

## Comportamiento Cardiorrespiratorio en Niños Saludables durante el Ejercicio Progresivo Máximo

Danilo Marcelo Leite do Prado, Ana Maria F. Wanderley Braga, Maria Urbana Pinto Rondon, Luciene Ferreira Azevedo, Luciana D. N. J. Matos, Carlos Eduardo Negrão, Ivani Credidio Trombetta

Instituto do Coração da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo - InCor-HCFMUSP, São Paulo, SP - Brasil

### Resumen

**Fundamento:** Poco se sabe acerca de la respuesta cardiorrespiratoria y metabólica en niños saludables durante prueba de esfuerzo progresivo máximo.

**Objetivo:** Probar la hipótesis de que los niños presentan respuestas diferentes en los parámetros cardiorrespiratorios y metabólicos durante la prueba de esfuerzo progresivo máximo en comparación con los adultos.

**Métodos:** Veinticinco niños saludables (sexo, 15M/10F; edad,  $10,2 \pm 0,2$ ) y 20 adultos saludables (sexo, 11M/9F; edad,  $27,5 \pm 0,4$ ) fueron sometidos a una prueba cardiopulmonar progresiva en cinta ergométrica hasta el agotamiento para determinar la capacidad aeróbica máxima y el umbral anaeróbico ventilatorio (Uan).

**Resultados:** La carga de pico ( $5,9 \pm 0,1$  vs  $5,6 \pm 0,1$  mph, respectivamente;  $P > 0,05$ ), tiempo de ejercicio ( $9,8 \pm 0,4$  vs  $10,2 \pm 0,4$  min, respectivamente,  $P > 0,05$ ), y aptitud cardiorrespiratoria ( $VO_2$  pico,  $39,4 \pm 2,1$  vs  $39,1 \pm 2,0$  ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>, respectivamente,  $P > 0,05$ ) fueron similares en niños y adultos. En el umbral anaeróbico ventilatorio, la frecuencia cardíaca,  $VO_2$  ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>, la frecuencia respiratoria (FR), el espacio muerto funcional estimado (VD/VT), el equivalente ventilatorio para el oxígeno (VE/ $VO_2$ ) y presión espiratoria final de oxígeno (PETO<sub>2</sub>) fueron mayores en los niños, mientras que el volumen corriente (VC), pulso de O<sub>2</sub> y la presión espiratoria final de dióxido de carbono (PETCO<sub>2</sub>) fueron menores. En el pico del ejercicio, los niños presentaron FR y VD/VT superiores. Con todo, el pulso de O<sub>2</sub>, el VC, la ventilación pulmonar, el PETCO<sub>2</sub> y la cociente de intercambio respiratorio fueron menores en niños que en adultos.

**Conclusión:** Respuestas cardiorrespiratorias y metabólicas durante la prueba de esfuerzo progresivo son diferentes en niños en comparación con los adultos. Específicamente, estas diferencias sugieren que los niños tienen menor eficiencia cardiovascular y respiratoria. Con todo, los niños presentaron mayor eficiencia metabólica durante la prueba de esfuerzo. En resumen, a pesar de las diferencias observadas, los niños mostraron niveles similares de capacidad de esfuerzo, al compararlos con los adultos. (Arq Bras Cardiol 2010;94(4): 477-483)

**Palabras clave:** Niños, prueba de esfuerzo, ventilación, metabolismo, estudio comparativo.

### Introducción

Los niños no son adultos en miniatura; éstos crecen, y como tal, las respuestas fisiológicas y metabólicas al esfuerzo varían de acuerdo y a medida que se desarrollan a lo largo de la infancia y la adolescencia<sup>1-5</sup>. Con relación al perfil bioenergético, diversos estudios<sup>1,3,6-8</sup> sugirieron que los niños tienen menor capacidad anaeróbica o glucolítica para producir adenosín trifosfato (ATP) durante el ejercicio físico. De acuerdo con Eriksson et al<sup>9</sup>, este metabolismo glucolítico inmaduro puede ser explicado por la menor actividad de enzimas anaeróbicas, tales como lactato deshidrogenasa y

fosfofructoquinasa-1. No obstante, otras investigaciones<sup>10,11</sup> mostraron que los niños pueden adaptarse mejor al ejercicio aeróbico que los adultos porque su gasto energético parece depender más del metabolismo oxidativo. Además de ello, algunos estudios<sup>9,12</sup> relataron niveles más elevados de enzimas oxidativas, como la succinato deshidrogenasa y la isocitrato deshidrogenasa, en niños que en adultos

Además de ello, investigaciones previas presentaron diferencias en la respuesta ventilatoria y de intercambio gaseoso pulmonar durante el ejercicio físico en niños. Por ejemplo, estudios anteriores<sup>4,13,14</sup> observaron diferencias en el control respiratorio entre adultos y niños. Estas diferencias se deben al hecho de que la PCO<sub>2</sub> arterial es regulada en niveles más bajos en niños<sup>4,13,15</sup>, y tiene mayor impulso ventilatorio central neural<sup>16</sup> resultando en mayores frecuencias ventilatorias para una determinada demanda metabólica. Además de ello, se relató<sup>17</sup> que los niños presentan mayores valores de frecuencia cardíaca y menor volumen sistólico que los adultos en una determinada carga submáxima.

#### Correspondencia: Danilo Marcelo Leite do Prado •

Incor - Unidade de Reabilitação Cardiovascular e Fisiologia do Exercício  
Av. Dr. Enéas C. Aguiar, 44 - Bl. 02 - Andar (-1) - 05403-000 - São Paulo,  
SP - Brasil

E-mail: danilomprado@usp.br

Artículo recibido el 23/09/08; revisado recibido el 08/03/09; aceptado el 18/08/09.

