



## Validación de las ecuaciones predictivas del consumo de oxígeno y nuevas fórmulas para el entrenamiento interválico

Bruno Bazuelo-Ruiz<sup>1\*</sup> , Helios de Rosario<sup>2,3</sup>  y Juan V. Durá-Gil<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Departamento de Educación Física y Deportiva, Universidad de Valencia, Valencia (España)

<sup>2</sup>Instituto de Biomecánica de Valencia, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia (España)

<sup>3</sup>CIBER de Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN) (España)

### Citación

Bazuelo-Ruiz, B., De Rosario, H., & Durá-Gil, J.V., (2021). Validation of oxygen consumption prediction equations and new formulas for interval training. *Apunts. Educación Física y Deportes*, 143, 9-16. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2021/1\).143.02](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2021/1).143.02)

### Editado por:

© Generalitat de Catalunya  
Departament de la Presidència  
Institut Nacional d'Educació  
Física de Catalunya (INEFC)

ISSN: 2014-0983

### \*Correspondencia:

Bruno Bazuelo-Ruiz  
[bruno.bazuelo@uv.es](mailto:bruno.bazuelo@uv.es)

### Sección:

Actividad física y salud

### Idioma del original:

Inglés

### Recibido:

5 de febrero de 2020

### Aceptado:

8 de julio de 2020

### Publicado:

1 de enero de 2021

### Portada:

Balonmano España.  
Ademar León y Liberbank  
Sinfin disputan el primer  
partido con mascarillas  
durante un partido de la liga  
Sacyr Asobal en octubre  
de 2020, para cumplir la  
normativa regional de la  
COVID-19.  
J.Casares/(EPA) EFE/  
[lafototeca.com](http://lafototeca.com)

### Resumen

**Objetivos.** Nuestro objetivo era determinar si existe alguna diferencia significativa entre el gasto energético calculado y previsto en las ecuaciones predictivas de uso más frecuente en la literatura, así como desarrollar una nueva ecuación predictiva específica para el entrenamiento interválico aeróbico con una muestra más transversal de la población en términos de edad, forma física e índice de masa corporal (IMC). **Métodos.** Se reclutó a veinte participantes sanos para el estudio. Se establecieron dos grupos de personas, en función de su IMC. El grupo con un IMC bajo tenía un IMC de entre 19 y 22 y el grupo con un IMC alto, uno de entre 26 y 29. El protocolo de las pruebas consistía en realizar 12 rutinas de intensidades individualizadas, 6 velocidades andando y 6 corriendo en cinta, y medir tanto la frecuencia cardíaca como el gasto energético. El tiempo de reposo entre intervalos varió de 1 a 2 minutos. **Resultados principales.** Se detectó que el consumo de oxígeno medido era significativamente distinto del predicho por las ecuaciones relativas tanto al ejercicio de andar como de correr seleccionadas entre la literatura. De entre las comprobadas, la ecuación de Léger fue la que arrojó mejores resultados para calcular el consumo de oxígeno al andar y la fórmula ACSM demostró ser la mejor para correr. Sin embargo, se comprobó que ninguna de las dos ofrecía una alta precisión. **Conclusiones.** Las ecuaciones predictivas seleccionadas de la literatura para este estudio no demostraron ser lo bastante precisas para calcular el consumo de oxígeno durante el entrenamiento interválico aeróbico. En este trabajo se proponen cuatro fórmulas nuevas para mejorar el cálculo del gasto metabólico en actividades interválicas en una población con características más amplias que las encontradas en la literatura.

**Palabras clave:** metabolismo energético, actividad física, ejercicio aeróbico.

## Introducción

El estudio del cálculo del gasto metabólico durante el ejercicio físico se practica desde hace mucho tiempo debido a su relevancia para la prescripción de rutinas de ejercicio personalizadas. Contar con un conocimiento más preciso del gasto energético (GE) resulta útil tanto a la comunidad médica como a los entrenadores deportivos y a los pacientes. Caminar y correr son las dos actividades físicas más recomendadas en poblaciones que desean mejorar su calidad de vida. De hecho, la mayoría de ecuaciones de predicción del GE se centran en las modalidades de caminar y correr. Dentro de estas modalidades, sigue desconociéndose qué factores clave—como el volumen, la frecuencia, la intensidad y la densidad—son los más determinantes en cada caso. Por tradición, médicos y entrenadores deportivos recomiendan practicar ejercicio de intensidad moderada constante (EIMC). Sin embargo, nuevas modalidades de ejercicio, como el entrenamiento interválico aeróbico (EIA), han cobrado popularidad debido a que consiguen una mayor adherencia a la práctica y (Currie et al., 2013) mayores beneficios en comparación con el EIMC (Hwang et al., 2011; Warburton et al., 2005). Los ejercicios interválicos pueden definirse como breves fases de ejercicio intenso seguidas por breves pausas de recuperación. Los principales beneficios detallados en estudios previos incluyen mejoras en la función endotelial y mitocondrial (Wisløff et al., 2007), una mejora de la capacidad funcional (Daussin et al., 2007; Helgerud et al., 2007) y la prevención de enfermedades cardiovasculares (Kemi & Wisloff, 2010). Todas estas mejoras pueden comportar mejor calidad de vida (Nilsson et al., 2008). Además, muchas personas pueden beneficiarse de este tipo de ejercicio, tanto si están sanas (Tsukamoto et al., 2016) como si son pacientes con cardiopatías (Rognmo et al., 2004).

