

# ¿Puede la frecuencia cardíaca ser un estimador del consumo de oxígeno para segmentos corporales?

## ¿Can heart rate be an estimation of body segments oxygen consumption?

Juan C. Velásquez<sup>1,2</sup>

**Forma de citar:** Velásquez JC. ¿Puede la frecuencia cardíaca ser un estimador del consumo de oxígeno para segmentos corporales?. Rev Univ Ind Santander Salud. 2015; 47(2): 159-168.

### RESUMEN

**Introducción:** La frecuencia cardíaca es un indicador que se usa con frecuencia para la estimación del consumo de oxígeno. Ha sido empleado para evaluar la carga física global sin embargo su uso para evaluar el trabajo que no involucra todo el cuerpo no ha sido lo suficientemente comprobado. **Objetivo.** Determinar la relación entre el consumo de oxígeno por segmentos corporales y la frecuencia cardíaca. **Métodos.** Se estableció la relación entre frecuencia cardíaca, el consumo de oxígeno y el porcentaje de consumo máximo de oxígeno mediante ergoespirometría y pulsometría en 30 individuos expuestos a cargas máximas ejecutadas con todo el cuerpo, miembros inferiores y miembros superiores. **Resultados.** Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el consumo de máximo oxígeno por género y por segmentos corporales. No hubo diferencias representativas entre las proporciones de consumo de oxígeno por géneros. La relación entre frecuencia cardíaca y consumo de oxígeno por segmentos y por género fue lineal, con un coeficiente de correlación mayor de 0.9. **Conclusiones.** Es posible predecir el consumo de oxígeno de miembros superiores y de miembros inferiores y el  $VO_2$  máximo a partir de los valores de la frecuencia cardíaca, la cual puede ser usada como estimador del consumo de oxígeno para los segmentos corporales.

**Palabras Clave:** Consumo de Oxígeno, Frecuencia Cardíaca, Carga Física de Trabajo, Salud Laboral, Fisiología.

### ABSTRACT

**Introduction:** The Heart rate is an indicator that can be used to estimate oxygen consumption. It has been used to assess physical work load. However its use to assess the work that does not involve the whole

1. Universidad del Valle. Cali, Colombia

2. Universidad del Rosario. Bogotá, Colombia

**Correspondencia:** Juan Carlos Velásquez V. **Dirección:** Avenida 5N 25N-39 Cali. **Correo electrónico:** jcocupa@gmail.com **Teléfono** +572 3935552 móvil +57 3154034179

body has not been sufficiently proved. **Objective:** To determine the relationship between oxygen consumption by body segments and heart rates. **Methods:** The relationship between heart rate, oxygen consumption and percentage of maximum oxygen consumption by ergospirometry and pulsometry in 30 individuals exposed to maximum loads executed with the whole body, legs and upper limbs was established. **Results:** Statistically significant differences between maximal oxygen consumption by gender and body segments were found. No significant differences between the proportion of oxygen consumption by genres was found. The relationship between heart rate and oxygen uptake by segment and by gender was linear with a correlation coefficient greater than 0.9. **Conclusions:** It's possible to predict the arms and legs oxygen consumption and oxygen uptake from the heart rate values, the heart rate can be used as an estimate of the oxygen consumption by body segments.

**Keywords:** Oxygen Uptake, Heart Rate, Work Load, Occupational, Physiology

## INTRODUCCIÓN

La capacidad para realizar trabajo físico depende de la tolerancia del sujeto al trabajo, la coordinación neuromuscular, la capacidad aeróbica máxima y la fuerza muscular máxima. Está determinada por factores que se derivan de los procesos bioquímicos productores de energía, la capacidad respiratoria, cardiovascular y de las características de cada tejido para hacer uso del oxígeno y los sustratos energéticos<sup>1,2</sup>.

La satisfacción de los requerimientos energéticos proviene del metabolismo aeróbico y anaeróbico<sup>3</sup>. Los límites para proporcionar y utilizar la energía metabólica deben incluir un margen de seguridad impuesto a fin de proteger la integridad del organismo humano y se construyen basados en un esfuerzo máximo<sup>4</sup>.

La existencia de métodos basados en la medición del consumo de oxígeno o de la frecuencia cardíaca permite conocer si hay desajuste fisiológico<sup>5</sup>. Estos métodos buscan identificar la capacidad de desempeño físico del trabajador y compararla con los requerimientos laborales<sup>6</sup>. Una carga de trabajo aceptable representa el balance entre la carga física laboral y la capacidad cardiorrespiratoria<sup>7,8</sup>.

Astrand<sup>9</sup> define la capacidad aeróbica máxima como “el mayor consumo de O<sub>2</sub> que puede obtenerse durante el trabajo físico, respirando a nivel del mar, por un tiempo limitado (usualmente 2 a 6 minutos) dependiendo de la carga de trabajo en condición aeróbica.”

La capacidad de trabajo físico, el umbral de la fatiga y la capacidad de recuperación después del trabajo físico disminuyen con la edad, esto puede conducir a la sobrecarga de los músculos y tendones en el trabajador<sup>10,11,12</sup>. Varios estudios muestran que la distribución del consumo de oxígeno y la capacidad de trabajo físico no es uniforme en el organismo

humano. Diversos resultados han mostrado diferencias significativas en los niveles de fatiga cuando se comparan los miembros inferiores y miembros superiores expuestos ambos a iguales cargas.

Aminoff, evidenció que el esfuerzo físico en los miembros superiores, la concentración de ácido láctico y la aparición de la fatiga muscular se presentó más rápido en los miembros superiores que en los inferiores. Esto llevó a determinar que la carga física de trabajo con miembros superiores debe ser menor que con miembros inferiores. Encontró que la respuesta cardiorrespiratoria es diferente según los segmentos corporales utilizados. El costo fisiológico es mayor para los miembros superiores que para los miembros inferiores cuando se trabaja con una carga máxima o submáxima definida.

