

## RESUMEN

**Propósito:** Buscar diferencias cinéticas y dinámicas cardiopulmonares (CPs) entre atletas de resistencia (RES = 10) y no atletas (NON = 19) mexicanos.

**Método:** Del volumen espirado ( $\dot{V}e$ ), medido por espirometría de circuito abierto, se calculó  $\dot{V}O_2$  y  $\dot{V}CO_2$  durante una prueba en cicloergómetro mientras cada voluntario pedaleaba sentado al inicio 50  $W \cdot 2\text{min}^{-1}$  seguido de incrementos de 25  $W \cdot 2\text{min}^{-1}$  hasta lograr un  $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ . El curso temporal (min) transitorio de la respuesta ( $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ ,  $\dot{V}e$ , frecuencia cardíaca, FC; y pulso de  $O_2$ ,  $PulO_2$ ) al ejercicio se transformó a segundos y se modeló por computadora mediante regresión lineal, por el método iterativo de los mínimos cuadrados, en el que el tiempo de respuesta media (TRM) se usó de indicador cinético global CP. **Resultados:** Los TRMs transitorios de  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$  y  $\dot{V}e$  fueron lentos en RES comparado con NON. La dinámica CP transitoria en el grupo NON fue:  $TRM_{\dot{V}O_2} < (TRM_{PulO_2}, TRM_{FC}) < TRM_{\dot{V}CO_2} < TRM_{\dot{V}e}$ ; los RES desplazaron hacia la derecha su  $TRM_{PulO_2}$  y  $TRM_{FC}$  ( $(TRM_{\dot{V}O_2}, TRM_{\dot{V}CO_2}) < (TRM_{PulO_2}, TRM_{FC}) < TRM_{\dot{V}e}$ ). La correlación entre la velocidad promedio del mejor desempeño fisicodeportivo con  $TRM_{\dot{V}O_2}$ ,  $TRM_{\dot{V}CO_2}$  y  $TRM_{PulO_2}$  (CIG = cinética del intercambio gaseoso), mostró RES rápidos de CIG\_lenta y RES\_lentos de CIG\_rápida. **Conclusión:** La cinética CP transitoria fue lenta en RES comparado con NON. Es posible distinguir diferencias cinéticas cardiopulmonares entre atletas de resistencia con desempeño fisicodeportivo competitivo diferente.

## SUMMARY

CARDIOPULMONARY DYNAMICS DURING MAXIMAL EFFORT TEST IN MEXICAN ATHLETES

**Aim:** To search for cardiopulmonary (CP) kinetic and dynamic differences between Mexican resistance athletes (RES = 10) and non athletes (NON = 19).

**Method:** From the expired volume ( $\dot{V}e$ ), measured by an open circuit spirometry, we calculated both  $\dot{V}O_2$  and  $\dot{V}CO_2$  during stress test while the volunteer pedalled seated on an electronic cycloergometer that started at 50  $W \cdot 2\text{min}^{-1}$  followed by increments of 25  $W \cdot 2\text{min}^{-1}$  each, until  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  was reached. The exercise transient time course (min) response ( $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ ,  $\dot{V}e$  and heart rate, HR; and also  $O_2$  pulse,  $PulO_2$ ) was transformed to seconds and modelled by computer using linear regression technique by the interactive minimum squares method, and the mean response time (MRT) was used as an overall kinetic CP parameter. **Results:** The transient MRTs for  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$  and  $\dot{V}e$  were slow in RES compared to NON. While the transient CP dynamics in NON lasted  $MRT_{\dot{V}O_2} < (MRT_{PulO_2}, MRT_{FC}) < MRT_{\dot{V}CO_2} < MRT_{\dot{V}e}$ ; the RES: both  $MRT_{PulO_2}$  and  $MRT_{HR}$  shifted to the right ( $(MRT_{\dot{V}O_2}, MRT_{\dot{V}CO_2}) < (MRT_{PulO_2}, MRT_{FC}) < MRT_{\dot{V}e}$ ). The relationships between the best sport profit mean velocity and both the  $MRT_{\dot{V}O_2}$ ,  $MRT_{\dot{V}CO_2}$  and  $MRT_{PulO_2}$  (GEK = gas exchange kinetics) showed fast\_RES and slow\_GEK, and slow\_RES and fast\_GEK. **Conclusion:** The transient CP kinetics was slow in RES compared NON. It is possible to distinguish cardiopulmonary kinetic differences among resistance athletes holding different sport profiles.

Escuela Superior de Medicina, IPN, Prolongación Salvador Díaz Mirón Esq. Plan de San Luis, Edif. De Gobierno, 3er. Piso, México, D.F., C.P. 011340.

\* Escuela Superior de Medicina, IPN.

\*\*COFAA, IPN.

<sup>1,2,3,4</sup> Becarias IPN (Bols. Nos.: 96510268, 96510021, 95060954, 95060198)

Aceptado: 19 de enero del 2000

## RESUME

DYNAMIQUE CARDIOPULMONAIRE AU COURS D'UNE PREUVE D'EFFORT MAXIMALE CHEZ DES ATHLÈTES MEXICAINS.

**Object:** On a cherché des différences cinétiques et dynamiques cardio-pulmonaire (CP) entre athlètes de resistance (RES = 10) et non athlètes (NON = 19) mexicains. **Méthode:** Du volume expiratoire ( $\dot{V}e$ ) mesuré per spirométrie en circuit ouvert, on a calculé  $\dot{V}O_2$  et  $\dot{V}CO_2$  au cours d'une preuve d'effort sur bicyclette ergométrique en pédalant assis, d'abord à  $50 W \cdot 2min^{-1}$  et depuis en augmentant à  $25 W \cdot min^{-1}$  jusqu'à atteindre le  $\dot{V}O_{max}$ . Le cours temporel (min) transitoire de la réponse ( $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ ,  $\dot{V}e$ ; fréquence cardiaque: FC; et le pouls d' $O_2$ :  $PulO_2$ ) pendant l'exercice se transforma en secondes et se modéla par calculateur électronique ordinateur moyennant une régression linéaire par la méthode itérative des carrés minimes dans laquelle le temps de réponse moyenne (TRM) a été considéré comme indicateur cinétique global: CP. **Résultats:** Les TRMs transitoires des  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$  et  $\dot{V}e$  ont été lents chez les RES en comparaison avec ceux des NON. La dynamique CP transitoire chez les NON a été:  $TRM_{\dot{V}O_2} < (TRM_{PulO_2}, TRM_{FC}) < TRM_{\dot{V}CO_2} < TRM_{\dot{V}e}$ ; chez les RES il y a eu un déplacement à la droite de leur  $TRM_{PulO_2}$  et  $TRM_{FC}$  ( $(TRM_{\dot{V}O_2}, TRM_{\dot{V}CO_2}) < (PulO_2, TRM_{FC}) < TRM_{\dot{V}e}$ ). La corrélation entre la vitesse moyenne de la meilleure performance physique-sportive avec  $TRM_{\dot{V}O_2}$ ,  $TRM_{\dot{V}CO_2}$  et  $TRM_{PulO_2}$  (CIG = cinétique d'échange gazeux), montra RES\_rapides de CIG\_lente et RES\_lents de CIG\_rapide. **Conclusion:** La cinétique CP transitoire a été lente chez les RES en comparaison avec les NON. Il est possible d'établir des différences cinétiques cardio-pulmonaires entre les athlètes de resistance avec différente performance physique-sportive.

