



# Análisis de Gases Espirados durante la Prueba de Esfuerzo: Caracterización de Resultados en Sujetos sin Patología Cardiovascular

## *Analysis of Expired Gases during Exercise Stress Test: Characterization of results in subjects without cardiovascular pathology*

Norka Gómez López<sup>1</sup>, Eduardo Rivas Estany<sup>2</sup>, Fausto F. Crespo Fernández<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Central de Investigación Digital, Sociedad Cubana de Bioingeniería, La Habana, Cuba

<sup>2</sup>Instituto de Cardiología y Cirugía Cardiovascular, Sociedad Cubana de Cardiología, La Habana, Cuba

<sup>3</sup>Instituto de Cardiología y Cirugía Cardiovascular, Sociedad Cubana de Matemática y Computación, La Habana, Cuba

### RESUMEN

Con el objetivo de caracterizar los valores medios de los parámetros funcionales obtenidos mediante el análisis de los gases espirados durante una prueba de esfuerzo, fueron estudiados 38 sujetos sin enfermedad cardiovascular, de ambos sexos y con una edad media de  $41,97 \pm 14,3$  años; el 68,4% fueron hombres. Se realizaron pruebas de esfuerzo máximas o limitadas por síntomas y se empleó un equipo Ergocid-AT Plus (ICID, Cuba) con una estera rodante y para el esfuerzo un protocolo en rampa. Los casos fueron distribuidos según grupo etáreo y sexo sin encontrarse diferencias significativas de interés en sus características antropométricas. El consumo de oxígeno máximo fue superior en hombres que en mujeres ( $31,1 \pm 9,0$  ml/min/Kg vs  $22,9 \pm 4,1$  ml/min/Kg), también en grupos etáreos menores y a mayor grado de actividad física; además el umbral anaerobio estuvo condicionado fundamentalmente por el grado de entrenamiento de los sujetos. El gasto cardíaco máximo fue de  $14,3 \pm 3,8$  L/min en los hombres y  $8,6 \pm 1,9$  L/min en las mujeres; otras variables ergoespirométricas como la ventilación minuto, equivalente ventilatorio para el oxígeno y dióxido de carbono así como el volumen sistólico también se comportaron fisiológicamente. Se comprobó que la metodología empleada puede ser valedera para evaluar sujetos sin patologías cardiovasculares y que las cifras obtenidas de las variables estudiadas pueden ser de referencia para futuros estudios cubanos. Se recomienda realizar un estudio prospectivo con una cantidad mayor de sujetos aparentemente sanos seleccionados de población general debidamente estratificado por edad y sexo.

**Palabras clave:** Ergoespirometría; Pruebas de esfuerzo; Consumo de oxígeno; Evaluación funcional; Gasto cardíaco.

### ABSTRACT

With the aim of characterizing the mean values of the functional parameters obtained through the analysis of expired gases during an exercise stress testing, there were studied 38 subjects of both sexes (31.6 % females) and with an average age of  $41.97 \pm 14.3$  years, without cardiovascular disease. Maximal or symptom-limited exercise stress testing were performed and using the Ergocid-AT Plus™ equipment (ICID, Cuba) with a treadmill and a "ramp protocol" for the stress. The participants were grouped according age and sex, without significant differences of interest in their anthropometric characteristics. Maximum oxygen consumption was higher in men than in women ( $31.1 \pm 9.0$  ml/min/Kg vs.  $22.9 \pm 4.1$  ml/min/Kg), and also in younger age groups and at higher level of physical activity. In addition the anaerobic threshold was fundamentally conditioned by the degree of previous physical training of the subjects. Maximum cardiac output was  $8.6 \pm 1.9$  L/min in women and  $14.3 \pm 3.8$  L/min in men; other ergospirometry variables as minute-ventilation, oxygen and carbon dioxide ventilation equivalent as well as systolic volume also fall within physiological ranges. It was found that the methodology used may be valid to evaluate persons without cardiovascular pathologies and also that the values of the variables obtained from the study can serve as reference values for future Cuban studies. A prospective study with a larger amount of apparently healthy subjects selected from a properly age and sex stratified broad population is recommended.