Por lo tanto, resulta evidente que las respuestas de algunas variables fisiológicas, que incluyen parámetros cardiovasculares, ventilatorios y metabólicos, dependen del estado de madurez, haciendo su evaluación más compleja. La utilización de un sistema computarizado con mediciones ventilatorias directas permite una evaluación de las variables fisiológicas y metabólicas de forma no invasiva. Por ello, se transformó en una importante herramienta que proporciona informaciones sobre las respuestas cardiorrespiratorias durante esfuerzos incrementales en la población pediátrica.

Así, el objetivo de este estudio fue probar la hipótesis de que las respuestas cardiorrespiratorias y metabólicas en las diferentes fases de la prueba de esfuerzo progresivo máximo son diferentes en niños en comparación con adultos.

## Métodos

### Población y diseño del estudio

Este estudio utilizó una muestra de individuos que entraron a la base de datos de evaluación cardiorrespiratoria en un hospital de referencia, recolectada de 2003 a 2006, en un diseño retrospectivo y transversal. Fueron invitados a participar en el estudio ochocientos ochenta individuos que satisfacían los siguientes criterios de exclusión/inclusión: 1) edad entre 8 a 12 años para niños y 25 a 30 años para adultos; 2) ausencia de sobrepeso u obesidad<sup>18</sup>, 3) sedentarios (ej., aquellos que no relataron ninguna actividad física regular); 4) ausencia de medicación; 5) ausencia de evidencia de enfermedad metabólica hormonal, respiratoria y cardiovascular; 6) no fumadores; y 7) alcance de esfuerzo máximo durante la prueba de esfuerzo progresivo. Los individuos fueron considerados como habiendo alcanzado el esfuerzo máximo en caso de observar dos de los siguientes criterios:

Para niños<sup>19</sup>: 1) evidencia subjetiva de agotamiento (marcha inestable, rubor facial, hiperpnea); 2) frecuencia cardíaca de pico > 190 latidos/min; y 3) cociente de intercambio respiratorio máximo > 1,00. Para adultos<sup>20,21</sup>: 1) frecuencia cardíaca de pico > 95% para la máxima prevista por edad; 2) cociente de intercambio respiratorio máximo  $\geq 1,10$ ; y 3) alcance de un nivel máximo de  $VO_2$ . Todos los individuos fueron instruidos a hacer ayuno por 2 horas antes de la prueba de esfuerzo progresivo máximo, además de abstenerse de cafeína y alcohol. Además de ello, los individuos fueron instruidos a evitar actividad física intensa el día anterior a la prueba. El estado de madurez no se evaluó en esta investigación. El protocolo de estudio fue aprobado por los Comités de Ética en Investigación con Seres Humanos del Instituto del Corazón de la Facultad de Medicina de la Universidad de São Paulo.

**Medidas antropométricas** - El peso corporal se midió utilizando una balanza mecánica (Filizola modelo 31-São Paulo, Brasil) con apreciación de 0,1 kg, con individuos vestidos con camisetas y shorts ligeros. La altura corporal se midió utilizando el estadiómetro Filizola (modelo 31, São Paulo, Brasil) con apreciación de 0,1 centímetro.

**Evaluación cardiorrespiratoria** - Se realizó una prueba de esfuerzo progresivo máximo en cinta programable (Quinton Q65, modelo 645, Quinton Instruments Co., Washington,

EEUU). Variables ventilatorias y de intercambio gaseoso fueron medidas continuamente durante la evaluación cardiorrespiratoria a cada respiración utilizando un procedimiento de espirometría en circuito abierto en un sistema de esfuerzo basado (SensorMedics - modelo Vmax 229 Instrumento de Prueba de Esfuerzo de Función Pulmonar/Cardiopulmonar, Yorba Linda, CA, EEUU). Las siguientes variables se obtuvieron a cada respiración y se expresaron como promedios 30-s: consumo de oxígeno ( $VO_2$  l.min<sup>-1</sup> y ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> STPD); producción de dióxido de carbono ( $VCO_2$  l. min<sup>-1</sup> y ml. kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> STPD); cociente de intercambio respiratorio (RER), ventilación pulmonar ( $VE$  l.min<sup>-1</sup> BTPS), volumen corriente ( $VC$  l.min<sup>-1</sup> BTPS), frecuencia respiratoria (FR respiración/min); espacio muerto funcional ( $VD/VT$ ), equivalente ventilatorio para el oxígeno y dióxido de carbono ( $VE/VO_2$  y  $VE/VCO_2$ ) y presiones espiratorias finales de oxígeno y dióxido de carbono ( $PET_{O_2}$  y  $PET_{CO_2}$  mmHg). Antes de cada prueba, los analizadores de gas fueron calibrados utilizando gases de concentración conocida de dióxido de carbono y oxígeno balanceados con nitrógeno y el medidor de flujo se calibró con una jeringa de 3 litros. La frecuencia cardíaca se registró continuamente en reposo durante la prueba de esfuerzo progresivo y durante el período de recuperación utilizando ECG de 12 derivaciones (Marquette Medical Systems, Inc. CardioSoft, Wisconsin, EEUU). Todas las pruebas del estudio se realizaron en el mismo laboratorio, en las mismas condiciones.

**Protocolo de la prueba de esfuerzo** - Los participantes realizaron una prueba de esfuerzo progresivo en cinta ergométrica en plano inclinado hasta el agotamiento. La carga de esfuerzo (velocidad y/o inclinación) fue aumentada cada 60s con la conclusión de la parte incremental de la prueba de esfuerzo entre 8 a 12 minutos aproximadamente.