**Palabras clave:** Dinámica cardiopulmonar transitoria. Máximo  $\dot{V}O_2$ . Atletas mexicanos.

**Key words:** Transient cardiopulmonary dynamics. Maximum  $\dot{V}O_2$ , Mexican athletes.

## INTRODUCCIÓN

La adaptación a un entrenamiento de resistencia fisicodeportiva, habilita a una persona (v. gr., atleta de resistencia) para mantener en un tiempo (“prolongado”) límite una fuerza específica isométrica (v. gr., fuerza isométrica sostenida submáxima) o una potencia específica (intensidad de trabajo desarrollado por unidad de tiempo) que involucra la combinación de contracciones musculares concéntricas y excéntricas. Diversos investigadores han observado, en los atletas de deportes de resistencia (v. gr., maratón, caminata y ciclismo de ruta) características antropométricas,<sup>1-3</sup> ergométricas,<sup>4</sup> fisiológicas,<sup>4-6</sup> bioquímicas,<sup>7,8</sup> fenotípicas<sup>1,9-11</sup> psicológicas<sup>12</sup> y de desempeño fisicodeportivo<sup>14</sup> que los distingue de los que no lo son. Por otro lado, si bien es cierto que la aptitud fisicodeportiva de un atleta en general está compuesta de factores como lo son composición corporal, densidad ósea y flexibilidad; potencia, fuerza y resistencia; agilidad, equilibrio o balance, coordinación y velocidad de movimiento; así

como de una capacidad cardiorrespiratoria para el ejercicio submáximo y de potencia aerobia máxima; los mecanismos responsables de ello son todavía motivo de estudio. Sin embargo, los conocimientos obtenidos del estudio, en su mayoría de la actividad fisicodeportiva de resistencia, ha permitido sustentar programas de adecuación fisicodeportiva de resistencia, aplicados a la rehabilitación<sup>15</sup> y promoción de la salud de adultos,<sup>16</sup> preseniles y seniles.<sup>17</sup> Así, la aptitud cardiorrespiratoria, que es una medida del efecto de la actividad fisicodeportiva de resistencia sobre la potencia aerobia y su acoplamiento con el metabolismo energético musculoesquelético, es motivo de estudios de cinética fisiológica durante el ejercicio ergométrico.<sup>18,21,22</sup> En la búsqueda, la captación de oxígeno ( $\dot{V}O_2$ ), eliminación de dióxido de carbono ( $\dot{V}CO_2$ ), volumen espiratorio ( $\dot{V}e$ ) y frecuencia cardíaca (FC) durante la respuesta cardiopulmonar (CP) transitoria al ejercicio ergométrico; destaca, el modelado matemático computado de estas respuestas, para estudiar su índice de cambio en el transcurso del tiempo (cinética física) y deter-

minar su participación temporal (dinámica CP)<sup>23-25</sup> durante un esfuerzo de función ergométrica forzada (v. gr., pulso rectangular, doble pulso rectangular; sinusoidal; trapezoide; impulso; rampa y rampa inversa)<sup>26</sup> durante el ejercicio ergométrico intenso<sup>18,27,28</sup> lo que una vez tipificado, facilitaría el abordaje de la siguiente etapa, el estudio de los mecanismos correspondientes y su potencial aplicación en el área biomédica.

**Propósito.** Estudiar si las diferencias CPs conocidas entre no atletas y fondistas (atletas de resistencia fisicodeportiva) también se podían observar, en un estudio de cinética física de la respuesta CP transitoria, a una prueba de esfuerzo creciente (rampa bifásica) hasta lograr el esfuerzo máximo.

**Hipótesis.** Si existen diferencias CPs, que distinguen a un grupo de no atletas de uno de resistencia fisicodeportiva (deportistas de las especialidades de 50 km de caminata y de maratón), entonces se observarán entre grupos, diferencias cinéticas CPs (dinámica de  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ ,  $\dot{V}e$ , FC y Pulso de  $O_2$ ) significativas durante su respuesta transitoria al esfuerzo creciente, hasta lograr un esfuerzo máximo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

**Humanos voluntarios.** Participaron en este trabajo, mexicanos voluntarios disponibles ( $N = 29$ ), clínicamente sanos, sin historia de enfermedad o padecimiento reciente y sin contraindicaciones para realizar una prueba de esfuerzo Máximo<sup>29</sup> aprobado por el comité ético del Instituto Politécnico Nacional. Se dividieron en no atletas (NON,  $n = 19$ ) y atletas de resistencia (RES,  $n = 10$ ). Los NON fueron estudiantes no involucrados en un programa fisicodeportivo y sin historia de participación regular en actividades físicas o deportivas. Los RES fueron tres caminantes de 50 km y siete maratonistas reclutados del Comité Olímpico Mexicano y de la Confederación Deportiva Mexicana, por su desempeño fisicodeportivo similar.<sup>4</sup>

**Antropometría.** Se realizó una medición antropométrica en los voluntarios disponibles ( $n_{NON} = 9/19$ ;  $n_{RES} = 8/10$ ) en base a las técnicas de Martín y Saller<sup>30</sup> y de Tanner.<sup>31</sup> Los somatotipos de Heath-Carter<sup>32</sup> se calcularon mediante un programa computado en BASIC (ANTROPOL.BAS)

desarrollado en nuestro laboratorio. Los pliegues cutáneos derechos torácico, umbilical y frontal del muslo también fueron medidos mediante un plicómetro Harpenden por una misma persona entrenada en ello. El exceso de masa corporal total (MCT) por la estatura se usó para estimar el índice de masa corporal (IMC) en ambos grupos.

**Signos vitales.** En todos los casos, las frecuencias cardíaca y respiratoria del estado de reposo fueron auscultadas mediante un estetoscopio; las presiones sistólica y diastólica sanguíneas, fueron medidas clínicamente (observación visual, palpatoria y auscultatoria) mediante un esfigomanómetro de columna de mercurio (Boum) con el voluntario en posición de sentado. Se tomó un trazo electrocardiográfico (ECG) estándar con el voluntario en la posición de decúbito supino, mediante un Fisiógrafo Harvar 480 de 12 velocidades de registro y fueron medidas la FC ( $FC_{ECG}$ ), el eje eléctrico del corazón (ángulo del  $QRS_{ECG}$ , grados) y la duración de la activación ventricular (complejo  $QRS_{ECG}$ , s).

**Prueba ergométrica máxima.** Del  $\dot{V}e$  y de las concentraciones de  $O_2$  y de  $CO_2$  medidas, se calculó el intercambio gaseoso ( $\dot{V}O_2$  y  $\dot{V}CO_2$ ) durante el último minuto de cada carga de trabajo en cada uno de los voluntarios. El  $\dot{V}e$  fue medido mediante un gasómetro Tissot (propiedad del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, Secretaría de Salud). Las concentraciones de  $O_2$  y de  $CO_2$  fueron medidas en analizadores electroquímicos ("Medical Analyzer IL4004") e infrarrojo ("Medical Analyzer IL200"), respectivamente. El  $\dot{V}O_{2\max}$  fue definido como el  $\dot{V}O_2$  logrado durante la potencia ergométrica máxima (Potencia<sub>max</sub>) por el voluntario, al pedalear sentado en un cicloergómetro electrónico (Collins, Pedal Mate) durante un esfuerzo continuo de carga de trabajo incrementada.<sup>21,33</sup> La prueba ergométrica consistió en una función forzada de tipo rampa bifásica (ejercicio continuo bifásico creciente hasta lograr el máximo esfuerzo) que se inició con  $50 W \cdot 2\text{min}^{-1}$  seguido de un incremento de  $25 W \cdot 2\text{min}^{-1}$ , hasta que el voluntario no fue capaz de sostener una frecuencia de pedaleo de 60 revoluciones por minuto.<sup>33</sup> Al mismo tiempo se hizo un monitoreo electrónico de la FC, minuto a minuto, desde el estado de reposo hasta el final de la prueba ergométrica máxima. Al dividir el  $\dot{V}O_2$  ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ) entre la FC se obtuvo el pulso de  $O_2$

( $\text{PulO}_2$ ,  $\text{mL} \cdot \text{latido}^{-1}$ ). Los voluntarios asistieron al laboratorio para su estudio por la mañana (7:00-10:00 h). La fórmula 220 - edad (años) se usó para estimar la  $\text{FC}_{\text{máx}}$  ( $\text{FC}_{\text{máx}}$  estimada). El grupo RES realizó su prueba de esfuerzo ergométrico al final de su período competitivo.