**Key words:** Ergospirometry; Exercise stress test; Oxygen consumption; Functional evaluation; Cardiac workload.

**Correspondencia:** Dr. Eduardo Rivas Estany, Apartado postal # 4109, Vedado, La Habana 10400, Cuba. Teléfono: (537) 838-6140, Fax: (537) 834-4435, email: [erivas@infomed.sld.cu](mailto:erivas@infomed.sld.cu)

## INTRODUCCIÓN

**E**l análisis de gases espirados durante el esfuerzo, obtenido mediante la prueba de esfuerzo cardio-respiratoria (PECR), es un procedimiento que se ha desarrollado en los Servicios de Cardiología y Neumología, así como en Centros de Rehabilitación en algunos países desarrollados en la última década. De esta forma se hace posible determinar la capacidad funcional del paciente objetivamente, sobre todo en aquellos con disfunción ventricular o insuficiencia cardíaca<sup>1,2</sup>. La PECR ha sido un procedimiento esencial en la selección de casos para trasplante cardíaco u otros procedimientos quirúrgicos. No obstante, su verdadero alcance e incluso sus limitaciones están aun en vías de determinación, así como la definición de algunas de las diversas variables obtenidas mediante esta prueba<sup>3</sup>.

La PECR es una tecnología aun en fase de evaluación y es poco explotada en los países en vías de desarrollo y aun en muchos desarrollados<sup>4</sup>.

Para la interpretación de la PECR deben analizarse gráfica y numéricamente un conjunto de variables. Los valores de referencia constituyen la base de comparación para determinar la normalidad de la respuesta al ejercicio, lo que tiene una gran importancia en el proceso de toma de decisiones. La selección adecuada de los valores de referencia a utilizar en la interpretación de los resultados de una PECR es crítica<sup>5</sup>.

Actualmente existen varios estudios que proporcionan valores de referencia para las diferentes

variables<sup>6-11</sup>. Entre ellos existen diferencias debido al tipo de equipos y a la metodología empleados y al tamaño de la muestra analizada. También influyen las características de la población estudiada, ya que muchas de las variables ergoespirométricas se encuentran influenciadas por factores genéticos, además de la edad, el sexo, el peso corporal, la talla y el nivel de entrenamiento físico<sup>3,5</sup>. Se reportan diferencias en la respuesta al ejercicio entre poblaciones de diferentes razas y nacionalidades por lo que se deben obtener valores de referencia específicos para cada población<sup>12,13</sup>.

## OBJETIVO

El objetivo del presente estudio fue caracterizar los valores medios de los parámetros que se obtienen mediante el análisis de los gases espirados durante el esfuerzo físico, determinados mediante PECR en individuos sin enfermedad cardiovascular evidente, elemento con el cual no contamos en Cuba, empleándose generalmente valores extraídos de la literatura sajona.

## MATERIAL Y MÉTODO

Se incluyeron en el estudio 38 sujetos de ambos sexos, entre 18 y 65 años de edad que fueron estudiados en el Centro de Rehabilitación del Instituto de Cardiología y Cirugía Cardiovascular de La Habana con el objetivo de evaluar su capacidad funcional. A todos se les realizó previamente interrogatorio y examen clínico por un cardiólogo y se les efectuó electrocardiograma (ECG) en reposo, telecardiograma y ecocardiograma con el fin de descartar presencia de patología cardiovascular; también análisis séricos

de laboratorio que incluyeron glucemia en ayunas y lipidograma, entre otros. El criterio de inclusión fue sujetos sin enfermedad cardiovascular evidente y sin factores de riesgo coronarios como hipertensión arterial moderada o severa, dislipoproteinemia y obesidad (índice de masa corporal >30). La edad media de los sujetos fue de  $41,97 \pm 14,3$  años. De ellos, 26 (68,4%) fueron hombres (edad  $43,5 \pm 13,9$  años) y 12 (31,6%) mujeres, edad  $38,7 \pm 15,1$  años. De acuerdo a la codificación del tiempo de actividad física propuesto por Saltin y Grimby<sup>14</sup>, uno tenía grado I (< 1 h a la semana), 21 con grado II (entre 1 y 3 h por semana), 11 grado III (entre 3 y 6 h por semana) y 5 grado IV (más de 6 h a la semana). Se excluyeron atletas. No se presentó ninguna complicación durante la realización de las pruebas.