La determinación directa del GE es cara y lenta y está sujeta a las condiciones de los laboratorios. Por otro lado, una alternativa válida es el cálculo del consumo de oxígeno realizado con las ecuaciones predictivas presentes en la literatura. La mayoría de las variables medidas para este cálculo fueron parámetros de aceleración (Bouten et al., 1994; Staudenmayer et al., 2009), señales de frecuencia cardíaca (FC) (Keytel et al., 2005; Pettitt et al., 2007) o parámetros espaciotemporales (Glass et al., 2007; Hall et al., 2004; Loftin et al., 2010). Ahora bien, un punto débil de estas ecuaciones es que la población utilizada en la mayoría de las investigaciones era muy similar, por lo general, estaba integrada por participantes jóvenes y sanos. Además, todas las ecuaciones se diseñaron para la práctica de ejercicio submáximo ininterrumpido.

De ahí que los objetivos del trabajo fueran (i) determinar si existe alguna diferencia significativa entre el gasto energético (GE) calculado y previsto en las ecuaciones predictivas de uso más frecuente en la literatura, y (ii) desarrollar una nueva ecuación de predicción específica

para el entrenamiento a intervalos aeróbico con una muestra más transversal de la población en términos de edad, forma física e índice de masa corporal (IMC).

## Metodología

### Participantes

Se reclutó a veinte participantes sanos (10 hombres y 10 mujeres) para esta investigación. Se establecieron dos grupos de personas en función de su índice de masa corporal (IMC). Las características de los participantes en el estudio fueron las siguientes: *IMC bajo* (5 hombres y 5 mujeres): edad  $30 \pm 9.2$  años; masa corporal  $59.17 \pm 8.71$  kg; peso  $1.71 \pm .13$  m; *IMC 20.17*  $\pm .81$ ; *IMC alto* (5 hombres y 5 mujeres): edad  $40.2 \pm 9.3$  años; masa corporal  $78.86 \pm 13.63$  kg; altura  $1.67 \pm .14$  m; *IMC 28.17*  $\pm 1.17$ . El grupo con un IMC bajo se situaba entre un 19 y un 22 y el grupo con un IMC alto, entre 26 y 29. Todos los participantes declararon no sufrir cardiopatías ni lesiones que pudieran limitar su capacidad para someterse al ensayo. Los participantes se comprometieron a no practicar ejercicio extenuante durante las 24 horas previas y a no consumir caféina al menos durante las 6 horas previas a cada sesión de comprobación. El protocolo del estudio se adhería a los principios de la Declaración de Helsinki y recibió la aprobación del Comité Ético de la Universidad Politécnica de Valencia. Todos los participantes dieron su consentimiento informado por escrito.

### Procedimiento

El protocolo del ensayo consistía en practicar 12 intensidades personalizadas, 6 velocidades caminando y 6 corriendo. Dichas velocidades se establecieron a medida que los participantes calentaban, con acuerdo al nivel de forma física de cada uno de ellos. Tanto para las modalidades de caminar como de correr los participantes debían informar de tres velocidades. Para la modalidad de caminar, la primera era una velocidad cómoda a la que los participantes estaban acostumbrados a caminar normalmente; la segunda era una velocidad a la que podían caminar y correr despacio. Este espectro se subdividió en 6 partes para obtener las 6 velocidades de marcha. La velocidad de marcha máxima sirvió como velocidad de correr mínima (*jogging* ligero). La velocidad de correr máxima se estableció con acuerdo a la velocidad que los participantes fueron capaces de mantener durante al menos 4 minutos sin mostrar signos visibles de un elevado nivel de fatiga. Asimismo, el espectro entre las velocidades de correr mínima y máxima se subdividió para obtener las 6 velocidades de correr. Una vez establecidas sus velocidades individuales, todos los participantes practicaron las 12 velocidades distintas en un orden aleatorio. El motivo

para establecer este número de repeticiones o velocidades era analizar si las ecuaciones predictivas funcionaban correctamente en las distintas intensidades de caminar y correr o solo en una. Los ejercicios a cada velocidad tuvieron una duración de 3 minutos con una pausa de descanso de 1 minuto entre ejercicios de caminar y 2 minutos entre ejercicios de correr. Tres minutos ofrecían un tiempo suficiente para medir un consumo de oxígeno estable (Nieman, 2010). A partir de este tiempo, los últimos dos minutos de cada velocidad se utilizaron para analizar el gasto energético (Nieman, 2010). Antes del calentamiento, la frecuencia cardíaca en reposo ( $FC_{\text{reposo}}$ ) y el gasto energético se calcularon durante un lapso de 5 minutos en posición sentada.