**Modelado matemático computado de la respuesta cardiopulmonar transitoria al esfuerzo ergométrico máximo.** El curso temporal (min) transitorio de la respuesta de  $\dot{\text{V}}\text{O}_2$  ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ),  $\dot{\text{V}}\text{CO}_2$  ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ),  $\dot{\text{V}}\text{e}$  ( $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ ) y FC (latidos  $\cdot \text{min}^{-1}$ ) al ejercicio ergométrico de tipo rampa (potencia incrementada continua hasta lograr un máximo), fue transformado a segundos en cada uno de los voluntarios. Del  $\dot{\text{V}}\text{O}_2$  y de la FC transformados se calculó el pulso de  $\text{O}_2$  transformado ( $\text{PulO}_2 = \dot{\text{V}}\text{O}_2 / \text{FC}$ ,  $\text{mLO}_2 \cdot \text{latido}$ ). Cada una de estas respuestas transformadas, se modeló por computadora mediante regresión lineal, por el método iterativo de los mínimos cuadrados sobre los datos experimentales para obtener el tiempo de respuesta media (TRM),<sup>19,20</sup> lo que ya ha sido descrito previamente en detalle.<sup>21</sup> El período del ejercicio ergométrico modelado, fue desde el inicio hasta el final (respuesta holística transitoria) de la prueba máxima ergométrica creciente de tipo rampa bifásica. Debido a que el TRM es el tiempo en el que se obtiene » 63% de la respuesta total<sup>18,19,21</sup> del mejor modelado matemático de cada una de las variables CPs, se empleó de indicador cinético global de cada una de las variables CPs en cada voluntario durante el ejercicio ergométrico (transitorio) de rampa bifásica y fue el único parámetro temporal analizado para estudiar respuesta CP holística transitoria al esfuerzo creciente;<sup>19,21,34</sup> su mejor ajuste fue elegido por el programa para minimizar la suma de las diferencias al cuadrado observadas entre la regresión lineal y los datos experimentales.<sup>19-21,34</sup> También, se calculó la diferencia (Dif) porcentual (%) del valor numérico máximo modelado respecto del experimental, para cada variable CP máxima (VCPs<sub>máx</sub>,  $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}$ ,  $\dot{\text{V}}\text{CO}_{2\text{máx}}$ ,  $\dot{\text{V}}\text{e}_{\text{máx}}$ , FC<sub>máx</sub> y PulO<sub>2máx</sub>):

$$\text{Dif} (\%) = ((\text{VCP}_{\text{experimental}} - \text{VCP}_{\text{modelada}}) / \text{VCP}_{\text{experimental}}) \cdot 100$$

donde, Dif (%) = - es indicador de que el modelo de regresión lineal iterativo de los mínimos cuadrados subestima y Dif (%) = + sobrestima una VCP modelada.

**Análisis estadístico.** Se aplicaron procedimientos de estadística descriptiva en los datos de antropometría, signos vitales, CPs máximos y del parámetro temporal TRM de la respuesta holística CP transitoria al ejercicio ergométrico de tipo rampa. La diferencia entre los valores numéricos promedio de NON y RES fue evaluada mediante la prueba t independiente de Student. El coeficiente de correlación de Pearson (r) se aplicó para determinar el grado de relación existente entre variables, así como regresión lineal, y regresión lineal múltiple en su caso. Cuando el análisis de varianza (ANOVA) mostró ser significativo, el análisis *post-hoc* de Student-Newman-Keuls permitió identificar diferencias significativas entre el TRM de las variables  $\dot{\text{V}}\text{O}_2$ ,  $\dot{\text{V}}\text{CO}_2$ ,  $\dot{\text{V}}\text{e}$ , FC y  $\text{PulO}_2$  en cada grupo (NON, RES). Un valor numérico de  $P < 0.05$  o menor fue considerado significativo.<sup>35</sup>

## RESULTADOS

Los datos del mejor desempeño fisicodeportivo del grupo RES se muestran en la *Tabla I*. Las características antropométricas de los grupos NON y RES se muestran en la *Tabla II* y sus signos vitales, electrocardiográficos y CPs máximos se muestran en la *Tabla III*.

Se observó una respuesta CP (holística) curvilinea transitoria del ejercicio ergométrico tipo rampa bifásica en todos los integrantes de los grupos NON y RES (no se muestra aquí la gráfica); caracterizada, por una respuesta cardiodinámica durante los primeros  $50 \text{ W} \cdot 2\text{min}^{-1}$ , seguida de una respuesta relativamente lineal, para finalizar con una respuesta no lineal durante la administración de una potencia de  $25 \text{ W} \cdot 2\text{min}^{-1}$  hasta lograr la potencia aerobia máxima.

El grado de relación existente entre los datos holísticos experimentales y los estimados del modelado matemático de regresión lineal iterativo de los mínimos cuadrados, de la respuesta CP transitoria al ejercicio ergométrico, se muestran en la *Figura 1*; para  $\dot{\text{V}}\text{O}_2$  (*Figura 1A*),  $\dot{\text{V}}\text{CO}_2$  (*Figura 1B*),  $\dot{\text{V}}\text{e}$  (*Figura 1C*), FC (*Figura 1D*) y  $\text{PulO}_2$  (*Figura 1E*) del grupo NON (A, B, C, D, y E, respectivamente) y del grupo RES (A', B', C', D', y E', respectivamente). En todas las VCPs la relación entre los valores numéricos experimentales holísticos ( $n_{\text{NON}} = 144$  y  $n_{\text{RES}} = 96$ ) y los estimados (r) fueron altamente significativos

**Tabla I**  
**Tiempos y marcas del grupo de resistencia.**

Identificación (Deporte-atleta)	Distancia (m)	Tiempo (h:min · s)	Velocidad promedio			
			(m · s <sup>-1</sup> )	(m · min <sup>-1</sup> )	(km · h <sup>-1</sup> )	
M_GMA03	A	42,195	2:10.29	5.4	323.4	19.4
M_MPM02	B	42,195	2:11.00	5.4	321.8	19.3
M_JHO01	C	42,195	2:11.08	5.4	321.8	19.3
M_MER04	D	42,195	2:20.32	5.0	300.2	18.0
C_MBM02	E	50,000	3:43.25	3.7	223.8	13.4
M_LRC06	F	42,195	3:17.00	3.6	214.2	12.9
M_JFO05	G	42,195	3:17.00	3.6	214.2	12.9
C_AB03	H	50,000	3:56.00	3.5	211.9	12.7
C_FC01	I	50,000	4:18.10	3.2	193.7	11.6

Abreviaciones: h = hora, min = minuto, s = segundo. C = caminata. M= maratón. A hasta la I = Identificación alfabética de los atletas para la figura cuatro.

