,01; ***: p < 0,001.

	VO ₂ ESTIMADO					
	Medido	LIN	EXP	POT	LOG	CUAD
40%	1732,9(415,3)	1503,7 (*) (476,4)	1291,3 (**)(343,5)	1378,9 (**)(402,8)	1592,6(553,3)	1428,3 (**)(510,3)
50%	2191,4 (455,7)	2010,9(438,1)	1723,8 (**)(386,2)	1850,8 (**)(433,8)	2106,7(465,7)	1934,4 (*) (476,7)
60%	2692,7 (639,9)	2532,1(517,1)	2348,1 (**)(521,0)	2450,7(558,2)	2567,8(521,4)	2480,7(558,9)
70%	3170,0 (797,1)	3011,1(599,2)	3111,9(739,5)	3080,6(673,7)	2957,2(581,5)	3004,3(647,2)
80%	3566,8 (870,5)	3335,7(700,2)	3680,8(962,7)	3498,5(797,1)	3162,3 (*) (581,5)	3299,7(743,3)

ción y calidad del sueño, temperatura, emoción, consumo de alcohol/tabaco/caféina o tiempo transcurrido desde la última comida. Estos factores fueron controlados o eliminados en nuestro estudio para que no hubiese alteraciones de los resultados obtenidos.

Para poner en práctica este método, es necesario en primer lugar establecer la relación entre la FC y el $\dot{V}O_2$. La mayoría de estudios coinciden en que esta relación debe ser calculada de forma individual (Moon & Butte, 1996) y a partir de las actividades que se vayan a evaluar (Saris et al., 1982) pues de este modo se consigue que la recta de calibración sea representativa de la dinámica cardiorrespiratoria de esas actividades a evaluar posteriormente (Livingstone, Robson & Totton, 2000).

A la hora de calcular la relación $\dot{V}O_2$ -FC el profesional o el investigador debe determinar qué modelo matemático utilizar. Nosotros hemos estudiado 5 modelos diferentes (ver tabla 1) y para determinar la bondad del ajuste hemos utilizado 3 parámetros.

En cuanto al R² fue muy similar entre todos los modelos, obteniendo el mayor valor, 0,91, el modelo cuadrático y, por el contrario, el valor más bajo, 0,86, el modelo exponencial. Estos valores son muy similares a otros estudios (Spurr et al., 1988; Li et al., 1993; Moon & Butte, 1996), indicando un buen ajuste entre las dos variables de la regresión. Sin embargo, esta variable apenas nos permite diferenciar qué modelo es más apropiado para describir la relación $\dot{V}O_2$ -FC, por ello que hemos calculado otros dos parámetros, EEE y SCR, que nos permitan discriminar entre modelos.

El EEE y la SCR fue notablemente in-

ferior en el caso del modelo exponencial y potencial, indicativo esto de un buen ajuste. De los 5 modelos calculados es el modelo potencial el que tiene un mejor ajuste, pues muestra el EEE y SCR más bajo a la vez que el R² es uno de los más altos.

Pero en vista a los resultados que hemos obtenido y dado que el modelo exponencial y potencial son modelos interconvertibles entre ellos, los dos modelos son por tanto muy similares y describen de manera muy precisa la relación $\dot{V}O_2$ -FC. Otros estudios solamente toman como referencia para estudiar el mejor ajuste matemático el R² (Treuth, Adolph & Butte, 1998), sin embargo nuestros resultados revelan la importancia de considerar otros parámetros que aporten información añadida sobre el grado de ajuste. Además, también confirmamos que la Pmax es muy apropiada para determinar la relación que estudiamos por el buen ajuste obtenido. Esto está en acuerdo con las ideas de Daucey y James (1979) los cuales proponen un análisis de la FC y $\dot{V}O_2$ durante periodos cortos de tiempo pero que provoquen grandes cambios, como es el caso de la Pmax.

También quisimos estudiar cuál es la relación más apropiada a cada una de las intensidades desarrolladas en la Pint. Pa-

ra ello aplicamos el MFC utilizando los 5 diferentes modelos matemáticos a cada intensidad de la Pint y los comparamos con el $\dot{V}O_2$ medido por análisis de gases.