#### *Procedimiento*

A todos los sujetos se les realizó una PEER máxima o limitada por síntomas, utilizando el sistema para pruebas de esfuerzo ERGOCID-AT PLUS<sup>15</sup>. El protocolo de prueba comenzó con 10 min de reposo, en posición sentado, para que el paciente alcanzara el estado estable. El ejercicio se realizó en estera rodante (Trackmaster, USA) empleando un protocolo en rampa. Los primeros 3 minutos de ejercicio sirvieron como "calentamiento" comenzando a una velocidad de 0,8 km/h y 0% de pendiente con incremento de la velocidad de 0,1 km/h cada 7 s y de 0,5 % de pendiente cada 90 s hasta que ocurriera el agotamiento del paciente, se alcanzara la frecuencia cardíaca máxima (FCmax) o se presentaran

otros síntomas que constituyeran criterio de interrupción de la prueba. Luego de alcanzar el pico del ejercicio, los pacientes continuaron 1 min de ejercicio abaja carga (2 km/h, 0% de pendiente). Se continuó la monitorización del paciente hasta por los menos el décimo minuto de la recuperación post-ejercicio.

Durante toda la prueba se monitorizaron las 12 derivaciones del ECG y se calculó el valor de la frecuencia cardíaca cada 15 s. La presión arterial se determinó en el reposo, cada 3 minutos durante el esfuerzo y en los minutos 1, 2, 4 y 10 de la recuperación, utilizándose el monitor de presión no invasiva Tango+ (SunTech Medical, USA).

Los gases espirados fueron adquiridos continuamente mediante el método respiración a respiración utilizando el módulo de gases Metalyzer-3B (CortexBiophysikGmbH, Alemania), debidamente calibrado antes de cada prueba. Al finalizar, los datos fueron pre-procesados para eliminar artefactos y promediar los valores a intervalos de 10 s. El umbral anaerobio (UA) fue estimado empleando simultáneamente los métodos de pendiente V y de equivalente ventilatorio<sup>7</sup>. El consumo de oxígeno máximo (VO<sub>2</sub>max) fue definido como el mayor consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>) alcanzado durante el ejercicio, aceptándose el valor más alto obtenido de este parámetro cuando no se alcanzó una meseta fisiológica, también denominado VO<sub>2</sub>pico. Las pendientes de las rectas de regresión para el cálculo del equivalente ventilatorio para el oxígeno y dióxido de carbono, fueron calculadas

con un intervalo de 1 min después del inicio del ejercicio y 1 min antes de su fin. El gasto cardiaco se estimó por métodos no invasivos empleando la fórmula presentada por Stringer, Hansen y Wasserman en 1997<sup>16</sup>.

#### Procesamiento estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se empleó el paquete SPSS (versión 17.0). Los valores medios  $\pm$  desviación estándar se obtuvieron para las variables antropométricas agrupadas por grupo etáreo y sexo. Se utilizó análisis de varianza de una vía (onewayANOVA) para determinar las diferencias de medias de las distintas variables ergoespirométricas entre los sujetos de un mismo sexo o grupo de edad. También se empleó el test T (de Student) de comparación de medias en muestras pareadas para medir las diferencias entre los valores observados en el estudio y los predichos por los diferentes modelos teóricos reportados en la literatura<sup>7,9-11</sup>.

Se llevaron a cabo regresiones lineales múltiples por pasos (stepwise) para determinar cómo influían las variables independientes edad, sexo, peso, talla, grado de actividad en las variables dependientes de respuesta al VO<sub>2</sub>max, FCmax y UA. El criterio de entrada de nuevas variables en el modelo se basó en la probabilidad de F de entrada menor o igual de 0,05 y de 0,1 para la probabilidad F de salida. La regresión se realizó para toda la población y para ambos sexos por separado. Para todos los datos se reportó el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) ajustado con su correspondiente error estándar (SEE). Se

investigó la colinealidad múltiple entre las variables independientes del modelo de regresión.