**Tabla II**  
**Antropometría.**

Variable	No atletas		Resistencia	
	N	Promedio ± EEM	N	Promedio ± EEM
Edad, (años)	19	26.4 ± 2.3	10	28.6 ± 1.4
Estatura, (cm)	19	169.5 ± 0.9	10	170.0 ± 2.0
MCT, (kg)	19	67.2 ± 1.4	10	62.0 ± 2.3*
IMC, (kg·m <sup>-2</sup> )	9	24.0 ± 1.2	8	21.0 ± 0.7**
Adiposidad, (%)	9	15.0 ± 0.9	8	13.6 ± 0.9
Anchuras, (mm):				
Estiloide	9	46.4 ± 1.6	8	54.2 ± 2.1*
B. humeral	9	58.3 ± 2.2	8	62.0 ± 4.0
B. femoral	9	89.2 ± 2.0	8	89.8 ± 1.0
Perímetros, (mm):				
Brazo	9	31.3 ± 0.8	8	28.5 ± 0.9*
Pierna	9	35.6 ± 1.0	8	35.4 ± 0.8
Pliegues cutáneos, (mm):				
Tricipital	9	10.0 ± 1.2	8	8.0 ± 0.9
Torácico	9	7.4 ± 0.9	8	6.2 ± 1.4
Subescapular	9	13.0 ± 1.3	8	10.4 ± 1.1
Suprailíaco	9	11.4 ± 1.0	8	10.9 ± 3.0
Umbilical	9	15.5 ± 1.5	8	11.7 ± 1.4
Muslo (frontal)	9	9.0 ± 1.5	8	9.0 ± 3.0
Pierna (medio)	9	8.3 ± 0.9	8	5.3 ± 0.8*
Somatotipo:				
Heath-Carter	9	Meso-endomorfo	8	Mesomorfo balanceado
C1 (endomorfia)		3.3 ± 0.3a		2.8 ± 0.3
C2 (mesomorfia)		4.0 ± 0.5 <sup>a</sup>		3.7 ± 0.5
C3 (ectomorfia)		2.1 ± 1.0 <sup>b</sup>		3.2 ± 0.4

Abreviaciones: N es el tamaño de la muestra. EEM es el error estándar del promedio. MCT es la masa corporal total. IMC es el índice de MCT = [MCT/(estatura, m)<sup>2</sup>] · B es bicondilar. Diferencia significativa entre los promedios de los grupos: \*0.001 < P < 0.04; \*\* 0.006 < P < 0.001. a,a,b = Diferencia significativa (superíndices en letras diferentes) entre los promedios de los componentes de Heath-Carter de los no atletas (P < 0.05, análisis post-hoc Student-Newman-Keuls).

**Tabla III**  
**Signos vitales, datos electrocardiográficos y cardiopulmonares máximos.**

Variable	No atletas		Resistencia	
	N	Promedio ± EEM	N	Promedio ± EEM
<b>Datos del estado de reposo:</b>				
FC, (latidos·min <sup>-1</sup> )	19	65.4 ± 1.6	10	55.2 ± 4.8*
FR, (ciclos·min <sup>-1</sup> )	18	19.1 ± 0.7	10	16.9 ± 0.9
PD, (mmHg)	18	71.1 ± 3.8	9	71.8 ± 2.0
PS, (mmHg)	19	112.4 ± 4.2	9	110.2 ± 3.0
FC <sub>ECG</sub> , (latidos·min <sup>-1</sup> )	11	67.5 ± 2.7	9	48.0 ± 3.1**
QRS <sub>ECG</sub> , (grados)	11	56.4 ± 7.1	9	74.1 ± 9.0
Duración QRS <sub>ECG</sub> , (s)	11	0.07 ± 0.003	9	0.08 ± 0.004
<b>Datos máximos cardiopulmonares:</b>				
FC <sub>máx</sub> , (latidos·min <sup>-1</sup> )	19	188.1 ± 3.3	10	182.0 ± 5.0
VO <sub>2máx</sub> , (L·min <sup>-1</sup> )	19	3.0 ± 0.1	10	3.5 ± 0.2*
PulO <sub>2máx</sub> , (mL·min <sup>-1</sup> )	19	15.0 ± 0.7	10	19.3 ± 1.0**
VO <sub>2máx</sub> , (mL·min <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )	18	41.7 ± 2.6	10	55.6 ± 4.0**
VC <sub>2máx</sub> , (L·min <sup>-1</sup> )	19	2.0 ± 0.1	10	3.0 ± 0.1**
Ve <sub>máx</sub> , (L·min <sup>-1</sup> )	19	82.0 ± 3.1	10	110.5 ± 5.1**
Potencia <sub>máx</sub> , (W)	19	189.0 ± 6.4	10	240.0 ± 7.0**

Abreviaciones: FC y FR son frecuencias cardíaca y respiratoria. PD y PS son presiones diastólica y sistólica. ECG es electrocardiograma, QRS son las ondas electrocardiográficas de activación ventricular. VO<sub>2</sub> y VCO<sub>2</sub> son la captación de O<sub>2</sub> y eliminación de CO<sub>2</sub> pulmonares, Ve es el volumen espiratorio. PulO<sub>2</sub> es el pulso de O<sub>2</sub> (VO<sub>2</sub>/FC). Diferencia significativa entre los promedios de los grupos: \*0.001 < P < 0.04, \*\*0.006 < P < 0.001.

(P < 0.001); aunque, los rPulO<sub>2</sub> (0.88) del grupo NON y rPulO<sub>2</sub> (0.87) del grupo RES, mostraron menor grado de relación debido a que la respuesta CP holística fue no lineal, lo que también se apreció en los resultados de regresión lineal de las VCPs del grupo NON y del grupo RES (*Figura 1 y Tabla IV*). Aún más, el análisis de correlación y de regresión lineal de las VCPs realizado entre los valores numéricos experimentales submáximos (n<sub>NON</sub> = 125 y n<sub>RES</sub> = 86) y máximos (n<sub>NON</sub> = 19 y n<sub>RES</sub> = 10) con sus respectivos valores numéricos estimados, fueron también altamente significativos (P < 0.001) y mostraron la misma tendencia de subestimar (v. gr., VO<sub>2máx</sub>, VC<sub>2máx</sub>, Ve<sub>máx</sub> y FC<sub>máx</sub>) o sobreestimar (v. gr., PulO<sub>2máx</sub>) el componente no lineal del final (CP<sub>máx</sub>) de la respuesta CP holística en NON y RES (*Figura 1 y Tabla IV*). La dinámica (TRM) de las variables de la respuesta CP (VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, Ve, FC y PulO<sub>2</sub>) transitoria del ejercicio ergométrico, de NON y RES se muestran en la *Figura 3*, mientras que la comparación de sus TRM\_CPs entre grupos se muestra en la *Tabla V*.

La relación entre la velocidad promedio (v. gr., m · s<sup>-1</sup>) del mejor desempeño fisicodeportivo de RES, con sus TRM\_VO<sub>2</sub>, TRM\_VCO<sub>2</sub> y

TRM\_PulO<sub>2</sub> de la respuesta holística transitoria al ejercicio ergométrico, se muestra en la *Figura 4*.

**Antropometría.** La MCT (t = 2.133, P < 0.004) y el IMC (t = 2.149, P < 0.05) fueron mayores en NON comparado con RES. No obstante, la anchura estiloides fue menor en NON comparado con RES (t = 2.973, P < 0.01) (*Tabla I*). El perímetro del brazo (t = 2.453, P < 0.03) y el pliegue cutáneo medio de la pierna (t = 2.384, P < 0.04) resultaron mayores en NON comparado con RES (*Tabla II*).

El análisis *post-hoc* Student-Newman-Keuls demostró que sólo en el grupo NON, los valores promedio de los componentes de Heath-Carter de mesomorfia (C2) y endomorfia (C1) fueron significativamente mayores (F<sub>índice</sub> = 5.7, P < 0.01) que el de ectomorfia (C3) (*Tabla II*).

**Signos vitales y datos cardiopulmonares máximos.** En el estado de reposo relativo, la FC auscultatoria (t = 2.504, P < 0.02) y la del ECG (t = 4.759, P < 0.001) fueron menores en RES comparado con NON (*Tabla III*).