Al respecto, la literatura científica presenta estudios que comparan las respuestas fisiológicas según la masa muscular comprometida en diferentes tipos de pruebas, observando resultados contradictorios en cuanto a la variación del consumo de oxígeno cuando el trabajo se realiza con miembros inferiores únicamente y cuando adicionalmente se utilizan miembros superiores o cuerpo entero. Astrand y Saltin, concluyen que la capacidad aeróbica y la frecuencia cardíaca máxima son iguales al correr o pedalear. Stenberg et al.<sup>13</sup>, reportaron que el trabajo simultáneo con miembros superiores e inferiores no permitió valores mayores de VO<sub>2</sub> que el trabajo máximo en el que se utilizaron únicamente los miembros inferiores. Por el contrario, Shephard<sup>14</sup> et al. al realizar tres pruebas físicas diferentes, hallaron que el VO<sub>2</sub> máximo fue un poco mayor en las dos pruebas físicas en las que se utilizaba cuerpo entero que en la que se utilizaban únicamente los miembros inferiores. Los resultados de Hagerman et al.<sup>15</sup>, indicaron que el costo energético fue significativamente mayor para la ergometría de cuerpo entero que para la de miembros inferiores. Asmussen y Hemmingsen et al.<sup>30</sup>, hallaron

que durante el ejercicio máximo con los brazos, el  $\text{VO}_2$  máximo, y el gasto cardíaco fueron respectivamente el 66 y 80%, de los valores alcanzados en el trabajo máximo de piernas sentado. Por otra parte, los autores señalan que el trabajo simultáneo con brazos y piernas no permitió valores mayores de  $\text{VO}_2$  que el trabajo máximo de piernas sentado. Reybrouck et al<sup>16</sup>, encontraron que el  $\text{VO}_2$  máximo en la ergometría de brazos, fue en promedio el 68% del  $\text{VO}_2$  máx. en la ergometría de pierna y el 60% del  $\text{VO}_2$  máx. en la ergometría combinada.

Shephard, estudió la masa muscular como factor limitante del trabajo físico. Concluyó que debido a la dificultad al perfundir los músculos pequeños, el trabajo de brazos se ve limitado ampliamente por la potencia intrínseca de los músculos activos.

### **Frecuencia cardíaca como estimador del consumo de oxígeno e indicador de carga física**

El conocimiento de la capacidad máxima aeróbica es importante para definir la ubicación laboral, determinar el grado de entrenamiento o adaptabilidad del trabajador; brinda información sobre el nivel de trabajo sostenido que conviene al trabajador, la eficacia de la rehabilitación física y la readaptación laboral; además permite reconocer los niveles de rendimiento óptimo sin que los trabajadores se fatiguen.

La técnica de medición directa del  $\text{VO}_2$  max. es compleja, costosa y puede desencadenar problemas a la salud para personas con afecciones cardiovasculares o respiratorias. Por esta razón, la medición directa del consumo máximo de oxígeno, debe practicarse sólo en laboratorios bien equipados que cuenten con asistencia médica. Estas limitaciones han llevado al desarrollo de técnicas indirectas que permitan predecir el consumo máximo de oxígeno a partir de esfuerzos sub máximos, relativamente seguros.

La  $\text{VO}_2$  máxima puede ser estimada mediante la frecuencia cardíaca y usada para determinar la intensidad del trabajo y el riesgo de aparición de fatiga<sup>17</sup>. La prueba escalonada<sup>1,18,19</sup> es un método en donde la frecuencia cardíaca se usa como estimador del consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$  máx.) y se basa en la premisa de la existencia de una relación lineal entre el aumento en la FC y el consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ) a niveles submáximos de ejercicio<sup>1,20</sup>. La relación entre la frecuencia cardíaca y el  $\text{VO}_2$  ha sido ampliamente estudiada, sin embargo, se siguen realizando estudios

específicos para reafirmar y validar la aplicabilidad de la FC como estimador del  $\text{VO}_2$  en diferentes condiciones y situaciones laborales<sup>21,22,23,24,25,26</sup>.

Garatachea<sup>27</sup> refiere que la frecuencia cardíaca es la variable fisiológica más fácil de monitorizar en el campo y por lo tanto es más utilizada para monitorizar la energía gastada. Su principal utilidad es la de poder ser usada en diferentes ámbitos y no solo en el laboratorio, por lo tanto es un método de gran aplicabilidad a la medición de la actividad laboral<sup>28,29,30</sup>, mencionan la relación prácticamente rectilínea entre la FC y el  $\text{VO}_2$  durante el trabajo de miembros inferiores y el de miembros superiores. Bot concluyó que la FC es un estimador aceptable del  $\text{VO}_2$  e indican una relación lineal entre la FC y el  $\text{VO}_2$  durante el ejercicio “no estacionario”, tanto de piernas como de brazos<sup>31</sup>. Bouchard y Trudeau<sup>32</sup> concluyeron que la relación  $\text{VO}_2$ /FC tiene buena fiabilidad a la FC usualmente encontrada en los sitios de trabajo.

Asmussen encontró que la pendiente de la relación entre la FC y el  $\text{VO}_2$  resultó ser más inclinada para el trabajo con miembros superiores, que para el de miembros inferiores. Astrand y Saltin<sup>33</sup>, encontraron que el trabajo máximo con los brazos resultó en un  $\text{VO}_2$  que fue alrededor del 70% del máximo al pedalear.