## Material e instrumentos

Las pruebas se realizaron en una cinta de caminar calibrada (HP Cosmos, Mercury, Alemania) con un grado del 1% (Jones y Doust, 1996). Las señales de la FC se midieron con un aparato nECG MINDER (Nuubo, España) colocado en el pecho de los participantes. El gasto energético se calculó mediante calorimetría indirecta, usando la espirometría de circuito abierto del analizador metabólico Cosmed K4b2 (Roma, Italia). El analizador de gas se calibró cada mañana antes del inicio de las pruebas.

## Análisis de datos

La literatura recoge el uso de múltiples fórmulas para calcular el consumo de oxígeno. Seleccionamos las siguientes ecuaciones predictivas porque son las que tanto los fisiólogos como los investigadores utilizan más frecuentemente en sus estudios.

### Caminar:

EQ1 (Glass et al., 2007):  $VO_2$  (ml/kg/min) =  $.1 * S + 1.8 * S * \text{grado fraccionario} + 3.5$ ; donde S es la velocidad en m/min y el grado fraccionario se presenta en forma decimal, el grado de 5% es .05.

EQ2 (van der Walt & Wyndham, 1973):  $VO_2$  (L/min):  $.00599 * M + .000366 * M * V^2$ ; donde M es masa corporal (kg) y V: velocidad (m/s).

EQ3 (Léger & Mercier, 1984):  $VO_2$  (ml/kg/min) =  $2.209 + 3.1633 * V$ ; donde V es la velocidad caminando en km/h.

EQ4 (Pettitt et al., 2007):  $METS = 6 * FC_{\text{índice}} - 5$ ;  $FC_{\text{índice}} = FC_{\text{absoluta}} / FC_{\text{reposo}}$

EQ5 (Keytel et al., 2005):  $EE$  (kJ/min) =  $\text{sexo} * (-55.0969 + .6309 * \text{frecuencia cardíaca} + .1988 * \text{peso} + .2017 * \text{edad}) + (1 - \text{sexo}) * (-20.4022 + .4472 * \text{frecuencia cardíaca} - .1263 * \text{peso} + .074 * \text{edad})$ ; donde Hombre = 1, Mujer = 0;  $1 l O_2/\text{min} = 20 \text{ kJ}/\text{min}$ .

### Correr:

EQ6 (Glass et al., 2007):  $VO_2$  (ml/kg/min) =  $.2 * S + .9 * S * \text{grado fraccionario} + 3.5$ ; donde S es la velocidad en m/min y el grado fraccionario se presenta en forma decimal, el grado de 5% es .05.

EQ7 (van der Walt & Wyndham, 1973):  $VO_2$  (L/min):  $-.419 + .03257 * M + .000117 * M * V^2$ ; donde M es masa corporal (kg) y V: velocidad (m/s).

EQ8 (Léger & Mercier, 1984):  $VO_2$  (ml/kg/min) =  $2.209 + 3.1633 * V$ ; donde V es la velocidad corriendo en km/h.

EQ9 (Pettitt et al., 2007):  $METS = 6 * FC_{\text{índice}} - 5$ ;  $FC_{\text{índice}} = FC_{\text{absoluta}} / FC_{\text{reposo}}$ ;  $1 MET = 3.5 \text{ ml}/\text{kg}/\text{min}$ .

EQ10 (Keytel et al., 2005):  $EE$  (kJ/min) =  $\text{sexo} * (-55.0969 + .6309 * \text{frecuencia cardíaca} + .1988 * \text{peso} + .2017 * \text{edad}) + (1 - \text{sexo}) * (-20.4022 + .4472 * \text{frecuencia cardíaca} - .1263 * \text{peso} + .074 * \text{edad})$ ; donde Hombre = 1, Mujer = 0;  $1 l O_2/\text{min} = 20 \text{ kJ}/\text{min}$ .