## RESULTADOS

Las características antropométricas de los sujetos estudiados divididos por sexo y grupos etáreos se presentan en la tabla 1. A pesar de que la altura media y el peso corporal medio de los hombres es significativamente mayor que el de las mujeres ( $p < 0,01$ ), no hay diferencias significativas entre ambos por grupos de edades para el peso y el índice de masa corporal. Respecto a la talla, los hombres entre 20 y 29 años son más altos que las mujeres del mismo grupo ( $p < 0,01$ ). No hay diferencias significativas para ninguna de las variables entre sujetos de un mismo sexo según grupos de edades.

**Tabla 1.** Características de los sujetos por grupos de edades.

Edad	No. sujetos	Peso (kg)	Talla (cm)	IMC
<b>Mujeres</b>				
<20	1	78,0	186,0	22,5
20-29	3	56,7 $\pm$ 0,6	160,7 $\pm$ 5,0	22,0 $\pm$ 1,6
30-39	2	58,0 $\pm$ 8,5	156,0 $\pm$ 8,5	23,7 $\pm$ 0,9
40-49	3	65,7 $\pm$ 8,6	160,3 $\pm$ 8,0	25,5 $\pm$ 2,0
50-59	2	56,5 $\pm$ 4,9	155,0 $\pm$ 9,9	23,8 $\pm$ 5,1
60-69	1	58,0	162,0	22,1
<b>Hombres</b>				
20-29	4	72,5 $\pm$ 16,2	176,5 $\pm$ 2,4*	23,2 $\pm$ 4,5
30-39	6	79,0 $\pm$ 11,6	171,0 $\pm$ 5,8	26,9 $\pm$ 2,5
40-49	8	76,9 $\pm$ 7,7	172,5 $\pm$ 4,5	25,9 $\pm$ 2,9
50-59	2	83,0 $\pm$ 9,9	172,5 $\pm$ 10,6	27,8 $\pm$ 0,1
60-69	6	72,0 $\pm$ 9,1	168,7 $\pm$ 5,9	25,3 $\pm$ 3,0

IMC: Índice de masa corporal.

*Frecuencia cardiaca máxima:*

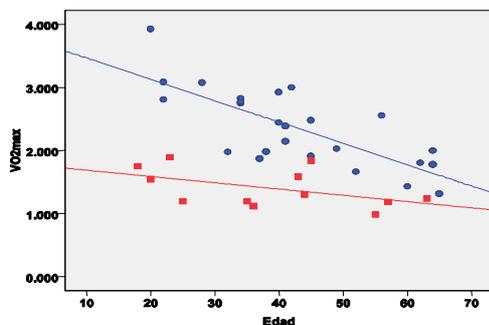
Como se esperaba, se observó una reducción de la FCmax con el incremento de la edad. Se obtuvo un mejor ajuste con una sola ecuación que con una por cada sexo. La ecuación 1 describe la relación entre la edad y la FCmax con R2 ajustado de 0,51 y SEE de 12,4.

$$FC_{max}=209,1-0,9 * E \quad (1)$$

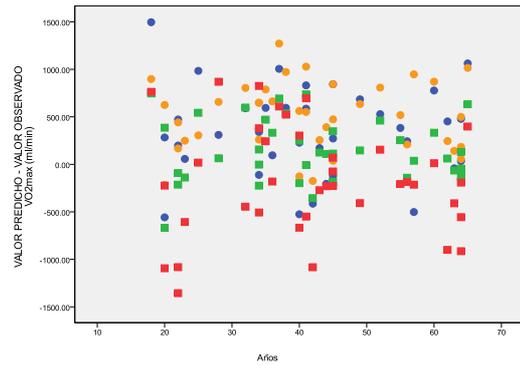
donde: E es la edad en años.

*Consumo de oxígeno máximo:*

El VO2max tuvo valores superiores en hombres que en mujeres tanto en valores absolutos (2,3±0,6 L/min vs 1,40±0,3 L/min), como relativos al peso (31,1±9,0 ml/min/Kg vs 22,9±4,1 ml/min/Kg)(p<0,01) [Figura 1]. Se observaron además diferencias significativas entre el VO2max de los hombres de los diferentes grupos de edades (p<0,01).