En la actualidad se dispone de equipos como los pulsímetros y el Holter que permiten realizar un monitoreo continuo de la frecuencia cardíaca; los primeros son mucho más fáciles de utilizar y mejor aceptados por el trabajador por ser livianos, no requerir posturas especiales ni esfuerzo adicional para su uso, no interfieren con las actividades laborales; adicionalmente es una medición con validez y aceptación mundial, reproducible en cualquier ambiente laboral<sup>34,35,36</sup>. INHS España (NTP 295)

Los métodos usados en salud ocupacional usualmente se basan en indicadores diseñados a partir del consumo máximo de oxígeno o la frecuencia cardíaca cuando el trabajo se ejecuta con todo el cuerpo, esto podría sobre estimar la carga de trabajo si las tareas se ejecutan casi que exclusivamente con algún segmento corporal como los miembros superiores. Por lo tanto esta investigación pretende determinar la relación entre consumo máximo de oxígeno y frecuencia cardíaca para trabajos dinámicos realizados con todo el cuerpo y trabajos dinámicos realizados con miembros superiores y miembros inferiores.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Un total de 30 trabajadores de los sectores de la construcción, agroindustria, salud y servicios, fueron sometidos a pruebas máximas de esfuerzo físico para determinar su respuesta fisiológica. Se tuvieron en cuenta las contraindicaciones para realizar pruebas de esfuerzo máximo y submáximo del American College of Sports Medicine. Se aplicó el test de PARQ y se realizó una revisión médica para determinar si la persona era apta para realizar las pruebas físicas o tenía restricciones médicas. Se midió el peso y la estatura de los sujetos, se midió el índice de masa corporal y se calculó el porcentaje de grasa y el porcentaje de masa muscular, mediante el método de De Rose y Guimaraes<sup>37</sup>. Se descartaron los trabajadores con índice de masa corporal superior a 30 y porcentaje de grasa superior a 33% en las mujeres y 25% en los hombres.

Los trabajadores admitidos en el estudio fueron aquellos que resultaron aptos en el test del PARQ<sup>38</sup> en la revisión médica, aceptaron voluntariamente las condiciones del estudio y firmaron el consentimiento informado. A estos trabajadores se les realizaron pruebas máximas para determinar el  $VO_2$ max. para cargas con todo el cuerpo, con miembros superiores y miembros inferiores, mediante espiroergometría.

Se aplicó protocolo para medición de consumo máximo de oxígeno teniendo como criterios que cada individuo alcanzara por lo menos el 90% de la frecuencia cardíaca máxima teórica (220-edad), un coeficiente respiratorio superior a 1,1 y presencia de meseta en el máximo nivel de la pendiente de oxígeno sin un crecimiento aparente de la misma. El protocolo aplicado en miembros inferiores consistió en cargas crecientes de 50W de dos minutos de duración, según protocolo de Mairdorn y Mellerowitz. Se inició con una carga de 50W con una cadencia de 60 rpm. Este mismo protocolo se aplicó para cargas con todo el cuerpo en máquina elíptica. Para miembros superiores se inició con una carga de 25W con incremento creciente de 15W y dos minutos de duración en cada carga y una cadencia de 60 rpm. Para la prueba con todo el cuerpo se utilizó máquina elíptica y un protocolo similar al de miembros inferiores. Se usó ergoespirómetro K4B2 (Cosmed) y pulsímetro polar RS800 XC debidamente calibrados.

Las pruebas se aplicaron en un lugar con todas las condiciones físicas adecuadas (espacio, privacidad, nivel de temperatura, equipos de primeros auxilios); se

eliminaron en lo posible los estímulos exteriores como ruido, corrientes de aire y contaminación ambiental.

La información recolectada fue diligenciada y almacenada en una base de datos Excel. Para el análisis estadístico de los datos se usó el paquete estadístico SPSS versión 13.0. y Minitab versión 15.

Inicialmente se hizo un análisis exploratorio de cada una de las variables incluidas en el estudio para observar posibles inconsistencias y datos faltantes. En el análisis univariado se utilizaron métodos estadísticos descriptivos como promedio aritmético, mediana, percentiles y desviación estándar para variables numéricas.

Para el análisis bivariado se utilizaron pruebas de significación estadística paramétricas t de Student, según cumplimiento de los criterios para su aplicación. Se estableció a priori un nivel de significación estadística  $\alpha=0,05$ . Un valor p menor de 0.05 fue considerado como diferencia estadísticamente significativa.

## RESULTADOS

La edad media de la población fue de  $24 \pm 3,7$  años, en un rango entre 22 y 37 años. La talla de los sujetos de estudio estuvo entre 157 y 181cm, la media para las mujeres resultó ser  $165,3 \pm 4,5$  cm y para los hombres  $173,4 \pm 5,0$  cm. El peso corporal medio de los participantes fue de  $65,8 \pm 7,7$  Kg.

Se encontraron las siguientes diferencias significativas entre géneros:

El grupo de hombres tuvo significativamente mayor talla media que las mujeres. Se encontró mayor peso graso medio en las mujeres con una variabilidad mayor entre los hombres. La diferencia entre las medias del porcentaje de grasa fue muy relevante, siendo el valor para las mujeres más del doble que para los hombres. El peso muscular promedio de los hombres fue mayor que el de las mujeres. El porcentaje muscular de los hombres fue muy superior al de las mujeres.

El índice de masa corporal de los sujetos fluctuó entre 18,3 y 28,7 Kg/cm<sup>2</sup>. La mayoría, (76,7%), de los participantes estuvieron dentro del rango normal, no hubo obesos. No se encontraron diferencias significativas entre hombres y mujeres ( $p=0,264$ ).

**Consumo máximo de oxígeno. VO<sub>2</sub>max.**

Las cargas con *cuerpo entero* mostraron que el VO<sub>2</sub>max alcanzó valores entre los 20,5 y los 41,2 ml/kg-min, la mitad de los hombres obtuvo valores que superaron los 34,9 ml/kg -min, mientras que en las mujeres el máximo valor logrado fue 33,5 ml/kg-min. Las diferencias entre sexos fueron estadísticamente significativas (P= 0,000).