**Umbral anaeróbico ventilatorio** - El umbral anaeróbico ventilatorio ( $U_{an}$ ) fue determinado para ocurrir en el punto de equilibrio entre el aumento de la producción de dióxido de carbono y  $VO_2$  (V-Slope) o en el punto en el cual el equivalente ventilatorio para el oxígeno alcanzase el valor mínimo y comenzara a subir sin aumento concomitante del equivalente ventilatorio para dióxido de carbono<sup>22,23</sup>.

**Consumo de oxígeno de pico** - El  $VO_{2pico}$  se definió como el  $VO_2$  máximo alcanzado al final del período de esfuerzo en el cual el individuo llega al agotamiento (de la escala analógica del esfuerzo percibido hasta la escala de Borg).

**Protocolo experimental** - Inicialmente, los individuos se sometieron a ECG en reposo. Posteriormente, éstos realizaron la prueba de esfuerzo progresivo en cinta ergométrica en la siguiente secuencia: 1) La adaptación al equipo se observó mediante los parámetros ventilatorios durante algunos minutos; 2) Después, se recolectaron los parámetros cardiorrespiratorios por 2 minutos en reposo y 2 minutos en el calentamiento; 3) A continuación, se inició la prueba de esfuerzo incremental; y 4) Se finalizó con seis minutos de recuperación monitoreada.

### Análisis estadístico

Los datos se presentan como promedio  $\pm$  EE. Se utilizó el test *t* de Student para datos no pareados, para analizar las

## Artículo Original

características físicas, carga, tiempo de esfuerzo y la diferencia relativa (porcentaje) de las variables cardiorrespiratorias. El test chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) se utilizó para evaluar las diferencias de sexo entre niños y adultos. Las respuestas cardiorrespiratorias durante la prueba de esfuerzo progresivo se analizaron entre dos grupos en reposo. Uan y pico de ejercicio se analizaron utilizando el análisis de varianza de dos factores (ANOVA) con medidas repetidas para probar las posibles diferencias entre los grupos. Al encontrar algún tipo de significancia, se realizó la comparación con el test post-hoc de Scheffé.

Valores de probabilidad  $< 0,05$  fueron considerados estadísticamente significativos.

Para ambos grupos, la diferencia relativa se calculó para las siguientes variables cardiorrespiratorias: consumo absoluto de oxígeno ( $\text{VO}_2$  l.min<sup>-1</sup>), frecuencia respiratoria (FR), ventilación pulmonar (VE), producción de dióxido de carbono ( $\text{VCO}_2$  l.min<sup>-1</sup>), volumen corriente (VC) y cociente de intercambio respiratorio (RER) para intervalos entre reposo hasta Uan, Uan hasta el pico del ejercicio, y reposo hasta el pico del ejercicio.

## Resultados

**Datos basales** - Se consideraron para este estudio, 25 niños y 20 adultos que observaron los criterios de inclusión/exclusión. La Tabla 1 presenta las características físicas de los individuos. Como se esperaba, encontramos diferencias de edad, altura, peso, superficie corporal (SC) e índice de masa

corporal (IMC). No obstante, no observamos diferencias de sexo (Tabla 1).

**Carga de trabajo** - En el Uan, los niños presentaron carga y tiempo de esfuerzo significativamente mayores (velocidad e inclinación) que los adultos. Con todo, en el esfuerzo de pico esas variables eran similares en los dos grupos (Tabla 2).

**Datos cardiorrespiratorios** - Las variables cardiorrespiratorias en reposo fueron similares entre los grupos (Tabla 3, Figura 1 y 2). No obstante, durante la prueba de esfuerzo, las respuestas en el umbral anaeróbico ventilatorio (Uan) fueron significativamente mayores para FC,  $\text{VO}_2$  ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>, FR,  $\text{VCO}_2$  ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>, VD/VT, VE/ $\text{VO}_2$ , VE/ $\text{VCO}_2$  y  $\text{PETO}_2$ , mientras que VC, pulso de  $\text{O}_2$  y  $\text{PETCO}_2$  presentaron ligero aumento en los niños en comparación con los adultos. En el pico del ejercicio se observaron diferencias significativamente mayores en niños para las variables FR, VD/VT y VE/ $\text{VCO}_2$ . No obstante, para las variables pulso de  $\text{O}_2$ ,  $\text{VO}_2$  l.min<sup>-1</sup>, VC, VE,  $\text{VCO}_2$  l.min<sup>-1</sup>,  $\text{VCO}_2$  ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>, RER y  $\text{PETCO}_2$ , los niños presentaron valores significativamente más bajos que los adultos.

Además de ello, un análisis posterior de las respuestas cardiorrespiratorias durante la prueba de esfuerzo progresivo para el grupo por tiempo de interacción reveló diferencias significativas entre los dos grupos en todas las variables incluidas en este estudio (Tabla 3, Figura 1 y 2).

**Diferencias relativas en las variables cardiorrespiratorias** - La Figura 3 presenta cambios en las variables cardiorrespiratorias entre reposo al Uan, Uan al pico del ejercicio y reposo al

Tabla 1 - Características físicas

Variables	Niños (n = 25)	Adultos (n = 20)	P
Sexo (m/f)	15/10	11/9	0.74
Edad (años)	10.2 ± 0.2	27.5 ± 0.4	0.001
Peso (kg)	38.6 ± 1.6	64.2 ± 2.2	0.001
Altura (cm)	143.4 ± 0.0	171.5 ± 0.0	0.001
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	18.7 ± 0.5	21.7 ± 0.4	0.001
SC (m <sup>2</sup> )	1.41 ± 0.0	1.92 ± 0.0	0.001

Los valores son promedios + EE. IMC, índice de masa corporal; SC, superficie corporal.