Confirmamos que el mayor error se produce a bajas intensidades, al igual que otros estudios (Rowlands, Eston & Ingledew, 1997) principalmente debido a la influencia de factores emocionales; como se observa en la tabla 4, el modelo logarítmico fue el más exacto en las 3 intensidades más bajas, de tal modo que fue más apropiado en estos casos que en el resto de los estudiados. Por el contrario, a altas intensidades (70 y 80% del $\dot{V}O_{2max}$), resultó más exacto el modelo potencial y exponencial respectivamente.

En este sentido se observa que la bondad del ajuste de un modelo matemático no guarda relación con el error en la estimación a diferentes intensidades, puesto que el ajuste logarítmico fue el peor y resultó ser el de menor error de estimación en las intensidades más bajas. A su vez corroboramos cómo la elección de un tipo u otro de regresión influye en la exactitud del MFC. Esto no está en contraposición a un estudio de Spurr y sus colaboradores (1988) los cuales apuntan que la energía gastada es fiable cuando el R² es alto, sino que nosotros simple-

Tabla 4. Porcentaje de error medio (SD) de la estimación del $\dot{V}O_2$ según diferentes modelos de regresión e intensidad de esfuerzo.

	LIN	EXP	POT	LOG	CUAD
40%	-12,5(22,2)	-24,8(12,8)	-19,6(17,5)	-7,5(25,5)	-17,4(22,2)
50%	-7,2(16,8)	-20,4(13,8)	-14,4(17,1)	-2,9(15,4)	-11,1(16,8)
60%	-4,3(16,8)	-11,1(16,4)	-7,3(18,1)	-3,2(13,1)	-6,5(16,8)
70%	-3,2(16,3)	-0,2(17,1)	-0,98(16,6)	-5,1(11,7)	-3,4(16,3)
80%	-5,1(18,8)	4,5(20,4)	-0,4(18,3)	-10,2(12,4)	-5,8(18,8)

mente no encontramos una relación entre el modelo que obtiene un mejor ajuste y la exactitud del MFC utilizando ese ajuste.

Por ello es necesario seguir investigando en esta línea para determinar qué mo-

delo es más apropiado a cada intensidad de esfuerzo pudiendo proponer así algún criterio para determinar qué modelo elegir en cada una.