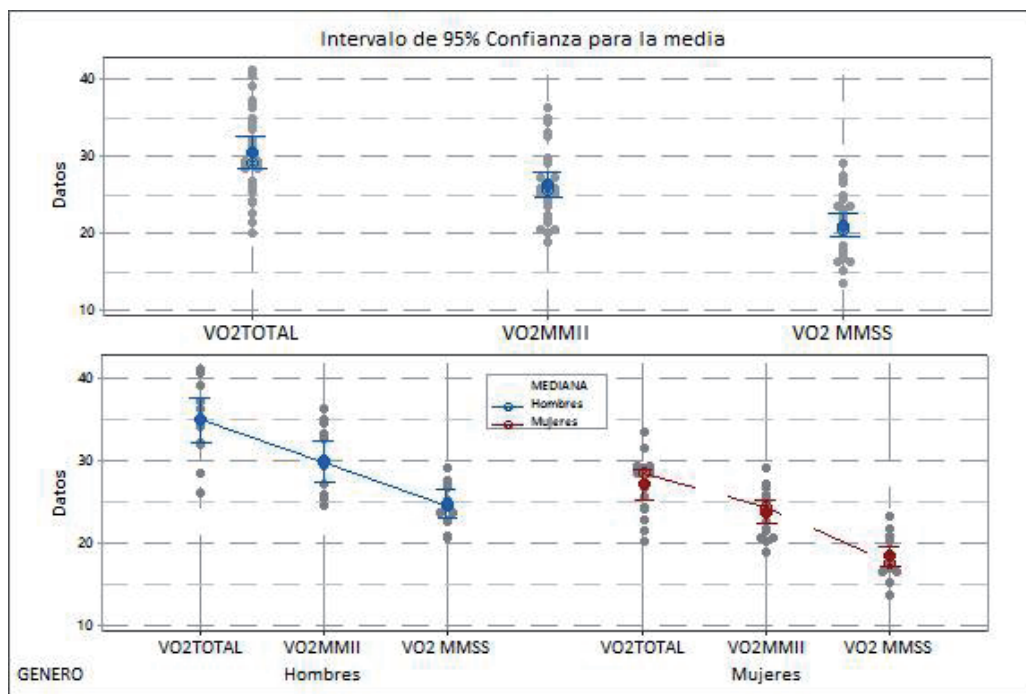
En el trabajo con cargas exclusivas de miembros inferiores se obtuvieron valores de VO<sub>2</sub> máximo entre 18,9 y 36,3 ml/ kg -min, se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre los participantes de acuerdo al género (p = 0,000). En el trabajo con cargas exclusivas de miembros superiores se obtuvieron valores de VO<sub>2</sub>máx. entre 13.6 y 27.9 ml/kg/min, se encontró diferencia estadísticamente significativa entre los participantes de acuerdo al género (p = 0,000).

**Tabla 1, Gráfica 1.**

**Tabla 1.** Valores del VO<sub>2</sub> máximo del trabajo con cuerpo entero, solo con miembros inferiores y solo con miembros superiores

Estadígrafo	VO <sub>2</sub> Máximo								
	Todos			Hombres			Mujeres		
	CuorpEnt	MInf	MSup	CuorpEnt	MInf	MSup	CuorpEnt	MInf	MSup
Media	30,5	26,4	21,1	34,9	29,9	24,7	27,1	23,7	18,3
Desviación estándar	5,6	4,6	4,1	4,5	4,1	2,7	3,6	2,9	2,5
Mínimo	20,2	18,9	13,6	26,1	24,5	20,6	20,2	18,9	13,6
Máximo	41,2	36,3	27,9	41,2	36,3	29,2	33,5	29,2	23,1
Med	29,2	25,6	20,7	34,9	29,7	24,6	28,5	24,4	17,6
Percentil 25	26,6	23,3	17,5	32	25,7	22,6	24,2	21	16,7
Percentil 75	34,7	29,5	23,9	38,2	33,9	27,3	29,2	25,8	20,5

CuorpEnt: Cuerpo entero; MInf: Miembro inferior; MSup: Miembro superior



**Gráfica 1.** Resumen estadístico gráfico del VO<sub>2</sub>máximo trabajo con el cuerpo entero, solo con miembros inferiores, o solo con los miembros superiores, por género.



Se realizó un análisis de correlación entre el VO<sub>2</sub>máx. obtenido con el trabajo de miembros inferiores o con

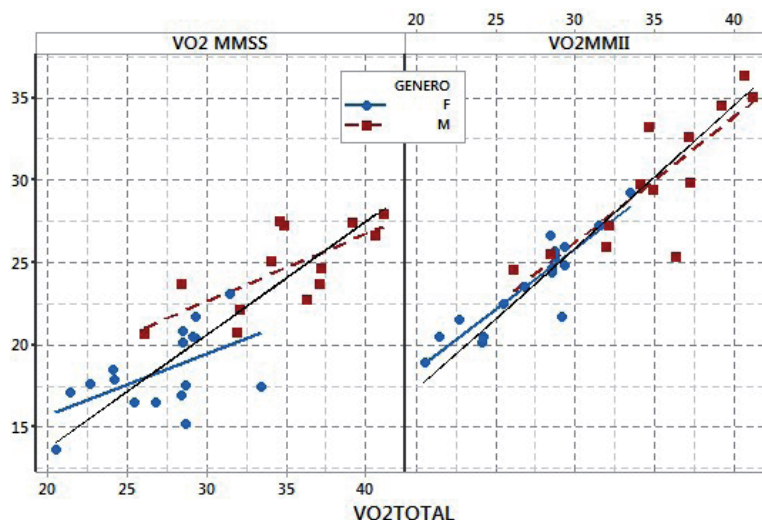
miembros superiores respecto al VO<sub>2</sub> máximo alcanzado al realizar trabajo de cuerpo entero, encontrándose las correlaciones que aparecen en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Correlaciones con el VO<sub>2</sub> máximo trabajando con el cuerpo entero