Tabla 2 - Carga y tiempo de esfuerzo en el Uan y pico del ejercicio

Variable	Uan		Pico	
	Niños	Adultos	Niños	Adultos
Velocidad (mph)	4.9 ± 0.2*	4.3 ± 0.1	5.9 ± 0.1	5.6 ± 0.1
Inclinación (%)	6.7 ± 1.1*	3.6 ± 0.4	14.4 ± 1.1	15.7 ± 0.7
Tiempo de esfuerzo (min)	6.2 ± 0.6*	4.3 ± 0.3	9.8 ± 0.4	10.2 ± 0.4

Los valores son promedios + EE. \* P < 0,05 vs adultos. Uan, umbral anaeróbico ventilatorio.

Tabla 3 - Variables cardiorrespiratorias en reposo, Uan y pico del ejercicio en niños y adultos

Variables	Reposo		Uan		Pico		Interacción
	Niños	Adultos	Niños	Adultos	Niños	Adultos	
FC lpm	89.1 ± 4.0	87.5 ± 5.8	159.1 ± 5.0*	132.7 ± 3.3	191.7 ± 2.6	188.4 ± 2.2	0.001
Pulso $\text{O}_2$ ( $\text{O}_2/\text{FC} \times 10^3$ )	2.3 ± 0.2	3.6 ± 0.6	6.8 ± 0.5*	10.0 ± 0.7	8.0 ± 0.6*	13.4 ± 0.9	0.001
RER	0.85 ± 0.0	0.85 ± 0.0	0.92 ± 0.0	0.90 ± 0.0	1.02 ± 0.0*	1.20 ± 0.0	0.001
$\text{VO}_2$ l.min <sup>-1</sup>	0.20 ± 0.0	0.28 ± 0.0	1.10 ± 0.1	1.32 ± 0.1	1.52 ± 0.1*	2.52 ± 0.2	0.001
$\text{VO}_2$ ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup>	5.3 ± 0.4	4.4 ± 0.4	28.4 ± 2.2*	20.6 ± 1.4	39.4 ± 2.1	39.1 ± 2.0	0.004
$\text{VCO}_2$ l.min <sup>-1</sup>	0.17 ± 0.0	0.24 ± 0.0	1.02 ± 0.1	1.20 ± 0.1	1.54 ± 0.1*	3.03 ± 0.2	0.001
$\text{VCO}_2$ ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup>	4.5 ± 0.4	3.7 ± 0.4	26.3 ± 2.2*	18.6 ± 1.5	40.2 ± 2.1*	47.1 ± 2.6	0.001

Los valores son promedios ± EE. FC, frecuencia cardíaca; RER, cociente de intercambio respiratorio;  $\text{VO}_2$ , consumo de oxígeno;  $\text{VCO}_2$ , producción de dióxido de carbono. \* P ≤ 0,05 vs adultos.

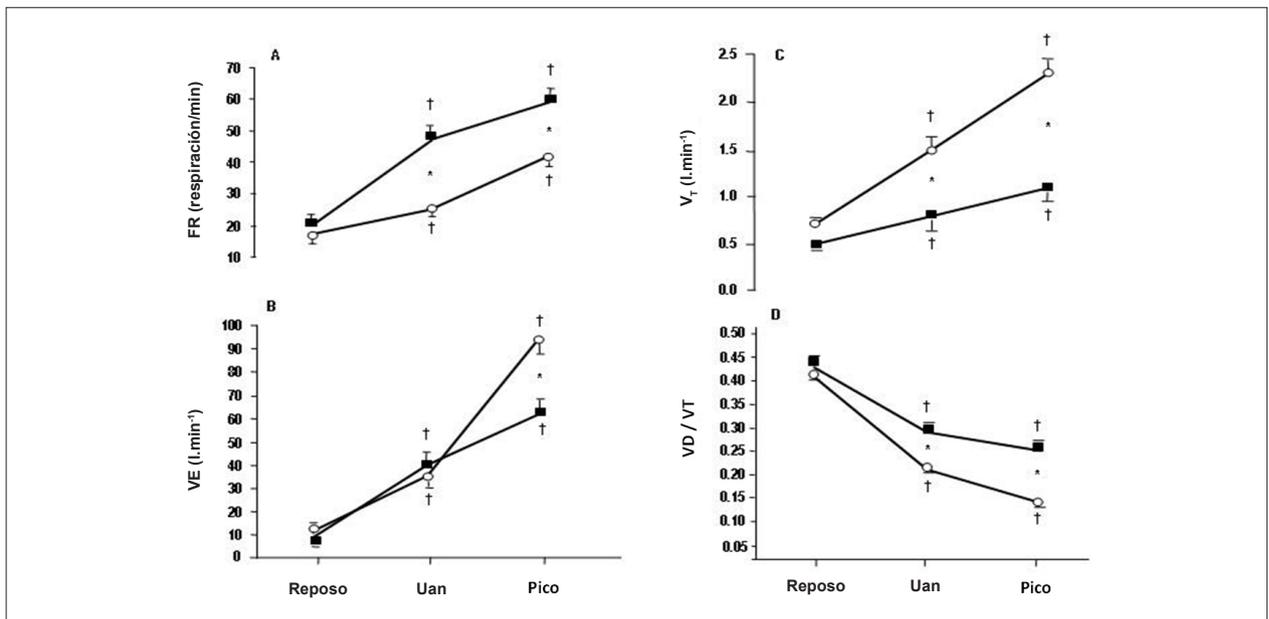


Fig. 1 - A) FR – frecuencia respiratoria; B) VE - ventilación pulmonar; C) VC - volumen corriente; y D) VD/VT- espacio muerto funcional estimado durante el esfuerzo incremental (promedio  $\pm$  EE) (cuadrados = niños; círculos abiertos = adultos). †  $P \leq 0,05$  vs reposo, \*  $P \leq 0,05$  entre grupos.