El PulO<sub>2máx</sub> (t = 3.814, P < 0.001), VO<sub>2máx</sub> (t = 2.644, P < 0.01), VO<sub>2máx</sub> Rel (t = 3.206, P < 0.0005), VC<sub>2máx</sub> (t = 4.796, P < 0.001),

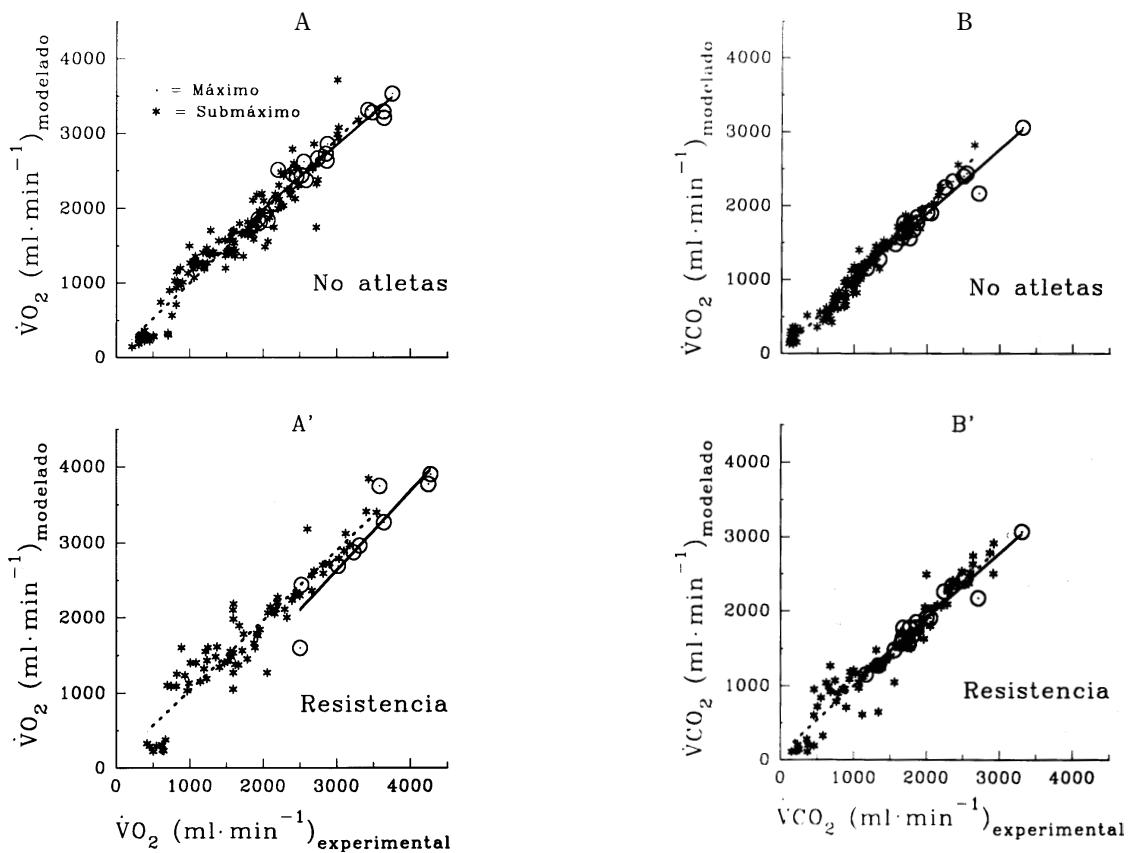


FIG. 1A: Respuesta holística de la captación de oxígeno ( $\dot{V}O_2$ , STPD), experimental *versus* modelada, transitoria a una prueba de esfuerzo máximo en cicloergómetro, en una muestra de 29 hombres: A) 19 no atletas (NON, gráfica superior) y A') 10 atletas de resistencia (RES, gráfica inferior). STPD = Unidades S.T.P.D. (volumen de gas seco a 0° Celsius y 760 torr). Las líneas punteada y continua son las de regresión (ecuaciones en la Tabla IV) para los datos submáximos ( $n_{NON} = 125$ ,  $n_{RES} = 86$ ) y máximos ( $n_{NON} = 19$ ,  $n_{RES} = 10$ ), respectivamente. La del grado de relación existente entre el  $\dot{V}O_2$  estimado (modelado) y el experimental para los datos holísticos (submáximos + máximos) de NON y RES no se muestran aquí (ecuaciones de regresión y correlación lineal en la Tabla IV).

Nótese que los datos de  $\dot{V}O_{2\text{máx}}$  debido a su respuesta no lineal, en cada grupo (sobretodo en RES), fueron subestimados por el modelado matemático de regresión lineal iterativo de los mínimos cuadrados.

$\dot{V}e$  ( $t = 4.461$ ,  $P < 0.001$ ) y Potencia<sub>máx</sub> ( $t = 4.029$ ,  $P < 0.001$ ) resultaron mayores en RES comparado con NON (Tabla III).

Los PulO<sub>2máx</sub> de los grupos NON (Figura 1E) y RES (Figura 1E') fueron sobreestimados mientras que  $\dot{V}O_{2\text{máx}}$  (Figura 1A),  $\dot{V}CO_{2\text{máx}}$  (Figura 1B),

FIG. 1B: Respuesta holística de la eliminación de bióxido de carbono ( $\dot{V}CO_2$ , STPD), experimental *versus* modelada, transitoria a una prueba de esfuerzo máximo en cicloergómetro, en una muestra de 29 hombres: B) 19 no atletas (NON) y B') 10 atletas de resistencia (RES). Las líneas punteada y continua son las de regresión (ecuaciones en la Tabla IV) para los datos submáximos ( $n_{NON} = 125$ ,  $n_{RES} = 86$ ) y máximos ( $n_{NON} = 19$ ,  $n_{RES} = 10$ ), respectivamente. La del grado de relación existente entre el  $\dot{V}CO_2$  estimado y el experimental para los datos holísticos de NON y RES no se muestran aquí (ecuaciones de regresión y correlación lineal en la Tabla IV).

Nótese que los datos de  $\dot{V}CO_{2\text{máx}}$  debido a su respuesta no lineal, en cada grupo, fueron subestimados por el modelado matemático de regresión lineal iterativo de los mínimos cuadrados.

$\dot{V}e_{\text{máx}}$  (Figura 1C) y FC<sub>máx</sub> (Figura 1D) del grupo NON (A, B, C, y D, respectivamente) y del grupo RES (A', B', C' y D', respectivamente) fueron subestimadas por el modelo de regresión lineal iterativo de los mínimos cuadrados (Figura 1). En particular, el  $\dot{V}O_{2\text{máx}}$  fue más sobreestimado que la FC<sub>máx</sub> (Figura 2); ya que, en el graficado de las diferencias CP<sub>máx</sub> obtenidas de Dif (%), se observó para cada grupo (NON\_F<sub>índice</sub> = 3.758,  $P > 0.007$

**Tabla IV**  
**Relación entre los datos de respuesta máxima al ejercicio ergométrico cardiopulmonar experimental y estimada mediante regresión lineal iterativa de los mínimos cuadrados.**