**Fig. 1** VO2max mayor en hombres (■) y decrece con la edad en ambos sexos (■: femenino) (p<0,01)



**Fig. 2** Comparación entre el VO2max observado y los valores predichos de las ecuaciones de predicción más citadas. ■ Jones [6], ■ Wasserman [4], ■ Neder [7], ■ Bruce [8]

Las variables que proporcionaron mejor ajuste al modelo fueron el sexo, la edad y el grado según tiempo de actividad física (ecuación 2). Se obtuvo un mejor ajuste (R2=0,729, SEE=0,35) al considerar todos los sujetos en un grupo que al analizar los hombres y mujeres por separado.

$$VO_{2max}=2,526-0,954 * S-0,02 * E+0,266 * AF \quad (2)$$

donde: VO2max: se expresa en L/min,

S: sexo 0 para hombres y 1 para mujeres,

E: edad en años,

AF: Grado según tiempo de Actividad Física<sup>14</sup>.

*Umbral anaerobio:*

El UA se alcanzó como promedio a 1.15±0.5 L/min de VO2. Las diferencias fueron significativas entre los grupos de sujetos según grado de actividad física (p<0,01). En la figura 3 se puede apreciar como los sujetos que se ejercitan un número mayor de horas a la semana tienen también un mayor VO2 en el UA.

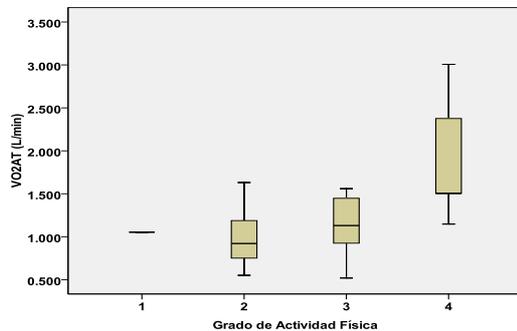
Como consecuencia la ecuación de regresión obtenida es:

$$UA=0.28+0.346 * AF \quad (3)$$

Donde:

UA=VO<sub>2</sub> en el UA y se expresa en L/min

AF= Grado según tiempo de Actividad Física<sup>14</sup>



**Fig. 3** Diferencias entre los grupos según consumo de oxígeno en el umbral anaerobio y grado de actividad física ( $p < 0,01$ ).

*Otras variables ergoespirométricas:*

En la tabla 2 se presentan los valores medios para hombres y mujeres de otras variables ergoespirométricas, donde se comprobó un comportamiento fisiológico de tales parámetros.

**Tabla 2.** Comportamiento de variables ergoespirométricas.

Parámetro	Hombres	Mujeres
Ventilación minuto máxima (VE <sub>max</sub> )	59,9±12,9	36,8±10,2
Equivalente Ventilatorio para el O <sub>2</sub> (VE/VO <sub>2</sub> )*	20,7±2,6	22,6±3,0
Equivalente Ventilatorio para el CO <sub>2</sub> (VE/VCO <sub>2</sub> )*	24,7±3,0	26,6±3,1
Gasto Cardíaco Basal (Q <sub>basal</sub> )	3,2±1,0	2,7±0,6
Gasto Cardíaco en UA (Q <sub>UA</sub> )	10,7±3,4	7,2±1,9
Gasto Cardíaco máximo (Q <sub>max</sub> )	14,3±3,8	8,6±1,9
Volumen Sistólico Basal (VS <sub>basal</sub> )	39,5±13±6	32,6±12,1
Volumen Sistólico en UA (VS <sub>UA</sub> )	97,1±22,4	60,7±12,9
Volumen Sistólico máximo (VS <sub>max</sub> )	95,73±55,5	53,6±11,1

\* Medido en el UA

Es de destacar la total normalidad de parámetros como el equivalente ventilatorio para el

oxígeno (VE/VO<sub>2</sub>) y para el dióxido de carbono (VE/VCO<sub>2</sub>) que descartan patologías respiratorias y cardíacas, principalmente aquellas que producen incremento del espacio muerto ventilatorio.