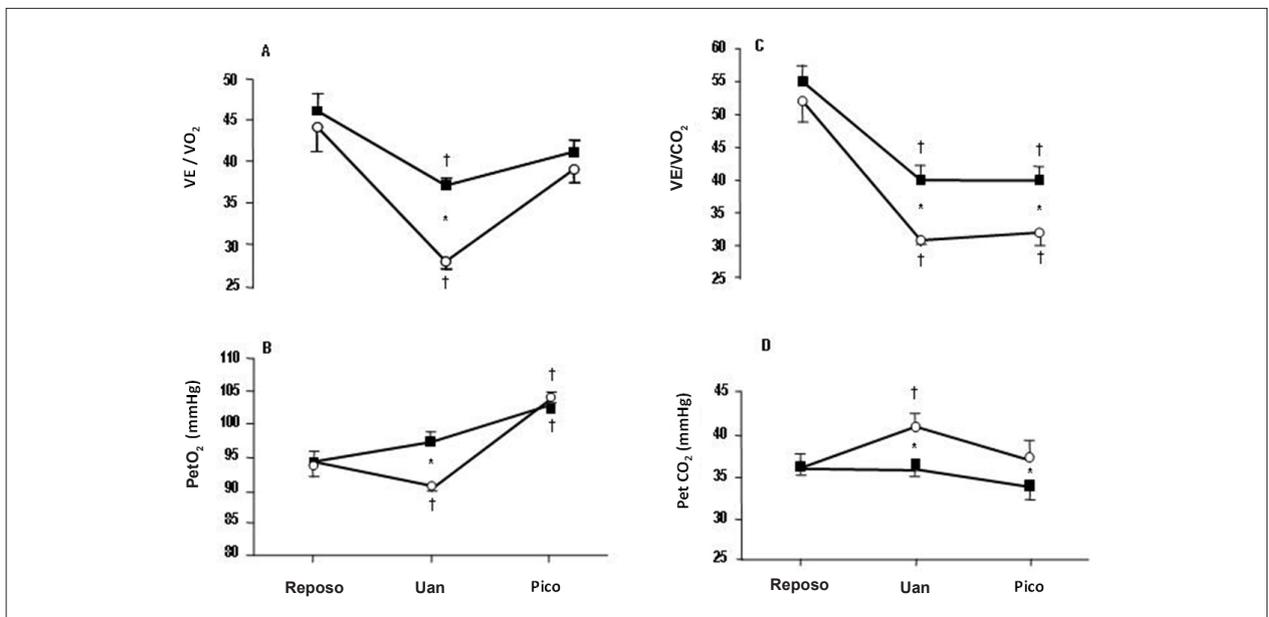


Fig. 2 - A) VE/VO<sub>2</sub> - equivalente ventilatorio para el oxígeno; B) PetO<sub>2</sub> - presión espiratoria final de oxígeno; C) VE/VCO<sub>2</sub> - equivalente ventilatorio para dióxido de carbono; y D) PetCO<sub>2</sub> - presión espiratoria final de dióxido de carbono durante el esfuerzo incremental (promedio  $\pm$  EE) (cuadrados = niños; círculos abiertos = adultos). †  $P \leq 0,05$  vs reposo, \*  $P \leq 0,05$  entre grupos.

pico del ejercicio. El análisis estadístico reveló un aumento porcentual de VE y FR entre el reposo al Uan significativamente mayor en los niños en comparación con los adultos. Sin embargo, para la variable VC, los niños presentaron valores significativamente menores. Para el intervalo entre el Uan al pico del ejercicio, el porcentaje de aumento del VO<sub>2</sub> l·min<sup>-1</sup>, FR, VE, VCO<sub>2</sub> l·min<sup>-1</sup>, VC y RER fue significativamente menor en los niños. El análisis estadístico también evidenció que el porcentaje de aumento del VCO<sub>2</sub> l·min<sup>-1</sup>, VC, y RER entre el

reposo al pico del ejercicio fue significativamente menor en los niños.

## Discusión

Los principales hallazgos del presente estudio son los siguientes: 1) los niños tienen diferentes respuestas cardiovasculares, ventilatorias y metabólicas durante la prueba de esfuerzo progresivo máximo en comparación con