Regresión	$(Y' = \text{intercepto} + \text{pendiente} \cdot X)$ y correlación (r) lineal.	$\dot{V}O_{2\text{máx}}$ :		
Holística	$Y'_{\text{NON}} = 116.375 + (0.931 \cdot X)$ , $Y'_{\text{RES}} = 220.873 + (0.886 \cdot X)$ ,	n = 144, n = 96,	r = 0.97, r = 0.94,	P < 0.001 P < 0.001
Submáxima:	$Y'_{\text{NON}} = 91.731 + (0.951 \cdot X)$ , $Y'_{\text{RES}} = 99.159 + (0.954 \cdot X)$ ,	n = 144, n = 86,	r = 0.96, r = 0.94,	P < 0.001 P < 0.001
Máxima:	$Y'_{\text{NON}} = 294.177 + (0.852 \cdot X)$ , $Y'_{\text{RES}} = -526.579 + (0.857 \cdot X)$ ,	n = 19, n = 10,	r = 0.93, r = 0.93,	P < 0.001 P < 0.001
Holística	$Y'_{\text{NON}} = 7.399 + (0.946 \cdot X)$ , $Y'_{\text{RES}} = 7.077 + (0.944 \cdot X)$ ,	$FC_{\text{máx}}$ : n = 144, n = 96,	r = 0.97, r = 0.97,	P < 0.001 P < 0.001
Submáxima:	$Y'_{\text{NON}} = 5.750 + (0.960 \cdot X)$ , $Y'_{\text{RES}} = 6.154 + (0.953 \cdot X)$ ,	n = 125, n = 86,	r = 0.97, r = 0.97,	P < 0.001 P < 0.001
Máxima:	$Y'_{\text{NON}} = 49.652 + (0.715 \cdot X)$ , $Y'_{\text{RES}} = -8.911 + (1.022 \cdot X)$ ,	n = 19, n = 10,	r = 0.76, r = 0.90,	P < 0.001 P < 0.001
Holística:	$Y'_{\text{NON}} = 2.551 + (0.776 \cdot X)$ , $Y'_{\text{RES}} = 3.356 + (0.764 \cdot X)$ ,	$PulO_{2\text{máx}}$ : n = 144, n = 96,	r = 0.88, r = 0.87,	P < 0.001 P < 0.001
Submáxima:	$Y'_{\text{NON}} = 2.708 + (0.748 \cdot X)$ , $Y'_{\text{RES}} = 3.380 + (0.753 \cdot X)$ ,	n = 125, n = 86,	r = 0.88, r = 0.86,	P < 0.001 P < 0.001
Máxima:	$Y'_{\text{NON}} = 5.124 + (0.675 \cdot X)$ , $Y'_{\text{RES}} = 2.690 + (0.843 \cdot X)$ ,	n = 19, n = 10,	r = 0.80, r = 0.80,	P < 0.001 P < 0.001
Holística:	$Y'_{\text{NON}} = 55.682 + (0.952 \cdot X)$ , $Y'_{\text{RES}} = 109.211 + (0.930 \cdot X)$ ,	$\dot{V}CO_{2\text{máx}}$ : n = 144, n = 96,	r = 0.97, r = 0.95,	P < 0.001 P < 0.001
Submáxima:	$Y'_{\text{NON}} = 0.904 + (1.005 \cdot X)$ , $Y'_{\text{RES}} = 36.556 + (0.996 \cdot X)$ ,	n = 125, n = 86,	r = 0.98, r = 0.96,	P < 0.001 P < 0.001
Máxima:	$Y'_{\text{NON}} = 174.041 + (0.865 \cdot X)$ , $Y'_{\text{RES}} = 341.514 + (0.799 \cdot X)$ ,	n = 19, n = 10,	r = 0.97, r = 0.94,	P < 0.001 P < 0.001
Holística:	$Y'_{\text{NON}} = 2.378 + (0.949 \cdot X)$ , $Y'_{\text{RES}} = 4.242 + (0.921 \cdot X)$ ,	$\dot{V}e_{\text{máx}}$ : n = 144, n = 96,	r = 0.97, r = 0.96,	P < 0.001 P < 0.001
Submáxima:	$Y'_{\text{NON}} = 0.294 + (1.011 \cdot X)$ , $Y'_{\text{RES}} = -2.698 + (1.093 \cdot X)$ ,	n = 125, n = 86,	r = 0.97, r = 0.97,	P < 0.001 P < 0.001
Máxima:	$Y'_{\text{NON}} = 12.664 + (0.785 \cdot X)$ , $Y'_{\text{NON}} = 29.498 + (0.598 \cdot X)$ ,	n = 19, n = 10,	r = 0.92, r = 0.96,	P < 0.001 P < 0.001

Abreviaciones: Y' = variable cardiopulmonar modelada (estimada), X = variable cardiopulmonar experimental; r = Coeficiente de correlación de Pearson, n = número de datos experimentales; NON = grupo de no atletas, RES = grupo de atletas de resistencia; Holística = submáxima + máxima, Submáxima = holística - máxima, Máxima = holística - submáxima.

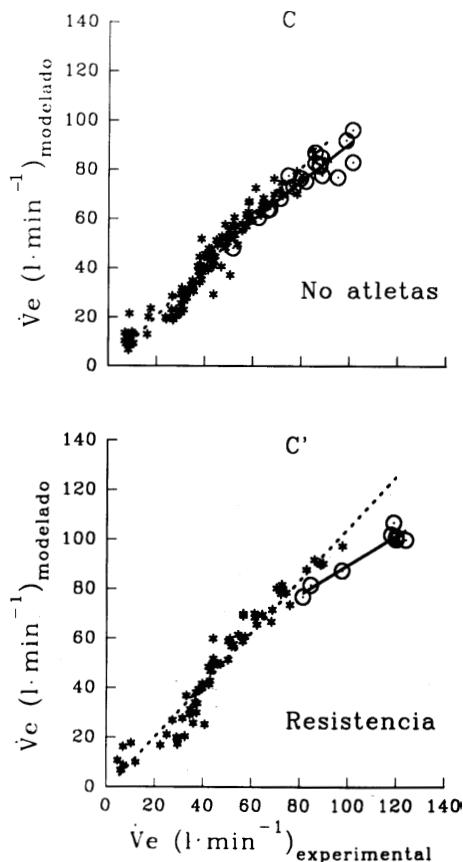


FIG. 1C: Respuesta holística del volumen de aire espirado ( $\dot{V}e$ , BTPS), experimental versus modelado, transitoria a una prueba de esfuerzo máximo en cicloergómetro, en una muestra de 29 hombres: C) 19 de atletas (NON) y C') 10 atletas de resistencia (RES). BTPS= Unidades B.T.P.S. (volumen de gas saturado de vapor de agua a la presión ambiente y temperatura corporal). Las líneas punteada y continua son las de regresión (ecuaciones en la *Tabla IV*) para los datos submáximos ( $n_{NON}=125$ ,  $n_{RES}=86$ ) y máximos ( $n_{NON}=19$ ,  $n_{RES}=10$ ), respectivamente. La del grado de relación existente entre el  $\dot{V}e_{máx}$  estimado y el experimental para los datos holísticos de NON y RES no se muestran aquí (ecuaciones de regresión y correlación lineal en la *Tabla IV*).