Antes de acometer el análisis estadístico, los resultados obtenidos con cada ecuación se convirtieron a ml/kg/min con el fin de unificarlos y poder compararlos. Se realizó una prueba T de comparación para calcular la diferencia y la significancia de los valores  $VO_2$  calculados y estimados de cada ecuación utilizada. Para calcular la magnitud del error también se tuvieron en cuenta los valores absolutos de las diferencias entre los valores calculados y los medidos. La significancia estadística se fijó en un nivel del .05. A partir de ahí se generaron distintos niveles de correr y caminar mediante un análisis de regresión lineal múltiple con vistas a mejorar la precisión en esta población y este tipo de actividad física (entrenamiento interválico). Los modelos se ajustaron en función de la  $FC_{\text{índice}}$ , el IMC, el sexo, la velocidad y la edad. La  $FC_{\text{índice}}$  es la media absoluta de la FC dividida por la  $FC_{\text{reposo}}$ .

## Resultados

El intervalo de velocidades (media  $\pm$  DT) para la modalidad de caminar fue de entre  $.71 \pm .12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  y  $1.74 \pm .31 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  y de  $1.74 \pm .31 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a  $2.55 \pm .67 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en la modalidad de correr.

Se detectó que el  $VO_2$  calculado difería significativamente ( $p < .05$ ) de todas las fórmulas predictivas para caminar y correr utilizadas en este análisis. En el caso de la actividad de caminar, la Tabla 1 mostró que EQ1, EQ2 y EQ4 subestiman el  $VO_2$  medido y EQ3 y EQ5 lo sobreestiman. En el caso de la actividad de correr, EQ6, EQ7, EQ8 y EQ9 subestiman el  $VO_2$  medido y EQ10 lo sobreestima.

Se analizan las variables independientes que afectan a los modelos de caminar y correr y proponemos dos modelos para cada caso, en función de si se utiliza o no la señal de la FC como variable independiente. El primer modelo obtenido se utilizó con todas las variables ( $FC_{\text{índice}}$ .

IMC, sexo, velocidad y edad), pero el IMC (alto y bajo) y el sexo (hombre o mujer) no demostraron ser significativos ( $p > .05$ ), motivo por el cual dichas variables se excluyeron de los modelos finales. La Tabla 2 muestra los coeficientes de los modelos para la modalidad de caminar utilizando la  $FC_{\text{índice}}$  como variable independiente, mientras que la Tabla 3 muestra el modelo para la modalidad de caminar sin la  $FC_{\text{índice}}$ . Las tablas 4 y 5 muestran los coeficientes de los modelos para la modalidad de correr con y sin la  $FC_{\text{índice}}$ , respectivamente.

Los modelos de regresión generados ofrecen una ecuación predictiva más precisa tanto para la actividad

física de caminar como de correr en esta población. La Figura I muestra que nuestras ecuaciones predictivas presentan un error absoluto inferior (media  $\pm$  DT) con respecto al  $VO_2$  calculado. Las diferencias absolutas de nuestras ecuaciones predictivas para la actividad física de correr fueron de  $2.60 \pm 2.47$   $\text{ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$  y  $2.79 \pm 2.40$   $\text{ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$ , cuando se incluyeron y excluyeron las señales de FC, respectivamente. En el caso de la actividad física de caminar, mejoramos en mayor grado aún la estimación de  $VO_2$  con las diferencias absolutas de  $1.44 \pm 1.17$   $\text{l} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$  y  $1.79 \pm 1.52$   $\text{ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$  cuando las señales de FC se incluyen y excluyen, respectivamente.

**Tabla 1**

Valores  $VO_2$  calculados y estimados y diferencia entre el cálculo y la estimación andando (EQ1-EQ5) y corriendo (EQ6-EQ10). Valores expresados en  $\text{ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$  (media  $\pm$  DT).

	$VO_2$	Diferencia entre cálculo y estimación	Diferencia absoluta	SEE	SEE	95 % CI		$r$	$r^2$
						Límite inferior	Límite superior		
Valor medido caminando	15.68 $\pm$ 5.46	-	-						
EQ1	12.18 $\pm$ 2.93	3.49 $\pm$ 3.12	3.54 $\pm$ 3.07	.28	8.16	2.92	4.05	.894	.800
EQ2	6.60 $\pm$ 0.40	9.07 $\pm$ 5.09	9.07 $\pm$ 5.09	.46	5.12	8.15	9.99	.925	.856
EQ3	16.17 $\pm$ 4.72	-0.49 $\pm$ 2.44	1.95 $\pm$ 1.54	.22	44.80	-0.94	-0.05	.894	.800
EQ4	14.10 $\pm$ 4.84	1.57 $\pm$ 5.05	4.18 $\pm$ 3.21	.46	29.30	0.65	2.48	.526	.277
EQ5	23.04 $\pm$ 6.46	-7.36 $\pm$ 5.25	7.64 $\pm$ 4.82	.47	6.51	-8.31	-6.41	.623	.389
Valor medido corriendo	31.68 $\pm$ 7.53	-	-						
EQ6	30.44 $\pm$ 7.12	1.24 $\pm$ 3.77	3.13 $\pm$ 2.41	.34	27.84	0.55	1.93	.869	.755
EQ7	26.80 $\pm$ 1.37	4.88 $\pm$ 7.16	7.07 $\pm$ 4.97	.65	13.50	3.57	6.18	.351	.123
EQ8	26.67 $\pm$ 6.46	5.01 $\pm$ 3.72	5.50 $\pm$ 2.95	.34	6.84	4.33	5.69	.869	.755
EQ9	24.15 $\pm$ 6.72	7.53 $\pm$ 8.16	9.44 $\pm$ 5.82	.75	9.97	6.04	9.02	.348	.121
EQ10	37.29 $\pm$ 9.08	-5.61 $\pm$ 7.79	7.32 $\pm$ 6.19	.71	12.79	-7.03	-4.18	.574	.329