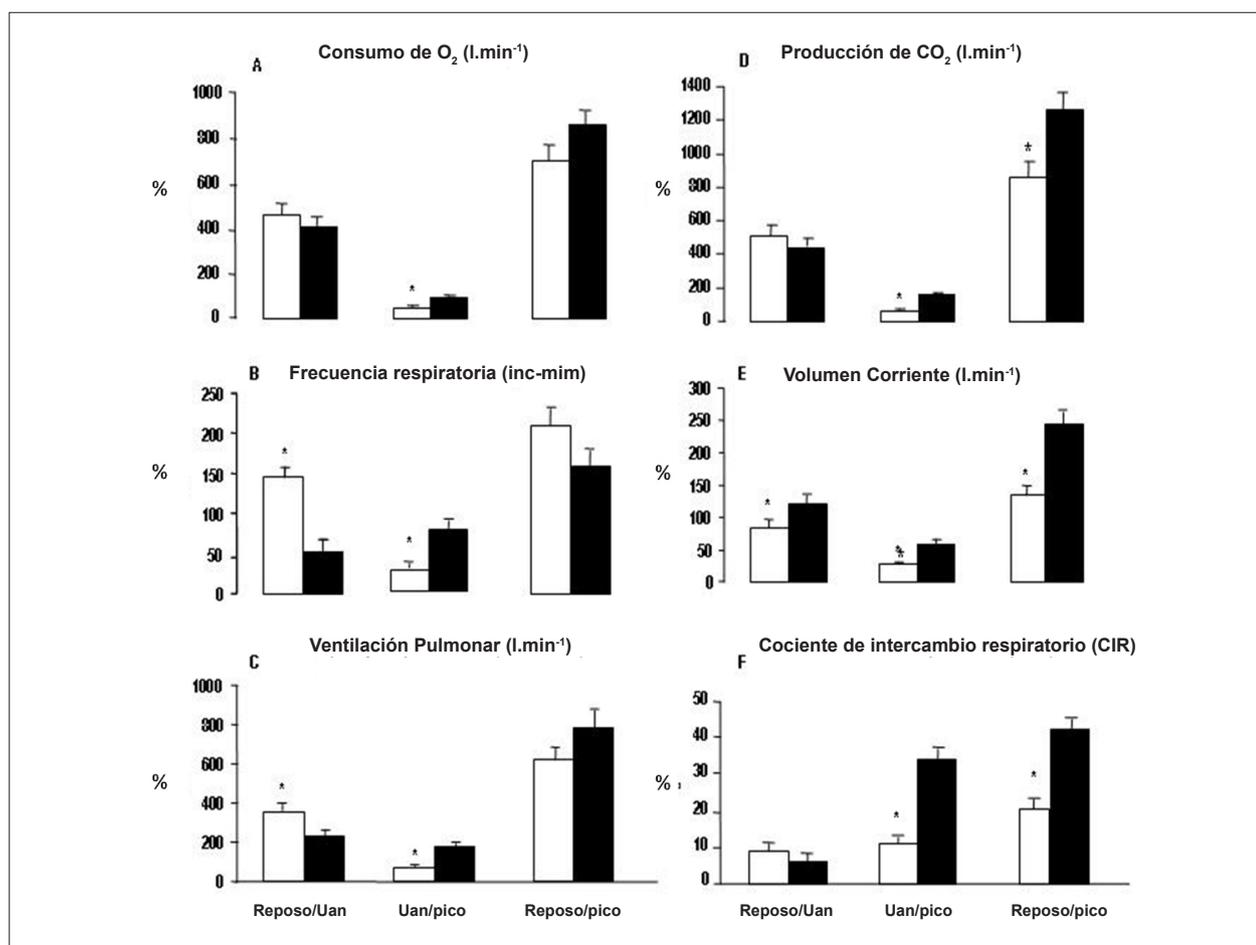


Fig. 3 - Diferencia porcentual entre el reposo al umbral anaeróbico ventilatorio (reposo/Uan), umbral anaeróbico ventilatorio al pico del ejercicio (Uan/pico) y reposo al pico del ejercicio (reposo/pico) para los niños (barras blancas) y adultos (barras negras). (promedio ± EE) \* P < 0,05 vs adultos.

los adultos; y 2) los niños presentaron niveles similares de condicionamiento aeróbico relativo y capacidad de esfuerzo al compararlos con los adultos. En cuanto a las diferencias en las respuestas cardiovasculares, los niños presentaron mayores respuestas cronotrópicas y menores respuestas inotrópicas durante el esfuerzo máximo (Tabla 3). De hecho, estos resultados son compatibles con relatos anteriores<sup>17,24</sup> que revelaron en niños mayores valores de frecuencia cardíaca en la misma carga a la que fueron sometidos los adultos. Este aumento de la frecuencia cardíaca observada en la población pediátrica es un mecanismo compensatorio para un menor volumen cardíaco y menor volumen sistólico<sup>17,24</sup>. Además de ello, esta respuesta puede estar relacionada con la mayor sensibilidad de los quimiorreceptores periféricos asociada a la acumulación de metabolitos en los músculos sometidos al esfuerzo<sup>15</sup>. Por otro lado, los niños presentaron valores inferiores de pulso O<sub>2</sub> durante el esfuerzo máximo en comparación con los adultos. Aunque el pulso O<sub>2</sub> sea sólo una estimativa indirecta del volumen sistólico, se sugiere que esta constatación pueda estar relacionada con los siguientes factores: 1) menor tamaño del corazón; 2) menor volumen sistólico; 3) menor masa muscular resultando en retorno venoso atenuado (precarga) observados en niños<sup>24</sup>.

Además de ello, nuestro estudio revela alteraciones en las respuestas ventilatorias durante el esfuerzo progresivo, siendo que los niños muestran menor eficiencia ventilatoria. De hecho, fueron encontrados valores significativamente mayores para la frecuencia respiratoria y menores valores de volumen corriente durante la prueba de esfuerzo en niños (Figura 1A y 1C). Además, el grupo de los niños presenta mayores valores para los equivalentes ventilatorios de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> para un determinado gasto energético, lo que sugiere un aumento de la demanda ventilatoria durante el esfuerzo físico (Figura 2A y 2C, respectivamente). Estos resultados demuestran que el patrón ventilatorio en la población pediátrica depende del estado de madurez<sup>2,25-27</sup>. Dentro del mismo contexto, Armon et al<sup>27</sup> observaron en niños mayores niveles de ventilación pulmonar para un determinado VCO<sub>2</sub> con relación a los adultos. ¿Qué explicaría esos resultados? Existen algunas evidencias de que niños más jóvenes tienen un set point más bajo para la modulación de la presión parcial de dióxido de carbono arterial<sup>4,13-15</sup> y un mayor impulso ventilatorio central<sup>16</sup>, resultando en mayor respuesta ventilatoria para una determinada demanda metabólica.