Nótese que los datos de  $\dot{V}e_{máx}$  debido a su respuesta no lineal, en cada grupo, fueron subestimados (especialmente en RES) por el modelado matemático de regresión lineal iterativo de los mínimos cuadrados.

y RES\_  $F_{índice} = 18.545$ ,  $P > 0.001$ ), que el  $PulO_{2máx}$  fue subestimado conjuntamente con la  $FC_{máx}$  (sólo en RES), respecto al resto de las variables CPs ( $\dot{V}O_{2máx}$ ,  $\dot{V}CO_{2máx}$  y  $\dot{V}e_{máx}$ ) (Figura 2). Lo que demostró, que los cambios en el  $PulO_2$

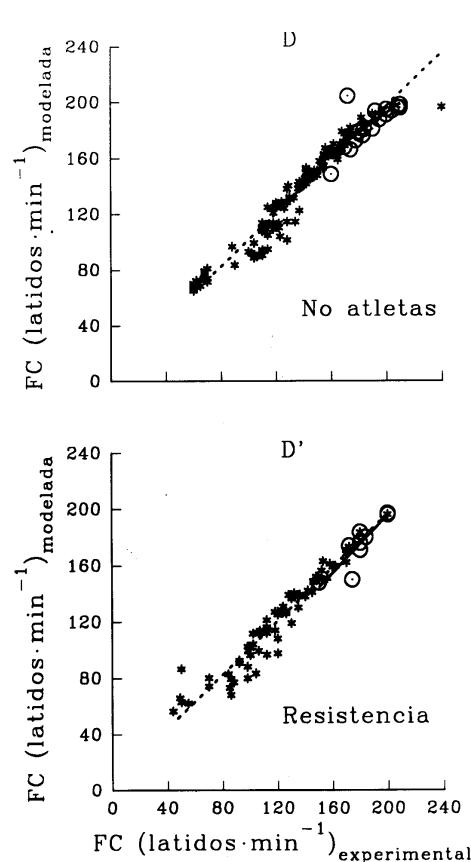


FIG. 1D: Respuesta holística de la frecuencia cardíaca (FC), experimental versus modelada, transitoria a una prueba de esfuerzo máximo en cicloergómetro, en una muestra de 29 hombres: D) 19 no atletas (NON) y D') 10 atletas de resistencia (RES). Las líneas punteada y continua son las de regresión (ecuaciones en la *Tabla IV*) para los datos submáximos ( $n_{NON}=125$ ,  $n_{RES}=86$ ) y máximos ( $n_{NON}=19$ ,  $n_{RES}=10$ ), respectivamente. La del grado de relación existente entre la  $FC_{máx}$  estimada y la experimental para los datos holísticos de NON y RES no se muestran aquí (ecuaciones de regresión y correlación lineal en la *Tabla IV*).

Nótese que los datos de  $FC_{máx}$  debido a su respuesta no lineal, en cada grupo, fueron subestimados por el modelado matemático de regresión lineal iterativo de los mínimos cuadrados.

dependieron principalmente de los cambios del  $\dot{V}O_{2máx}$  que de los de la  $FC_{máx}$  y por lo mismo  $\dot{V}O_{2máx}$  fue significativamente mayor en RES comparado con NON (*Tabla III*). También, al explorar el grado de relación ( $r$ ) existente entre la Dif de  $\dot{V}O_{2máx}$  con las Difs del resto de las VCP<sub>máx</sub> (Difs de:  $\dot{V}CO_{2máx}$ ,  $\dot{V}e_{máx}$ ,  $FC_{máx}$  y  $PulO_{2máx}$ ), sólo NON

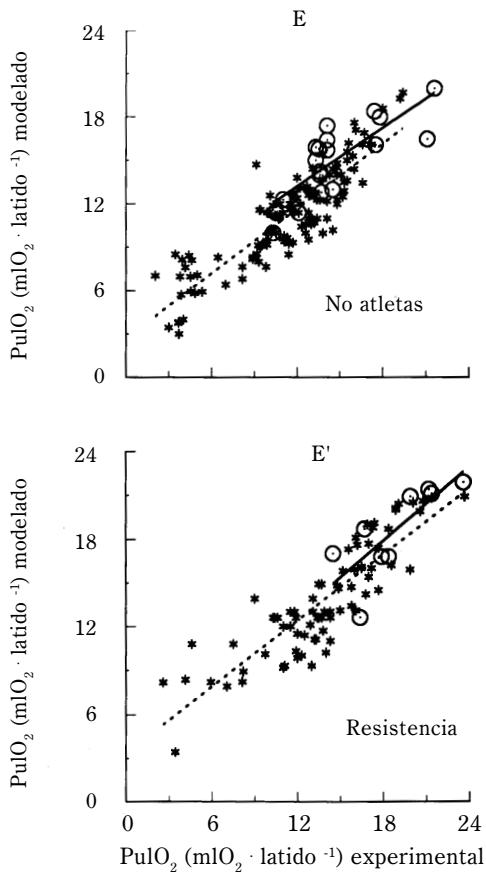


FIG. 1E: Respuesta holística del pulso de oxígeno ( $\text{PulO}_2$ ) experimental versus modelada, transitoria a una prueba de esfuerzo máximo en cicloergómetro, en una muestra de 29 hombres: E) 19 no atletas (NON) y E') 10 atletas de resistencia (RES). Las líneas punteada y continua son las de regresión (ecuaciones en la *Tabla IV*) para los datos submáximos ( $n_{\text{NON}} = 125$ ,  $n_{\text{RES}} = 86$ ) y máximos ( $n_{\text{NON}} = 19$ ,  $n_{\text{RES}} = 10$ ), respectivamente. La del grado de relación existente entre el  $\text{PulO}_2$  estimado y el experimental para los datos holísticos de NON y RES no se muestran aquí (ecuaciones de regresión y correlación lineal en la *Tabla IV*).

Nótese que los datos de  $\text{PulO}_{2\text{máx}}$  (sobretodo debido a la respuesta no lineal del  $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}$ ) *Figura 1A*;  $\text{FC}_{\text{máx}}$  similar entre grupos, *Tabla III*; y mayor influencia del  $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}$ , *Figura 2*), en cada grupo, fueron sobreestimados por el modelado matemático de regresión lineal iterativo de los mínimos cuadrados.

mostró un  $r$  (0.66) significativo ( $P < 0.003$ ) entre  $\text{Dif}_{\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}}$  y  $\text{Dif}_{\text{PulO}_{2\text{máx}}}$  (no se muestra aquí la gráfica).

**Parámetros temporales cardiopulmonares de la respuesta transitoria al esfuerzo ergométrico de rampa bifásica. Análisis esta-**

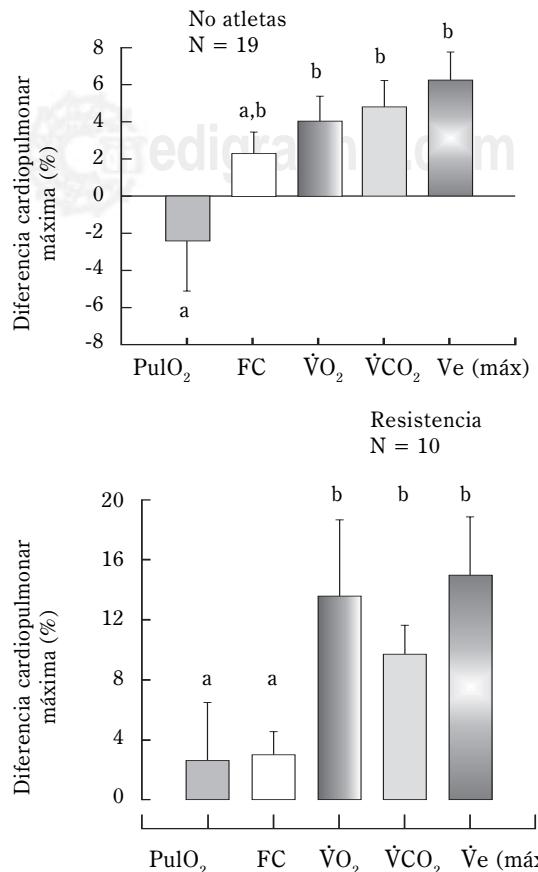


FIG. 2: Diferencia cardiopulmonar entre los datos experimentales y los estimados máximos (diferencia cardiopulmonar máxima) del modelado matemático de regresión lineal iterativo de los mínimos cuadrados, en los grupos de no atletas (NON, gráfica superior) y de atletas de resistencia (RES, gráfica inferior). N es el tamaño de cada grupo.  $\dot{\text{V}}\text{O}_2$ ,  $\dot{\text{V}}\text{CO}_2$ ,  $\dot{\text{V}}\text{e}$ , FC y  $\text{PulO}_2$  son las variables cardiopulmonares máximas. Cada barra es el valor promedio y la línea vertical sobre ella es el error estándar estimado. Los superíndices en letras diferentes sobre las barras, son diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) resultantes del análisis *post-hoc* Student-Newman-Keuls. Nótese que en cada grupo (NON y RES) el  $\text{PulO}_{2\text{máx}}$  fue subestimado al igual que la  $\text{FC}_{\text{máx}}$  (excepto en la  $\text{FC}_{\text{máx}}$  en NON) respecto al resto de las variables cardiopulmonares ( $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}$ ,  $\dot{\text{V}}\text{CO}_{2\text{máx}}$  y  $\dot{\text{V}}\text{e}_{\text{máx}}$ ). Ello demuestra que el  $\text{PulO}_{2\text{máx}}$  dependió principalmente del  $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}$ .