**Tabla 2**

Coefficientes y significancia para el modelo de regresión lineal múltiple ajustado por edad,  $FC_{\text{índice}}$  y velocidad al caminar.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		$t$	$p$
	B	Error tipo	Beta			
Constante	13.031	1.942			6.709	<.001
Edad (años)	-.068	.018	-.127		-3.750	<.001
Velocidad <sup>2</sup> ( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	.586	.075	1.521		7.843	<.001
$FC_{\text{índice}}$	2.088	.945	.088		2.210	.029
Velocidad ( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	-2.454	.705	-.671		-3.480	.001

**Tabla 3**

Coeficientes y significancia para el modelo de regresión lineal múltiple ajustado por edad y velocidad al caminar.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	p
	B	Error tipo	Beta		
Constante	15.227	1.696		8.977	<0001
Edad (años)	-.055	.017	-.103	-3.154	.002
Velocidad <sup>2</sup> (km·h <sup>-1</sup> )	.603	.076	1.565	7.976	.001
Velocidad (km·h <sup>-1</sup> )	-2.454	.717	-.663	-3.480	<.001

**Tabla 4**Coeficientes y significancia para el modelo de regresión lineal múltiple ajustado por edad, FC<sub>índice</sub> y velocidad al correr.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	p
	B	Error tipo	Beta		
Constante	6.415	2.524		2.542	.012
Edad (años)	-.087	.039	-.118	-2.202	.030
FC <sub>índice</sub>	3.051	1.211	.130	2.520	.013
Velocidad (km·h <sup>-1</sup> )	2.877	.202	.781	14.252	<.001

**Tabla 5**

Coeficientes y significancia para el modelo de regresión lineal múltiple ajustado por edad y velocidad al correr.

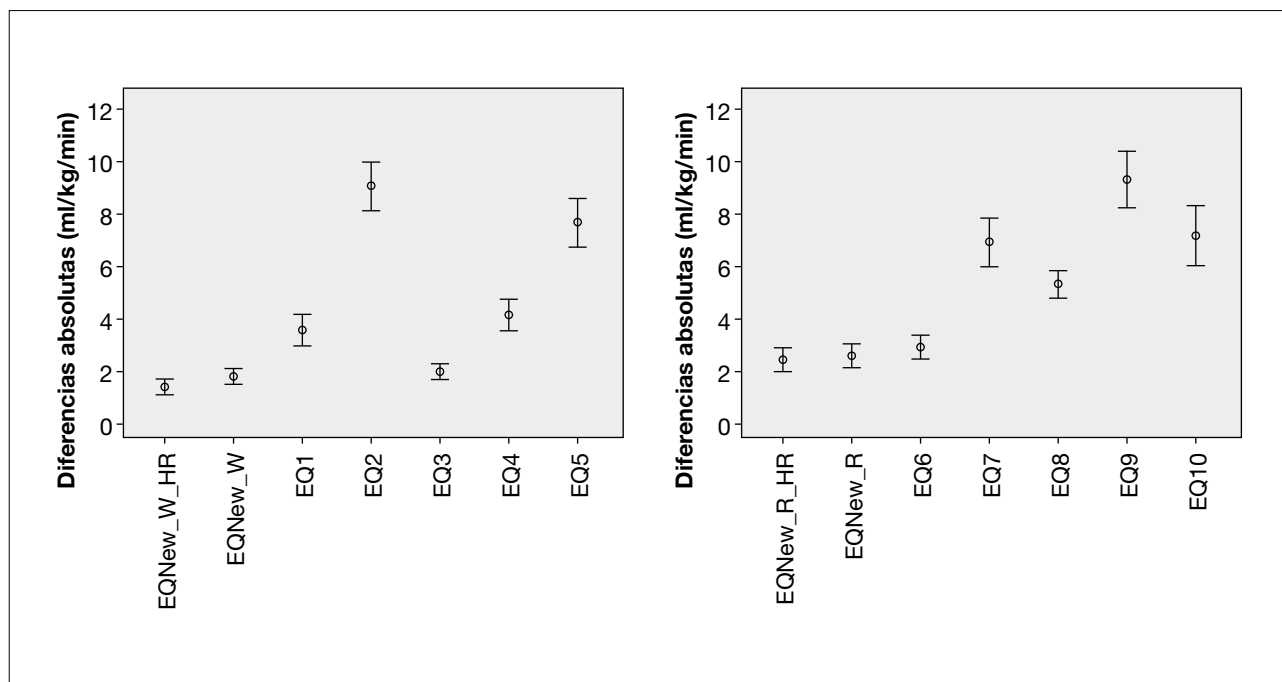
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	p
	B	Error tipo	Beta		
Constante	9.302	2.300		4.044	<.001
Edad (años)	-.047	.037	-.064	-1.272	.206
Velocidad (km·h <sup>-1</sup> )	3.107	.184	.843	16.855	<.001