Las variables que expresan función cardíaca directa (gasto cardíaco y volumen sistólico) mostraron incrementos fisiológicos favorables durante el ejercicio máximo y submáximo en ambos sexos, en relación con los valores basales. El gasto cardíaco máximo fue de 14,3±3,8 L/min en los hombres y 8,6±1,9 L/min en las mujeres y el volumen sistólico de 95,73±55,5 ml/latido y 53,6±11,1 ml/latido, respectivamente.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Existe una correlación positiva entre los resultados obtenidos en el cálculo de la FC<sub>max</sub> y los reportados en la literatura<sup>6-9</sup>. El mejor ajuste a los valores de FC<sub>max</sub> obtenidos en nuestro estudio se obtuvo con la ecuación reportada por Jones<sup>6</sup>. Aunque la ecuación de Bradley<sup>17</sup> es una de las más utilizadas, debido quizás a la facilidad de realizar los cálculos, al realizar la comparación sobrestimó la FC<sub>max</sub> de nuestros sujetos para todos los grupos de edad.

La FC<sub>max</sub> alcanzada durante el ejercicio declina con la edad en todos los estudios<sup>7</sup>. No han sido encontradas diferencias significativas consistentes entre hombres y mujeres o entre los diferentes tipos de ejercicios utilizados, por ejemplo pedaleo en bicicleta, estera rodante, escalones, caminatas y trotes o carreras.

Las dos fórmulas más comúnmente empleadas para determinar la FCmax predicha en adultos es:  $220 - \text{edad (en años)}$  y  $210 - 0.65 \times \text{edad (años)}$ <sup>6</sup>; la desviación estándar para cada una de estas fórmulas es de 10 latidos/minuto. Sheffield y colaboradores<sup>18</sup> y Åstrand y Rodahl<sup>19</sup> han reportado desde hace varias décadas que las FCmax derivadas de individuos sanos y con buena aptitud física se aproximan razonablemente bien a los resultados de ambas fórmulas. En nuestro laboratorio ha sido más empleada la primera de ellas en el trabajo diario en la generalidad de casos con resultados satisfactorios.

En ocasiones la FCmax predicha no puede alcanzarse debido a la presencia de variabilidad de la población normal, pobre motivación, medicamentos tales como los beta-bloqueadores o debido a patologías cardíacas, vasculares periféricas, respiratorias e incluso músculo-esqueléticas o endocrinas.

Existe una consistente relación entre el VO<sub>2</sub>max y la FCmax durante el ejercicio lo que pone de manifiesto una estrecha interrelación entre ellos.

La comparación con otras ecuaciones reportadas en la literatura muestra que esos estudios sobrestiman el VO<sub>2</sub>max observado en este estudio<sup>6-11</sup>. En la figura 2 podemos observar como las diferencias entre los valores predichos según los diferentes autores y los valores observados en nuestro estudio fueron mayores que 0 para la mayoría de los sujetos. Las diferencias pudieron haber estado relacionadas con el tipo de

ejercicio o el ergómetro empleado y el protocolo aplicado. Pudo haber influido también el hecho de que la muestra estudiada es pequeña, no se excluyeron fumadores, diabéticos y no se consideró el nivel de hemoglobina, aspecto que tiene un peso importante en el sistema de aporte de oxígeno. Aunque la media de los valores obtenidos con la ecuación de predicción de Bruce<sup>11</sup> fue igual a la nuestra ( $p < 0,05$ ), la mejor correlación se obtuvo con las ecuaciones de Nader<sup>10</sup>.

El VO<sub>2</sub>max se corresponde con la cantidad máxima de oxígeno que un organismo puede obtener a través de su sistema respiratorio, difundir entre sus capilares pulmonares, adherirse a la hemoglobina circulante, movilizarse a través del sistema cardiovascular, difundirse en los músculos esqueléticos, unirse a las mioglobinas y finalmente ser utilizado en el metabolismo oxidativo tisular. Por tanto, el VO<sub>2</sub>max está determinado por el gasto cardíaco máximo así como su distribución fraccionada hacia los músculos ejercitados, el contenido de oxígeno arterial, así como la capacidad de estos músculos para extraer oxígeno; también la función ventilatoria sobre todo cuando ella es insuficiente para eliminar el dióxido de carbono producido por el metabolismo aeróbico<sup>7</sup>.

El VO<sub>2</sub>max debe ser la primera medición en ser examinada debido a que establece si la respuesta fisiológica del paciente permitió una función aeróbica máxima normal; otras variables deben ser analizadas después para diferenciar o precisar la causa de cualquier limitación funcional en

dependencia de que el sujeto alcance o no su VO<sub>2</sub>max predicho.