Los resultados encontrados en nuestro estudio están de acuerdo con esa premisa, ya que la diferencia relativa

(porcentual) no mostró diferencias para el  $VCO_2$  en reposo al Uan entre los grupos (Figura 3D). No obstante, la ventilación pulmonar mostró mayor aumento, sugiriendo mayor impulso ventilatorio para un determinado  $VCO_2$  en niños (Figura 3C). Además de ello, el grupo de niños mostró diferentes respuestas de presiones espiratorias finales de oxígeno y dióxido de carbono durante el esfuerzo progresivo (Figura 2B y Figura 2D, respectivamente). Aunque la  $PETO_2$  sea apenas una estimativa indirecta de la  $PO_2$  alveolar y arterial<sup>28,29</sup>, el hecho de que la  $PETO_2$  fue mayor en el Uan en los niños (Figura 2B) puede ser atribuido a un mayor impulso ventilatorio con aumento subsiguiente en la  $PO_2$  alveolar. De hecho, la población pediátrica puede estar bajo una relativa hiperventilación alveolar durante el ejercicio. En otras palabras, se observa una ventilación excesiva durante el esfuerzo físico<sup>30,31</sup>.

Por otro lado, diversos autores<sup>28,29</sup> sugieren que las respuestas de  $PETO_2$  pueden verse influenciadas tanto por la  $VE/VO_2$  como por el patrón respiratorio utilizado durante el ejercicio. Por ejemplo, la disminución o aumento de  $VE/VO_2$  durante la prueba de esfuerzo también altera la  $PETO_2$  de la misma forma. Para la variable  $PETCO_2$ , los niños mostraron valores significativamente más bajos que los adultos durante el esfuerzo progresivo (Figura 2D). Aunque la  $PETCO_2$  sea una estimativa indirecta de la  $PCO_2$  alveolar y arterial<sup>28,29</sup>, los resultados presentados en nuestro estudio son compatibles con relatos anteriores<sup>31</sup>. Ohuchi et al<sup>31</sup> demostraron que la magnitud y el cambio en la diferencia entre la presión espiratoria final y la presión parcial de dióxido de carbono arterial  $P(ET-a)DCO_2$  durante el esfuerzo progresivo fue menor con los niños presentando valores más bajos que los adultos, tanto en el umbral anaeróbico como en el pico del ejercicio. Presumimos que este resultado puede ser explicado por una menor eficiencia ventilatoria<sup>4,13,25-27</sup> y una menor capacidad glucolítica durante el ejercicio en niños al compararlos con adultos<sup>1-3,6-9</sup>.

Es interesante que otros autores<sup>29</sup> sugieran que valores mayores de frecuencia respiratoria estén íntimamente relacionados con la disminución del tiempo espiratorio y como consecuencia de un cese prematuro del aumento de  $PETCO_2$  durante el esfuerzo progresivo. De hecho, nuestros resultados corroboran esta explicación, ya que observamos, durante el esfuerzo progresivo, mayor frecuencia respiratoria en el grupo de los niños. Además de ello, esta menor eficiencia ventilatoria observada en niños puede ser reforzada con la menor caída de  $VD/VT$  durante el esfuerzo progresivo, sugiriendo que hay mayor ventilación en el espacio muerto anatómico (Figura 1D).

Además de ello, de acuerdo con una investigación anterior<sup>32</sup>, nuestro estudio revela además diferencias en las respuestas metabólicas durante el esfuerzo físico progresivo en niños. Observamos valores significativamente más bajos para el cociente de intercambio respiratorio en el pico del ejercicio en el grupo de los niños (Tabla III). Además de ello, para la diferencia relativa (porcentual), los niños presentaron menor

aumento de RER, tanto de reposo al pico de ejercicio como en el Uan al pico del ejercicio (Figura 3F). Estos resultados sugieren que los niños tienen menor capacidad glucolítica que los adultos. La bibliografía presenta diversas razones posibles para esta inmadurez en el metabolismo anaeróbico en niños observada durante el ejercicio físico, entre ellas: 1) menores niveles de glucógeno muscular<sup>5-7,33</sup>; 2) actividad reducida de fosfofructoquinasa-1 y lactato deshidrogenasa<sup>1-3,6-9</sup>; y 3) mayor proporción de fibras de contracción lenta<sup>1</sup>.

Curiosamente, a pesar de esas diferencias en las respuestas cardiovasculares y ventilatorias durante el esfuerzo progresivo, el grupo de los niños mostró niveles de capacidad de esfuerzo similares a los adultos (Tabla 2). Sugerimos que estos resultados puedan estar relacionados a una mayor eficiencia metabólica en niños y, como consecuencia, menor fatiga muscular, pues presentaron menor dependencia del metabolismo glucolítico durante la prueba de esfuerzo.

## Conclusión

Como conclusión, estos resultados indican que las respuestas cardiovasculares, ventilatorias y metabólicas durante la prueba de esfuerzo progresivo máximo son diferentes entre niños y adultos. Específicamente, los resultados encontrados en el presente estudio sugieren que los niños tienen menor eficiencia cardiovascular y respiratoria. Por otro lado, los niños presentaron mayor eficiencia metabólica durante la prueba de esfuerzo progresivo. En resumen, a pesar de las diferencias observadas, los niños mostraron niveles similares de capacidad de esfuerzo, al compararlos con los adultos.

## Limitaciones

Reconocemos algunas limitaciones en el presente estudio. La principal limitación es que nuestros pacientes fueron seleccionados a partir de un banco de datos, en un estudio retrospectivo transversal. Informaciones sobre la relación entre la muestra y la población son limitadas en esta condición de muestreo no probabilístico. Siendo así, no podemos extrapolar los resultados de este estudio para la población.

## Potencial Conflicto de Intereses

Declaro no haber conflicto de intereses pertinentes.

## Fuentes de Financiación

El presente estudio no tuvo fuentes de financiación externas.

## Vinculación Académica

No hay vinculación de este estudio a programas de postgrado.

## Referencias

1. Boisseau N, Delamarche P. Metabolic and hormonal responses to exercise in children and adolescents. *Sports Med.* 2000; 30 (6): 405-22.
2. Malina R, Bouchard C. Growth, maturation, and physical activity. Champaign (IL): Human Kinetics Publishers; 1991.