## Discusión

Este estudio se concentraba en medir el consumo de oxígeno durante el entrenamiento interválico aeróbico en una población con demandas energéticas y valores de IMC distintos. En primer lugar, se comparó la precisión del consumo de O<sub>2</sub> medido y estimado para el EIA. A continuación, al detectar que no era lo bastante precisa, se propusieron cuatro fórmulas nuevas para mejorar el cálculo del gasto metabólico en actividades interválicas en una población con características más variadas que las encontradas en la literatura previa.

La muestra utilizada en la mayoría de los estudios son personas jóvenes, sanas y con un peso normal, con un IMC inferior a 25 (Glass et al., 2007). La muestra consistió en participantes con distintas características no comprobadas previamente. La muestra de Hall et al. (2004) era diferente. En este caso se reclutó a un total de 24 participantes con un IMC que iba de 20 a 27.4; sin embargo, la media del IMC de las mujeres y los hombres era de 22.37 y 23.64, respectivamente. Otra diferencia entre ambos estudios es la media de edad, que en el suyo se sitúa en 21.4 años en el





**Figura 1**

Comparación de las diferencias absolutas para la actividad física de caminar (izquierda) y la de correr (derecha). Valores expresados en media  $\pm$  DT.

caso de las mujeres y 23.2 en el caso de los hombres. Por su parte, Loftin et al. (2010) desarrollaron una ecuación predictiva para una población similar a la de nuestro estudio, pero el cálculo de GE era para una distancia determinada (1.6 km) en lugar de durante un tiempo o a una velocidad concretos, que son las variables que suelen utilizarse en el entrenamiento interválico.

La especificidad de la actividad empleada para medir el consumo de oxígeno en la actividad de entrenamiento es relevante si se busca precisión. Fisiólogos y entrenadores suelen utilizar las ecuaciones de ACSM (Glass et al., 2007) con frecuencia en la literatura, pese a que presentan ciertas limitaciones. Se diseñaron para rutinas de ejercicio constantes y dependen de un intervalo de velocidad concreto (de .83 a 1.66  $m \cdot s^{-1}$  en la ecuación para la actividad física de caminar y superior a 2.22  $m \cdot s^{-1}$  en la ecuación correspondiente a la actividad física de correr). Por consiguiente, queda por cubrir un hueco en el intervalo de velocidades que va de 1.66 a 2.22  $m \cdot s^{-1}$ . Además, en algunos estudios, como (Hall et al., 2004; Koutlianos et al., 2013; Loftin et al., 2010; Peterson et al., 2003), se usaron ecuaciones predictivas de ACSM con validación cruzada y se concluyó que no sirven para predecir con precisión el consumo de  $O_2$ . Ello se debe a la aplicación de estas fórmulas a distintos protocolos o modalidades de ejercicio.

Weyand et al. (2013) averiguaron que la ecuación predictiva de ACSM para la actividad física de caminar subestimaba de forma significativa la tasa metabólica. Nuestros resultados coincidían con este estudio, pero indicaban que la EQ3 era

la mejor de las ecuaciones comprobadas para calcular el consumo de  $O_2$  en la modalidad de caminar y que EQ6 era la que ofrecía mejores resultados para la modalidad de correr. Sin embargo, ninguna de ellas es lo bastante precisa ( $p < .05$ ) cuando se compara con los valores medidos. En el caso de la actividad física de correr, las peores ecuaciones predictivas demostraron ser las que utilizan señales de FC como entrada para calcular el gasto metabólico.

El GE al caminar y correr es distinto, más elevado en la segunda actividad. Nuestra investigación también determinó que el GE en la modalidad de correr era más elevado que en la de caminar para la misma velocidad absoluta. Por consiguiente, tal como se indica en otras investigaciones (Glass et al., 2007; van der Walt y Wyndham, 1973), era preciso diseñar ecuaciones distintas para las actividades de caminar y correr.