Grupo	VO <sub>2</sub> máx.	
	Miembros superiores	Miembros inferiores
<b>Todos</b>	0,83	0,93
<b>Hombres</b>	0,7	0,83
<b>Mujeres</b>	0,54	0,91

Las ecuaciones de regresión y los gráficos se muestran en **Gráfica 2**. La Gráfica muestra el ajuste que se logra considerando al VO<sub>2</sub>max con solo miembros inferiores o con solo miembros superiores, proporcional al VO<sub>2</sub>max

total. El valor de la pendiente para cada caso se calculó por mínimos cuadrados. Las ecuaciones resultantes se ven en la **Tabla 3**.



**Gráfica 2.** VO<sub>2</sub> max. con miembros inferiores o con miembros superiores con respecto al VO<sub>2</sub>max del trabajo con cuerpo entero, para todo el grupo objeto de estudio, y por género.

**Tabla 3.** Estimación del VO<sub>2</sub>max con solo miembros superiores o inferiores a partir del VO<sub>2</sub> máx. con el cuerpo entero.

Ecuación	Desviación estándar
VO <sub>2</sub> Miembros superiores = 0,6874 VO <sub>2</sub> TOTAL	2,31
VO <sub>2</sub> Miembros inferiores = 0,8631 VO <sub>2</sub> TOTAL	1,78

El porcentaje del VO<sub>2</sub> máximo de trabajo con miembros inferiores con respecto al VO<sub>2</sub>max con cuerpo entero, fue en promedio 86,9% con desviación estándar 5,7%; para los hombres 85,9% con 6,6% y para las mujeres,

87,7% con 5,0%. La diferencia entre hombres y mujeres no fue relevante (p= 0,422). El porcentaje del VO<sub>2</sub>máx. con miembros superiores con respecto al VO<sub>2</sub>max del trabajo con cuerpo entero, fue en promedio 69,3% con desviación estándar 7,8%; para los hombres, 71.0% con 6,9%, y para las mujeres, 68,1% con 8,3%. La diferencia entre géneros no fue significativa (p= 0,304) usando una prueba t pareada para la diferencia entre las medias del porcentaje del VO<sub>2</sub> máximo de trabajo con miembros inferiores con respecto al VO<sub>2</sub>max del trabajo con cuerpo entero (%MMII) y del %VO<sub>2</sub> máximo de trabajo con miembros superiores con respecto al VO<sub>2</sub>max del trabajo con cuerpo entero (%MMSS), se encontró una diferencia significativa (p= 0,000), **Tabla 4**.

**¿Puede la frecuencia cardíaca ser un estimador del consumo de oxígeno para segmentos corporales?**

**Tabla 4.** % VO<sub>2</sub> máximo con miembros inferiores, superiores y con cuerpo entero.

Estadígrafos	%VO <sub>2</sub> Máximo					
	Todos		HOMBRES		MUJERES	
	MInf	Msup	MInf	Msup	MInf	Msup
Media	86,90%	69,30%	85,90%	71,00%	87,70%	68,10%
Desviación estándar	5,70%	7,80%	6,60%	6,90%	5,00%	8,30%
Mínimo	69,70%	51,90%	69,70%	62,50%	74,60%	51,90%
Máximo	96,00%	83,50%	96,00%	83,50%	95,80%	79,90%
Mediana	87,40%	69,80%	87,10%	68,80%	87,70%	70,40%
P25	84,70%	64,50%	82,70%	65,20%	85,20%	61,30%
P75	89,60%	74,70%	89,60%	78,40%	90,90%	74,00%

MInf: Miembro inferior; MSup: Miembro superior

**Correlación Consumo de oxígeno y Frecuencia cardíaca**

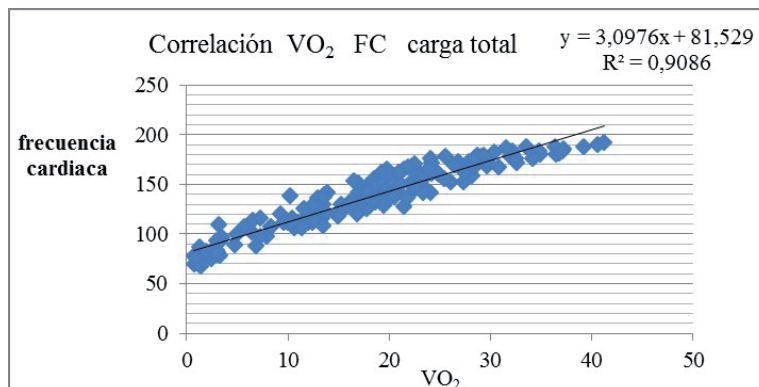
Con el fin de evaluar la frecuencia cardíaca (FC) como estimador del consumo de oxígeno VO<sub>2</sub>, se estableció la relación entre la FC y el VO<sub>2</sub>.