3. Falgairette G, Bedu M, Fellmann N, Van-Praagh E, Coudert J. Bio-energetic profile in 144 boys aged from 6 to 15 years with special reference to sexual maturation. *Eur J Appl Physiol*. 1991; 62: 151-6.
4. Cooper DM, Kaplan MR, Baumgarten L, Weiler-Ravell D, Whipp BJ, Wasserman K. Coupling of ventilation and CO<sub>2</sub> production during exercise in children. *Pediatr Res*. 1987; 21: 568-72.
5. Prado DM, Dias RG, Trombetta IC. Cardiovascular, ventilatory, and metabolic parameters during exercise: differences between children and adults. *Arq Bras Cardiol*. 2006; 87 (4): e149- e155.
6. Kuno S, Takahashi H, Fujimoto K, Akima H, Miyamaru M, Nemoto I, et al. Muscle metabolism during exercise using phosphorus- 31 nuclear magnetic resonance spectroscopy in adolescents. *Eur J Appl Physiol*. 1995; 70: 301-4.
7. Inbar O, Bar-Or O. Anaerobic characteristics in male children and adolescents. *Med Sci Sports Exerc*. 1986; 18 (3): 264-9.
8. Zanconato S, Buchthal S, Barstow TJ, Cooper DM. 31P- magnetic resonance spectroscopy of leg muscle metabolism during exercise in children and adults. *J Appl Physiol*. 1993; 74 (5): 2214-8.
9. Eriksson BO, Gollnick PD, Saltin B. Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11- 13 years old. *Acta Physiol Scand*. 1973; 87: 485-97.
10. Martinez LR, Haymes EM. Substrate utilization during treadmill running in prepubertal girls and women. *Med Sci Sports Exerc*. 1992; 24 (9): 975-83.
11. Rowland TW, Auchinachie JA, Keenan TJ, Green GM. Physiologic responses to treadmill running in adult and prepubertal males. *Int J Sports Med*. 1987; 8 (4): 292-7.
12. Haralambie G. Enzyme activities in skeletal muscle of 13-15 years old adolescents. *Bull Eur Physiopathol Respir*. 1982; 18 (1): 65-74.
13. Nagano Y, Baba R, Kuraishi K, Yasuda T, Ikoma M, Nashibata K, et al. Ventilatory control during exercise in normal children. *Pediatr Res*. 1998; 43: 704-7.
14. Springer C, Barstow TJ, Cooper DM. Effect of hypoxia on ventilatory control during exercise in children and adults. *Pediatr Res*. 1989; 25: 285-90.
15. Springer C, Cooper DM, Wasserman K. Evidence that maturation of the peripheral chemoreceptors is not complete in childhood. *Respir Physiol*. 1988; 74: 55-64.
16. Gaultier C, Perret L, Boule M, Buvrey A, Gerard F. Occlusion pressure and breathing pattern in healthy children. *Respir Physiol*. 1981; 46: 71-80.
17. Vinet A, Nottin S, Lecoq A, Obert P. Cardiovascular responses to progressive cycle exercise in healthy children and adults. *Int J Sports Med*. 2002; 23: 242-6.
18. Cole TJ, Bellizzi MC, Katherine MF, Dietz WH. Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *BMJ*. 2000; 320: 1-6.
19. Rowland TW. Pediatric laboratory exercise testing: clinical guidelines. Champaign (IL): Human Kinetics Publishers; 1993.
20. Maritz JS, Morrison JF, Peter J, Strydom NB, Wyndham CH. A practical method of estimating and individual's maximal oxygen uptake. *Ergonomics*. 1961; 4: 97-122.
21. Howley ET, Bassett DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc*. 1995; 27: 1292-301.
22. Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol*. 1973; 33: 236-43.
23. Wasserman K. The anaerobic threshold measurement to evaluate exercise performance. *Am Rev Respir Dis*. 1984; 12: S35-S40.
24. Kenneth TR, Wilmore JH. Cardiovascular responses to treadmill and cycle ergometer exercise in children and adults. *J Appl Physiol*. 1997; 83 (3): 948-57.
25. Rowland TW, Cunningham LN. Developmental of ventilatory responses to exercise in normal white children. *Chest*. 1997; 111: 327-32.
26. Prioux J, Ramonatxo M, Mercier J, Granier P, Mercier B, Prefaut C. Changes in maximal exercise ventilation and breathing pattern in boys during growth: a mixed cross-sectional longitudinal study. *Acta Physiol Scand*. 1997; 161 (4): 447-58.
27. Armon Y, Cooper DM, Zanconato S. Maturation of ventilatory responses to 1- minute exercise. *Pediatr Res*. 1991; 29: 362-8.
28. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Casaburi R, Whipp BJ. Principles of exercise testing and interpretation. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 1999.
29. Neder JA, Nery LE. Fisiologia clínica do exercício teoria e prática. São Paulo: Artes Médicas; 2003.
30. Gratas-Delamarque A, Mercier J, Ramonatxo M, Dassonville J, Préfaut C. Ventilatory response of prepubertal boys and adults to carbon dioxide at rest and during exercise. *Eur J Appl Physiol*. 1993; 66: 25-30.
31. Ohuchi H, Kato Y, Tasato H, Arakaki Y, Kamiya T. Ventilatory response and arterial blood gases during exercise in children. *Pediatr Res*. 1999; 45: 389-96.
32. Brown JD, Mahon AD, Plank DM. Attainment of maximal exercise criteria in boys and men. *J Sports Med Phys Fitness*. 2002; 42: 135-40.
33. Eriksson BO, Karlsson J, Saltin B. Muscle metabolites during exercise in pubertal boys. *Acta Pediatr Scand*. 1971; 217: 154-7.