Hasta lo que se ha estudiado, no existen ecuaciones capaces de predecir con precisión el consumo de  $O_2$  en el EIA en una población con distintos valores de IMC. De ahí que se hayan desarrollado dos ecuaciones predictivas, una para caminar y otra para correr, que incluyen las variables de la edad (años), la velocidad (en km/h) y la  $FC_{\text{índice}}$  ( $FC_{\text{absoluta}} / FC_{\text{reposo}}$ ):

#### **Caminar:**

$$EQNew\_W\_HR \text{ (ml/kg/min)} = 13.031 - .068 * \text{Edad} + .586 * \text{Velocidad}^2 + 2.088 * FC_{\text{índice}} - 2.454 * \text{Velocidad}$$

$$EQNew\_W \text{ (ml/kg/min)} = 15.227 - .055 * \text{Edad} + .603 * \text{Velocidad}^2 - 2.425 * \text{Velocidad}$$

**Correr:**

$$\text{EQNew\_R\_HR (ml/kg/min)} = 6.415 - .087 * \text{Edad} + 3.051 * \text{FC}_{\text{índice}} + 2.877 * \text{Velocidad}$$

$$\text{EQNew\_R (ml/kg/min)} = 9.302 - .047 * \text{Edad} + 3.107 * \text{Velocidad}$$

Se descubrió que incluir la  $\text{FC}_{\text{índice}}$  para calcular el consumo de  $\text{VO}_2$  posibilitaba una mayor precisión. No obstante, en el caso de una intensidad de ejercicio dada, a medida que la temperatura ambiente aumenta, la FC también aumenta sin que se produzca por ello un incremento correspondiente en el GE (Hebestreit y Bar-Or, 1998).

**Conclusión**

Las ecuaciones predictivas seleccionadas de la literatura para este estudio no demostraron ser lo bastante precisas para calcular el consumo de oxígeno durante el entrenamiento interválico aeróbico. Proponemos cuatro fórmulas nuevas para mejorar el cálculo del gasto metabólico en actividades interválicas en una población con características más amplias que las encontradas en la literatura. Desde una perspectiva práctica, en condiciones reales las ecuaciones deben emplearse con precaución. Además, las ecuaciones propuestas pueden utilizarse para calcular el consumo de oxígeno en actividades interválicas aeróbicas, como caminar o correr, si bien advertimos que dichas fórmulas no se han sometido a validación cruzada. Convendría que las validaran nuevos estudios.