Se observó una fuerte correlación entre la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno para las cargas de trabajo ejecutadas con todo el cuerpo, miembros inferiores

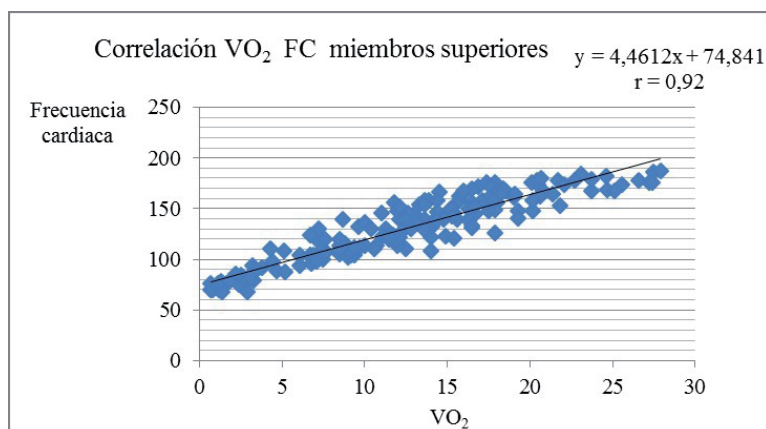
y miembros superiores, el mismo comportamiento se observó por género. (Tabla 5. Gráficas 3 - 5)

**Tabla 5.** Correlación entre frecuencia cardíaca y VO<sub>2</sub>

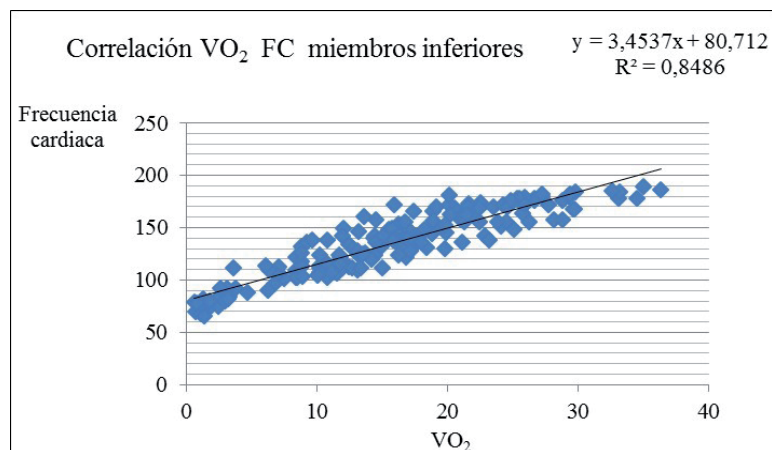
	Todo el cuerpo	Miembros superiores	Miembros inferiores
<b>Todos</b>	0,95	0,92	0,92
<b>Hombres</b>	0,97	0,95	0,95
<b>Mujeres</b>	0,95	0,92	0,92



**Gráfica 3.** Relaciones entre el consumo de oxígeno y la frecuencia cardíaca trabajo ejecutado con todo el cuerpo.



**Gráfica 4.** Relaciones entre el consumo de oxígeno y la frecuencia cardíaca trabajo ejecutado con miembros superiores.



Gráfica 5. Relaciones entre el consumo de oxígeno y la frecuencia cardíaca trabajo ejecutado con miembros inferiores.

## DISCUSIÓN

El consumo de oxígeno al realizar el trabajo con miembros inferiores fue en promedio el 87% del consumo de oxígeno alcanzado cuando el trabajo se realizó con todo el cuerpo. Cuando el trabajo se realiza con miembros superiores el consumo de oxígeno resulto ser el 69% del alcanzado con todo el cuerpo. La correlación entre los datos de VO<sub>2</sub> máximo alcanzado en los dos equipos (cicloergómetro y elíptica) resultó positiva y alta (R<sup>2</sup>= 0,86), sugiriendo que se podría predecir el valor del VO<sub>2</sub> total a partir de los datos de VO<sub>2</sub> alcanzados con miembros inferiores, miembros superiores y viceversa. Resultados similares fueron reportados por Asmussen y Hemmingsen<sup>30</sup>; Astrand y Saltin<sup>33</sup>; Stenberg<sup>13</sup>; Shephard<sup>38</sup>; Hagerman<sup>15</sup>; Reybrock<sup>16</sup>; Aminoff<sup>8</sup>.

Es razonable, como evidenció esta investigación predecir el comportamiento del consumo de oxígeno en función del consumo máximo obtenido mediante una prueba donde se use todo el cuerpo o los miembros inferiores. Además es poco práctico, tener que realizar una prueba específica cada vez que se requiere predecir el comportamiento del consumo de oxígeno de acuerdo al segmento o grupo de músculos comprometidos. En concordancia con este resultado, otros estudios concluyen no haber hallado diferencias significativas que justifiquen la selección de un tipo de ejercicio específico en función de los segmentos corporales utilizados (miembros inferiores o miembros superiores e inferiores), cuando se busca medir el VO<sub>2</sub> máximo. Astrand y Saltin<sup>1</sup>; Hagerman<sup>15</sup>. Como la medición del consumo de oxígeno resulta ser costosa debido al tipo de equipamiento que debe usarse y al nivel de entrenamiento y experticia que requiere su operación y análisis, este estudio evidenció que la frecuencia

cardíaca puede ser usada como estimador del consumo de oxígeno. Se encontró una correlación positiva muy alta entre el consumo de oxígeno medido para miembros superiores y para miembros inferiores con la frecuencia cardíaca (R= 0,95) y (R=0,92). Resultados similares han sido reportados por Astrand<sup>33</sup>; Viña<sup>7</sup>; Hagerman<sup>15</sup>; Cotes<sup>21</sup>; Manero<sup>18</sup>; Lambrick<sup>17</sup>.

De acuerdo con algunos autores la FC es un buen estimador del VO<sub>2</sub> solo cuando el ejercicio ejecutado en la prueba se parece mucho al trabajo muscular realizado en la labor desempeñada en campo. Algunos afirman que la relación VO<sub>2</sub>/FC no es tan precisa cuando los valores de FC son superiores a 125 latidos por minuto (lpm) sin embargo, argumentan que la fiabilidad es buena a los valores de FC usualmente encontradas en los sitios de trabajo<sup>32</sup>. Estos aspectos como se indicó deben ser considerados al momento de realizar un estudio de campo donde se use la frecuencia cardíaca como indicador de carga física.