Existen estudios que lo comparan con otros métodos considerados de referencia

como la calorimetría indirecta (Spurr et al., 1988) o el agua doblemente marcada (Livingstone et al., 1990) que indican que es un método de una exactitud aceptable pero que se debe seguir investigando para minimizar el error de este método.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Ainslie, P.N., Reilly, T., Westerterp, K.R. (2003). Estimating human energy expenditure - A review of techniques with particular reference to doubly labelled water. *Sports Medicine*, 33 (9), 683-698.
- (2) American College Sports Medicine. (2000). *Guidelines for exercise testing and Prescription*. Philadelphia: Lea and Febiger.
- (3) Benedict, F.G. (1907). The influence of inanition on metabolism (Publ. No.77). Washington, DC: Carnegie Institute.
- (4) Bernard, T., Gavarry, O., Bermon, S., Giacomoni, M., Marconnet, P. & Falgairette, G. (1997). Relationships between oxygen consumption and heart rate in transitory and steady states of exercise and during recovery: influence of type of exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 75(2), 170-6.
- (5) Bradfield, R.B. (1971). A technique for determination of usual energy expenditure in the field. *American Journal Clinical Nutrition*, 24, 1148-1154.
- (6) Ceesay, S.M., Prentice, A.M., Day, K.C., Murgatroyd, P.R., Goldberg, G.R., Scott, W. & Spurr, G.B. (1989). The use of heart rate monitoring in the estimation of energy expenditure: a validation study using indirect whole-body calorimetry. *British Journal Nutrition*, 61(2), 175-86.
- (7) Daucey, M.J. & James, W. (1979). Assessment of heart-rate method for determining energy expenditure in man, using whole-body calorimeter. *British Journal Nutrition*, 42,1-13.
- (8) Hiilloskorpi, H.K., Pasanen, M.E., Fogelholm, M.G., Laukkanen, R.M. & Manttari, A.T. (2003). Use of heart rate to predict energy expenditure from low to high activity levels. *International Journal Sports Medicine*, 24(5),332-336.
- (9) Kriemler, S., Hebestreit, H. & Bar-Or, O. (2002). Temperature-related overestimation of energy expenditure, based on heart-rate monitoring in obese boys. *European Journal Applied Physiology*, 87(3),245-50.
- (10) Léger, L. & Thivierge, M. (1988). Heart rate monitors: validity, stability and functionality. *Physician and Sports Medicine*, 16, 143-151.
- (11) Li, R., Deurenberg, P. & Hautvast, J. (1993). A critical evaluation of heart rate monitoring to assess energy expenditure in individuals. *American Journal Clinical Nutrition*, 58, 602-607.
- (12) Livingstone, M.B., Prentice, A.M., Coward, W.A., Ceesay, S.M., Strain, J.J. & Mckenna, P.G. (1990). Simultaneous measurement of free-living energy expenditure by the doubly labeled water method and heart-rate monitoring. *American Journal Clinical Nutrition*, 52, 59-65.
- (13) Livingstone, M.B., Robson, P. & Totton, M. (2000). Energy expenditure by heart rate in children: an evaluation of calibration techniques. *Medicine Science Sports Exercise*, 32(8), 1513-1519.
- (14) Lohman, T.J., Roche, A.J. & Martorell, R. (1988). *Anthropometric Standardization Reference Manual*. Champaign IL: Human Kinetics.
- (15) Londeree, B.R. & Ames, S.A. (1976). Trend analysis of the % $\dot{V}O_2$ max-HR regression. *Medicine Science Sports Exercise*,8(2),123-125.
- (16) Maas, S., Kok, M.L., Westra, H.G. & Kemper, H.C. (1989). The validity of the use of heart rate in estimating oxygen consumption in static and in combined static/dynamic exercise. *Ergonomics*,32(2),141-8.
- (17) Moon, J.K. & Butte, N. (1996). Combined heart rate and activity improve estimates of oxygen consumption and carbon dioxide production rates. *Journal Applied Physiology*, 81(4), 1754-1761.
- (18) Oja, P., Ilmarinen, J. & Louhevaara, V. (1982). Heart rate as an estimator of oxygen consumption during manual postal delivery. *Scandinavian Journal Work Environmental Health*, 8(1), 29-36.
- (19) Payne, P.R., Wheeler, E.F. & Salvosa, CB. (1971). Prediction of daily energy expenditure from average pulse rate. *American Journal Clinical Nutrition*, 24, 1164-70.
- (20) Pivarnik, J.M., Stein, A.D. & Rivera, J.M. (2002). Effect of pregnancy on heart rate/oxygen consumption calibration curves. *Medicine Science Sports Exercise*, 34(5), 750-755.
- (21) Rowlands, A., Eston, R. & Ingledew, D. (1997). Measurement of physical activity in children with particular reference to the use of heart rate and pedometry. *Sports Medicine*, 24(4), 258-257
- (22) Saris, W.H.M., Baecke, J., & Binkhorst, K. Validity of the assessment of energy expenditure from heart rate. In *Aerobic power and daily physical activity in children* (pp.100-107). Saris, WHM, PhD Tesis, University of Nymegen, Meppe, The Netherlands: Krips-Reprou.
- (23) Spurr, G.B., Prentice, A.M., Murgatroyd, P.R., Goldberg, G.R., Reina, J.C., & Christman, N.T. (1988). Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with indirect calorimetry. *American Journal Clinical Nutrition*, 48, 552-559.
- (24) Treuth, M.S., Adolph, A.L. & Butte, N.F. (1998). Energy expenditure in children predicted from heart rate and activity calibrated against respiration calorimetry. *American Journal Physiology*, 275(1 Pt 1), E12-18.