El UA, también conocido como umbral ventilatorio, se corresponde con la incapacidad del organismo para producir la energía requerida para realizar un trabajo en condiciones de un metabolismo aeróbico predominante, a partir de este umbral la energía adicional requerida es suministrada por una glicolisis anaeróbica<sup>20</sup>. El UA es un parámetro que al evaluarlo en conjunto con el VO<sub>2</sub>max, ofrece mucha información referente al estado clínico o patofisiológico del sujeto y su disminución puede poner de manifiesto una insuficiencia circulatoria severa o simplemente un estado de bajo acondicionamiento físico considerable, aunque ambas anormalidades pudieran presentarse simultáneamente. El UA además es una variable que se relaciona con calidad de vida y es utilizado para determinar la cantidad de trabajo que puede ser realizado sin excesiva disnea o agotamiento muscular y es por tanto un punto de referencia para determinar la intensidad de ejercicio para el entrenamiento físico de pacientes con insuficiencia cardíaca, sujetos sanos e incluso en atletas como parte de su preparación física pre-competitiva<sup>21</sup>

Rivas-DOI. El UA determinado en nuestro estudio se correspondió con mayores valores para aquellos casos con mejor aptitud física, en que se obtuvo un VO<sub>2</sub> más elevado en el momento del UA, en aquellos que se ejercitaron un mayor número de horas por semana, comprobándose su efectividad en la determinación de la capaci-

dad física del sujeto evaluado sin patología cardiovascular asociada.

Tanto los valores de las variables ventilatorias como las cardíacas, medidas en el UA o en el ejercicio máximo, en nuestros casos, se correspondieron con las descritas para sujetos normales<sup>20,22-25</sup>. La normalidad absoluta de variables como el equivalente ventilatorio para el oxígeno (VE/VO<sub>2</sub>) y para el dióxido de carbono (VE/VCO<sub>2</sub>), también conocido como "índice de disnea", descarta en el grupo estudiado la presencia de patologías respiratorias que incrementen el llamado espacio muerto o trastornos de la función cardíaca que provoquen exudado intra-alveolar, descartando también en consecuencia la disfunción ventricular en estos casos. Este resultado se correspondió con el comportamiento fisiológico del gasto cardíaco y del volumen sistólico en ejercicio máximo, los cuales cuadruplicaron las cifras en reposo, poniendo de manifiesto una función cardíaca normal.

La principal limitación de esta investigación consiste en que por tratarse de un estudio preliminar presenta una muestra pequeña de casos, además de que fueron sujetos sin patología cardiovascular demostrada, pero seleccionados de un Laboratorio de Ergometría adonde habían acudido por indicación médica.

## CONCLUSIONES

Este estudio nos permitió caracterizar el comportamiento de las variables ergoespirométricas en sujetos sin enfermedad cardiovascular. Nuestros resultados, a pesar de ser preliminares, confirman que la metodología empleada en

nuestro estudio puede ser valedera para evaluar funcionalmente a individuos sin enfermedad cardiovascular.