Las diferencias encontradas entre géneros en el presente estudio pueden ser explicadas por la cantidad y tamaño de la masa muscular que interviene, del tipo de contracciones musculares (estáticas o dinámicas), de la intensidad de las contracciones y de las características individuales. El volumen de oxígeno consumido durante el ejercicio físico es necesariamente dependiente de la carga y de la masa de los músculos en el trabajo. El género influye significativamente en el VO<sub>2</sub>máx. a través de los efectos producidos por el tamaño cardíaco y pulmonar, la masa del músculo esquelético y la concentración de hemoglobina. Una fuerte variable final que influye en el VO<sub>2</sub>máx, expresado generalmente en términos de ml de O<sub>2</sub> por kilogramo de peso por minuto (ml/kg/min) es el peso corporal. El exceso de tejido adiposo, que es relativamente inactivo



desde el punto de vista metabólico, reduce la tolerancia al esfuerzo, aumenta la fatiga y disminuye la capacidad aeróbica máxima. Se observó que porcentaje de grasa de las mujeres (23.9%) fue mayor que el de los hombres (11%), así mismo el porcentaje de peso muscular varió entre los géneros siendo 52% para los hombres y 41% para las mujeres, esto podría explicar las diferencias observadas entre géneros cuando se compararon  $VO_{2\text{máx.}}$ , el % de  $VO_2$ , y la FC.

## CONCLUSIONES

Este estudio mostró que el trabajo con todo el cuerpo consume en términos absolutos más oxígeno que el trabajo realizado específicamente con miembros inferiores o con miembros superiores, mientras que los miembros superiores tienen un mayor consumo de oxígeno relativo comparado con los miembros inferiores o con el trabajo realizado con todo el cuerpo  $VO_{2\text{máximo}}$  tiene diferencias muy significativas entre géneros, tanto para el trabajo con el cuerpo entero, como para miembros superiores o para miembros inferiores; sin embargo, el % $VO_2$  máximo no tiene diferencias entre géneros ni para miembros inferiores ni para miembros superiores, aspecto muy importante cuando se usa esta variable como indicador en el trabajo, ya que simplifica su uso al no presentarse estas diferencias entre géneros.

Los resultados indican que es factible predecir el  $VO_2$  máximo de cuerpo entero, de miembros superiores y de miembros inferiores en la población de estudio a partir de los valores de la frecuencia cardíaca.

Adicionalmente, la frecuencia cardíaca puede ser usada como estimador del consumo de oxígeno global y por segmentos corporales. La frecuencia cardíaca es un indicador sensible y no solo tiene la capacidad de evaluar la respuesta calórica o metabólica al trabajo sino que adicionalmente puede contar las variaciones ambientales como la temperatura o incluso el estrés mental.

Por lo tanto el uso de la frecuencia cardíaca a diferencia del consumo de oxígeno, permitiría tomar medidas correctivas y de prevención no solo sobre la carga metabólica, sino también sobre la carga térmica u otros factores que la alteran. Este hallazgo hace mucho más simple y económico el procedimiento de medición del  $VO_2$  máximo ya que ratifica la medición del consumo de oxígeno mediante métodos indirectos que usan la frecuencia cardíaca como estimador del  $VO_2$  máximo.

## RECOMENDACIONES

Se debe advertir que la mayoría de estudios anteriormente mencionados así como la presente investigación, han sido realizados en laboratorio donde se pueden controlar factores como la temperatura, la humedad, el ruido, la contaminación ambiental, entre otros, que pueden influir sobre la FC. Por lo tanto al momento utilizar la FC como estimador del  $VO_2$  con regresiones calculadas a partir de trabajos de laboratorio otros factores como el tipo de actividades realizadas durante el trabajo en terreno deben ser tenidos en cuenta.

## REFERENCIAS

1. Astrand PO, Saltin B. Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J Appl Physiol.* 1961; 16(6): 977-981.
2. Astrand I. Aerobic work during building work as related to individual aerobic work capacity. *Ergonomics.* 1967; 10 (3): 293
3. Beneke R, Dieter. B. The limits of human performance. *Essays Biochem.* 2008; 44, 11–26.
4. Mackey M, Maher C, Wong T, Collins K. Study protocol: the effects of work-site exercise on the physical fitness and work-ability of older workers. *BMC Musculoskeletal Disorders.* 2007; 8: 9.
5. Padilla C. La monitorización de la frecuencia cardíaca una herramienta sencilla y útil para evaluar el compromiso energético y el esfuerzo cardiovascular de los trabajadores. *GestioPolis.* 2006.
6. Pollice JBH, Ciafardini P, Cerri M, Tavolini S. Medida directa del consumo de oxígeno en la prueba cardiopulmonar del ejercicio comparada con la medición indirecta en ergometría. Rosario. Santa Fe. Argentina: Hospital Italiano, Instituto Gamma y Centro Médico Ipam, 1998.
7. Viña S. Y Gregori, E. 1987. *Ergonomía. C y E. La Habana.*
8. Aminoff T, Smolander J, Korhonen O, Louhevaara V. Prediction of acceptable physical work loads based on responses to prolonged arm and leg exercise, *Ergonomics.* 1998; 41: 109-120
9. Astrand, Per-Olof Y Kaar Rodahl. *Fisiología del Trabajo: Bases fisiológicas del Ejercicio.* 3ra.ed.; McGraw-Hill, Nueva York., Págs. 185-191, 354-390.
10. Graves JE, Pollock ML, Carroll JF. Exercise, age, and skeletal muscle function. *South Med J.* 1994; 87(5): 17-22.
11. Capodaglio P. Physical exercise in the prevention of musculoskeletal diseases in the elderly worker.