**Referencias**

- Bouten, C. V., Westerterp, K. R., Verduin, M., & Janssen, J. D. (1994). Assessment of energy expenditure for physical activity using a triaxial accelerometer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(12), 1516–1523. <https://doi.org/10.1249/00005768-199412000-00016>
- Currie, K. D., Dubberley, J. B., McKelvie, R. S., & MacDonald, M. J. (2013). Low-volume, high-intensity interval training in patients with CAD. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(8), 1436–1442. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31828bbbd4>
- Daussin, F. N., Ponsot, E., Dufour, S. P., Lonsdorfer-Wolf, E., Doutreleau, S., Geny, B., Piquard, F., & Richard, R. (2007). Improvement of  $\text{VO}_2\text{max}$  by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. *European Journal of Applied Physiology*, 101(3), 377–383. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0499-3>
- Glass, S., Dwyer, G. B., & Medicine, A. C. of S. (2007). *ACSM's Metabolic Calculations Handbook*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Hall, C., Figueroa, A., Fernhall, B., & Kanaley, J. A. (2004). Energy expenditure of walking and running: comparison with prediction equations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(12), 2128–2134. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000147584.87788.0e>
- Hebestreit, H., & Bar-Or, O. (1998). Influence of climate on heart rate in children: comparison between intermittent and continuous exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 78(1), 7–12.
- Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjørth, N., Bach, R., & Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve  $\text{VO}_2\text{max}$  more than moderate training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(4), 665–671. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180304570>
- Hwang, C.-L., Wu, Y.-T., & Chou, C.-H. (2011). Effect of aerobic interval training on exercise capacity and metabolic risk factors in people with cardiometabolic disorders: a meta-analysis. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 31(6), 378–385. <https://doi.org/10.1097/HCR.0b013e31822f16cb>
- Jones, A. M., & Doust, J. H. (1996). A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *Journal of Sports Sciences*, 14(4), 321–327. <https://doi.org/10.1080/02640419608727717>
- Kemi, O. J., & Wisloff, U. (2010). High-intensity aerobic exercise training improves the heart in health and disease. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 30(1), 2–11. <https://doi.org/10.1097/HCR.0b013e3181c56b89>
- Keytel, L. R., Goedecke, J. H., Noakes, T. D., Hiiloskorpi, H., Laukkanen, R., van der Merwe, L., & Lambert, E. V. (2005). Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercise. *Journal of Sports Sciences*, 23(3), 289–297. <https://doi.org/10.1080/02640410470001730089>
- Koutlianos, N., Dimitros, E., Metaxas, T., Cansiz, M., Deligiannis, A., & Kouidi, E. (2013). Indirect estimation of  $\text{VO}_2\text{max}$  in athletes by ACSM's equation: valid or not? *Hippokratia*, 17(2), 136–140.
- Léger, L., & Mercier, D. (1984). Gross energy cost of horizontal treadmill and track running. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 1(4), 270–277.
- Loftin, M., Waddell, D. E., Robinson, J. H., & Owens, S. G. (2010). Comparison of energy expenditure to walk or run a mile in adult normal weight and overweight men and women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2794–2798. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cc26cd>
- Nieman, D. (2010). *Exercise Testing and Prescription: A Health-Related Approach* (7.ª edición). McGraw-Hill Education.
- Nilsson, B. B., Westheim, A., & Risberg, M. A. (2008). Effects of group-based high-intensity aerobic interval training in patients with chronic heart failure. *The American Journal of Cardiology*, 102(10), 1361–1365. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2008.07.016>
- Peterson, M. J., Pieper, C. F., & Morey, M. C. (2003). Accuracy of  $\text{VO}_2(\text{max})$  prediction equations in older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(1), 145–149. <https://doi.org/10.1097/00005768-200301000-00022>
- Pettitt, R. W., Pettitt, C. D., Cabrera, C. A., & Murray, S. R. (2007). A theoretical method of using heart rate to estimate energy expenditure during exercise. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 2(3), 319–327. <https://doi.org/https://doi.org/10.1260/174795407782233146>
- Rognmo, Ø., Hetland, E., Helgerud, J., Hoff, J., & Slørdahl, S. A. (2004). High intensity aerobic interval exercise is superior to moderate intensity exercise for increasing aerobic capacity in patients with coronary artery disease. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation: Official Journal of the European Society of Cardiology, Working Groups on Epidemiology & Prevention and Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology*, 11(3), 216–222. <https://doi.org/10.1097/01.hjr.0000131677.96762.0c>
- Staudenmayer, J., Pober, D., Crouter, S., Bassett, D., & Freedson, P. (2009). An artificial neural network to estimate physical activity energy expenditure and identify physical activity type from an accelerometer. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 107(4), 1300–1307. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00465.2009>

- Tsukamoto, H., Suga, T., Takenaka, S., Tanaka, D., Takeuchi, T., Hamaoka, T., Isaka, T., Ogoh, S., & Hashimoto, T. (2016). Repeated high-intensity interval exercise shortens the positive effect on executive function during post-exercise recovery in healthy young males. *Physiology & Behavior*, *160*, 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.03.029>
- Van der Walt, W. H., & Wyndham, C. H. (1973). An equation for prediction of energy expenditure of walking and running. *Journal of Applied Physiology*, *34*(5), 559–563. <https://doi.org/10.1152/jappl.1973.34.5.559>
- Warburton, D. E. R., McKenzie, D. C., Haykowsky, M. J., Taylor, A., Shoemaker, P., Ignaszewski, A. P., & Chan, S. Y. (2005). Effectiveness of high-intensity interval training for the rehabilitation of patients with coronary artery disease. *The American Journal of Cardiology*, *95*(9), 1080–1084. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2004.12.063>
- Weyand, P. G., Smith, B. R., Schultz, N. S., Ludlow, L. W., Puyau, M. R., & Butte, N. F. (2013). Predicting metabolic rate across walking speed: one fit for all body sizes? *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, *115*(9), 1332–1342. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01333.2012>
- Wisløff, U., Støylen, A., Loennechen, J. P., Bruvold, M., Rognum, Ø., Haram, P. M., Tjønnå, A. E., Helgerud, J., Slørdahl, S. A., Lee, S. J., Videm, V., Bye, A., Smith, G. L., Najjar, S. M., Ellingsen, Ø., & Skjaerpe, T. (2007). Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation*, *115*(24), 3086–3094. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.675041>

**Conflicto de intereses:** las autorías no han declarado ningún conflicto de intereses.



© Copyright Generalitat de Catalunya (INEFC). Este artículo está disponible en la url <https://www.revista-apunts.com/es/>. Este trabajo está bajo la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. Las imágenes u otro material de terceros en este artículo se incluyen en la licencia Creative Commons del artículo, a menos que se indique lo contrario en la línea de crédito. Si el material no está incluido en la licencia Creative Commons, los usuarios deberán obtener el permiso del titular de la licencia para reproducir el material. Para ver una copia de esta licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>