Los valores de las variables estudiadas pueden ser utilizados como referencia de casos normales en próximas investigaciones realizadas en nuestro país. Se recomienda realizar un estudio prospectivo con una cantidad mayor de sujetos aparentemente sanos seleccionados de población general debidamente estratificado por edad y sexo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rivas E, Gómez N. Evaluación objetiva de la capacidad funcional: el papel de la prueba de esfuerzo cardiorrespiratoria. *Corsalud*. 2013; 5:232-6.
2. Mezzani A, Agostoni P, Cohen-Solal A, Corrà U, Jegier A, Koudi E, et al. Standards for the use of cardiopulmonary exercise testing for the functional evaluation of cardiac patients: a report from the Exercise Physiology Section of the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. 2009; 16:249-67.
3. American Thoracic Society/American College of Chest Physicians. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Med*. 2003; 167:211-77.
4. Forman DE, Myers J, Lavie CJ, Guazzi M, Celli B, Arena R. Cardiopulmonary exercise testing: relevant but underused. *Postgrad Med*. 2010; 122:68-86.
5. Grupo de trabajo de la SEPAR. Normativa SEPAR. Pruebas de ejercicio cardiopulmonar. *Arch Bronconeumol*. 2001; 37:247-68.
6. Jones NL. *Clinical Exercise Testing*, 3<sup>rd</sup> ed. Philadelphia: W.B. Saunders; 1988.
7. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Whipp BJ. *Principles of exercise testing and interpretation*, 4th ed. Philadelphia: Lea and Febiger; 2005.
8. Fairbairn MS, Blackie SP, McElvaney NG, Wiggs BR, Paré PD, Pardy RL. Prediction of heart rate and oxygen uptake during incremental and maximal exercise in healthy adults. *Chest*. 1994; 105:1365-9.
9. Jones NL, Makrides L, Hitchcock C, Chypchar T, McCartney N. Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. *Am Rev Respir Dis*. 1985; 131:700-8.
10. Neder JA, Nery LE, Castelo A, Andreoni S, Lerario MC, Sachs A, et al. Prediction of metabolic and cardiopulmonary responses to maximum cycle ergometry: a randomized study. *Eur Respir J*. 1999; 14:1304-13.
11. Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am Heart J*. 1973; 85:546-62.
12. Fernández LC, Roa CC, Maghuyop N. Normal reference values for cardiopulmonary exercise testing among Filipinos. *Chest*. 2005; 128:291S-b-392.
13. Ong KC, Loo CM, Ong YY, Chan SP, Earnest A, Saw SM. Predictive values for cardiopulmonary exercise testing in sedentary Chinese adults. *Respirology*. 2002; 7:225-31.
14. Saltin B, Grimby G. Physiological analysis of middle-aged and old former athletes. *Circulation*. 1968; 38:1104-15.
15. Gómez N, Rodríguez J, Pérez R, Garrido H, López M, Fernández I, et al. Diseño de un sistema para pruebas de esfuerzo. *Bioingeniería y Física Médica Cubana*. 2006; 7:4-10.
16. Stringer WW, Hansen JE, Wasserman K. Cardiac output estimated noninvasively from oxygen uptake during exercise. *J Appl Physiol*. 1997; 82:908-12.
17. Bradley CA, Harris EA, Seelye ER, Whitlock RML. Gas exchange during exercise in healthy people. I. The physiological dead-space volume. *Clin Sci Molec Med*. 1976; 51:323-33.
18. Sheffield LT, Maloof JA, Sawyer JA, Roitman D. Maximal heart rate and treadmill performance of healthy women in relation to age. *Circulation*. 1978; 57:79-84.
19. Åstrand PO, Rodahl K. *Textbook of Work Physiology*, 3<sup>rd</sup> Ed. New York: McGraw-Hill, 1986.
20. Cohen-Solal A, Carré F. *Practical guide to cardiopulmonary exercise testing*. Issy-les-Moulineaux Cedex: Elsevier: Masson SAS; 2012.
21. Rivas E, Gómez N, Sixto S, Barrera JD, del Valle D, González R, et al. Análisis de gases espirados. Evaluación de un sistema cubano para pruebas de esfuerzo cardiorrespiratoria. XXIII Congreso Centroamericano y del Caribe de Cardiología. San Juan, Puerto Rico, 17 junio, 2014. DOI: 10.13140/2.1.4175.1685
22. Guazzi M, Adams V, Conraads V, Halle M, Mezzani A, Vanhees L, et al. EACPR/AHA Joint Scientific State-

ment: Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. *Eur Heart J*. 2012; 33:2917-27.

23. Myers J, Arena R, Franklin B, Pina I, Kraus WE, McInnis K, et al. Recommendations for clinical exercise laboratories: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2009; 119:3144-61.
24. Arena R, Myers J, Williams MA, Gulati M, Kligfield P, Balady GJ, et al. Assessment of functional capacity in clinical and research settings: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention of the Council on Clinical Cardiology and the Council on Cardiovascular Nursing. *Circulation*. 2007; 116:329-43.
25. Balady GJ, Arena R, Sietsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF, et al. Clinician's guide to cardiopulmonary exercise testing in adults. A scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2010; 122:191-225.



**Recibido: 21-09-2014**

**Aceptado: 02-11-2014**