- Centro Studi Attività Motorie, Fondazione S. Maugeri, Clinica del Lavoro e della Riabilitazione, IRCCS, Istituto Scientifico di Pavia. Vol. (4); 2000: 379-386.
12. Kumar S. Localized muscle fatigue: review the three experiments. *Rev Bras Fisiot.* 2006; 10(1): 9-28
  13. Stenberg J, Astrand PO, Ekblom B, Royce J, Saltin B. Hemodynamic response to work with different muscle groups, sitting and supine. *J Appl Physiol.* 1967; 22: 61-70.
  14. Shephard Roy J, Bouhlef E, Vandewalle H, Monod H. Muscle mass as a factor limiting physical work. *J Appl Physiol.* 1988; 64(4): 1472-1479.
  15. Hagerman FC, Lawrence RA, Mansfield MC. A comparison of energy expenditure during rowing and cycling ergometry. *Med Sci Sports Exerc.* 1988; 20(5): 479-488.
  16. Reybrouck T, Heigenhauser GF, Faulkner JA. Limitations to maximum oxygen uptake in arms, leg, and combined arm-leg ergometry. *J Appl Physiol.* 1975; 38: 774-779.
  17. Lambrick D, Faulkner J, Rowlands A, Eston R. Prediction of maximal oxygen uptake from submaximal ratings of perceived exertion and heart rate during a continuous exercise test: the efficacy of RPE 13. *Eur J Appl Physiol.* 2009; 107: 1-9
  18. Manero Alfreto R. A simple model to whole evaluation of musculoskeletal disorders risk. *Rev Mapfre Med.* 2004; 15: 4-8
  19. Cao ZB, Miyatake N, Higuchi M, Ishikawa-Takata K, Miyachi M, Tabata I. Prediction of  $\dot{V}O_2$ max with daily step counts for Japanese adult women. *Eur J Appl Physiol.* 2009; 105(2): 289-296
  20. Gall B, Parkhouse W. Changes in physical capacity as a function of age in heavy manual work. *Ergonomics.* 2004; 47(6): 671-687.
  21. Cotes JE, Allsopp D, Sard F. Human cardiopulmonary responses to exercise: comparisons between progressive and steady state exercise, between arm and leg exercise, and between subjects differing in body weight. *J Exp Physiol.* 1969; 54: 211-222.
  22. Arngrimsson SA, Stewart DJ, Borrani F, Skinner KA, Cureton KJ. Relation of heart rate to percent  $\dot{V}O_2$  peak during submaximal exercise in the heat. *Appl Physiol.* 2003; 94(3): 1162-1168.
  23. Bouchard DR, Trudeau F. Reliability of the assessment of the oxygen/heart rate relationship during a workday. *Appl Ergonomics.* 2007; 38(5): 491-497.
  24. Spurr GB, Prentice AM, Murgatroyd PR, Goldberg GR, Reina JC, Christman NT. Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with indirect calorimetry. *Am J Clin Nutr.* 1988; 48(3): 552-559.
  25. Leonard WR, Katzmarzyk PT, Stephen MA, Ross AG. Comparison of the heart rate-monitoring and factorial methods: assessment of energy expenditure in highland and coastal Ecuadorean. *Am J Clin Nutr.* 1995; 61(5): 1146-1152.
  26. MacKinnon SN. Relating heart rate and rate of perceived exertion in tow simulated occupational task. *Ergonomics.* 1999; 42(5): 761-766.
  27. Garatachea N, Molinero O, Martínez-García R, Jiménez-Jiménez R, González-Gallego J, Márquez S. Feelings of well being in elderly people: Relationship to physical activity and physical function. *Arch Gerontol Geriatr.* 2009; 48(3): 306-312.
  28. Smolander J, Juuti T, Kinnunen ML, Laine K, Louhevaara V, Männikö K, et al. New heart rate variability-based method for the estimation of oxygen consumption without individual laboratory calibration: application example on postal workers. *Appl Ergon.* 2008; 39(3): 325-331.
  29. Chen YL, Lee YH. Effect of combined dynamic and static workload on heart rate recovery cost. *Ergonomics.* 1998; 41(1): 29-38.
  30. Asmussen E, Hemmingsen I. Determination of maximum working capacity at different ages in work with the legs or with the arms. *Scand J Clin Lab Invest.* 1958; 10(1): 67-71
  31. Kirk PM, Sullman MJ. Heart rate strain in cable hauler choker setters in New Zealand logging operations. *Appl Ergon.* 2001; 32(4): 389-398
  32. Bouchard DR, Trudeau F. Reliability of the assessment of the oxygen/heart rate relationship during a workday. *Appl Ergon.* 2007; 38(5): 491-497.
  33. Astrand PO, Saltin B. Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J Appl Physiol.* 1961; 16: 977-981
  34. Maas S, Kok ML J, Westra HG, Kemper HC. The validity of the use of heart rate in estimating oxygen consumption in static and in combined static/dynamic exercise. *Ergonomics.* 1989; 32(2): 141-148.
  35. Kaudewitz Hart R. Work standard assessment using heart rate monitoring. Institute of Industrial Engineers Solutions. 1998; 37-43
  36. Wu HC, Wang MJ. Relationship between maximum acceptable work time and physical workload. *Ergonomics.* 2002; 45(4): 280-289.
  37. De Rose, E. H. Técnicas de avaliação da composição corporal. *Med. Esporte.* 1973; 1(1): 45-48.
  38. Shephard RJ. PAR-Q, Canadian home fitness test and exercise screening alternatives. *Sports Med.* 1988; 5(3): 185-195.