**dístico entre los TRMs cardiopulmonares por grupo.** Del análisis *post-hoc* se observó que la dinámica CP transitoria del ejercicio ergométrico fue diferente en RES; es decir, mientras que en NON su  $\text{TRM}_{\dot{\text{V}}\text{O}_2} > \{\text{TRM}_{\text{FC}}, \text{TRM}_{\text{PulO}_2}\} > \text{TRM}_{\dot{\text{V}}\text{CO}_2} > \text{TRM}_{\dot{\text{V}}\text{e}}$  ( $F_{\text{índice}} = 18$ ,  $P <$

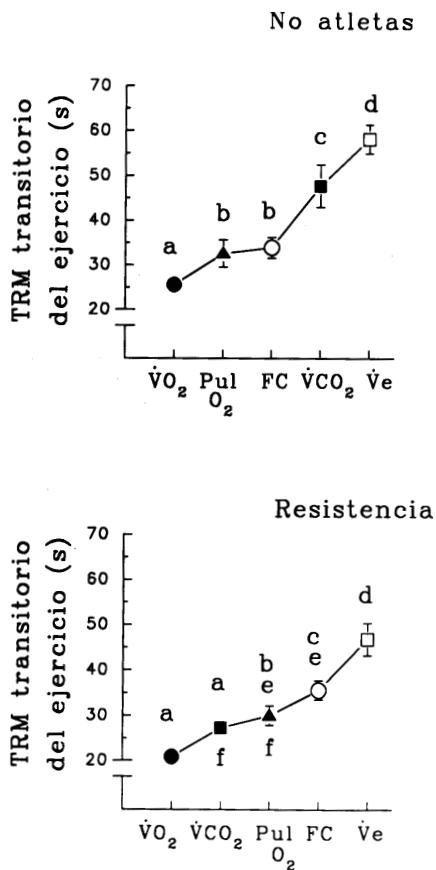


FIG. 3: Tiempo de respuesta media cardiopulmonar holística (TRM\_ $\dot{V}O_2$ , TRM\_ $\dot{V}CO_2$ , TRM\_ $\dot{V}e$ , TRM\_FC y TRM\_Pul $O_2$ ) transitoria al ejercicio, en cicloergómetro, tipo rampa bifásica, hasta lograr una respuesta máxima en los grupos de no atletas (NON = 19) y de deportistas de resistencia (RES = 10). Obsérvese el desplazamiento del TRM\_Pul $O_2$  (antepenúltima posición) y del TRM\_FC (penúltima posición) hacia la derecha (cinética lenta) en la dinámica cardiopulmonar de RES; mientras que, en NON el TRM\_Pul $O_2$  y el TRM\_FC ocuparon la ante-antepenúltima y antepenúltima posición, respectivamente. Letras diferentes sobre los símbolos son diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los valores promedio del TRM de las variables cardiopulmonares de cada grupo (ANOVA, Student-Newman-Keuls). Líneas verticales por arriba y por abajo de cada símbolo representan el error estándar estimado. Símbolo = promedio. TRM = tiempo de respuesta media.

0.001) (Figura 3); en cambio, en RES la cinética de la FC y del Pul $O_2$  fue lenta al mostrar un desplazamiento hacia la derecha de sus TRMs dentro de su dinámica CP: {TRM\_ $\dot{V}O_2$ , TRM\_ $\dot{V}CO_2$ } < {(TRM\_Pul $O_2$ , TRM\_FC) < TRM\_ $\dot{V}e$ } ( $F_{\text{indice}} = 18$ ,  $P < 0.001$ ) (Figura 3).

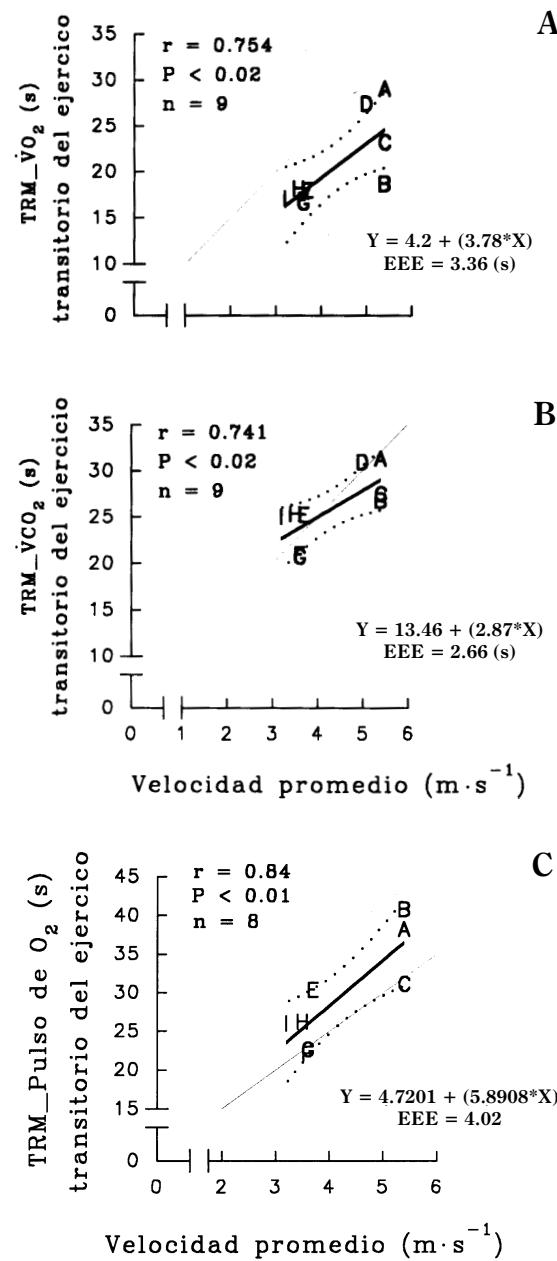


FIG. 4: Relación entre la velocidad promedio del grupo de resistencia (atletas: A hasta la I, Tabla I) y los tiempo de respuesta media (TRM) de: A) captación de oxígeno ( $\dot{V}O_2$ ), B) eliminación de bióxido de carbono ( $\dot{V}CO_2$ ) y C) pulso de  $O_2$  transitorios del ejercicio, en cicloergómetro, tipo rampa bifásica, hasta lograr una respuesta máxima. EEE = error estándar estimado. Línea en el origen de las coordenadas, continua y delgada es la de referencia. Líneas inclinadas gruesas y punteadas son la representación gráfica de la ecuación de la regresión lineal correspondiente y sus límites para un 95 % de confianza, respectivamente. n = tamaño del grupo. P = probabilidad de una relación significativa entre variables. r = coeficiente de correlación de Pearson.

**Tabla V**  
**Tiempos de respuesta media cardiopulmonares transitorios del ejercicio.**

Variable	No atletas (N = 19) Promedio ± EEM	Resistencia (N = 10) Promedio ± EEM
	$\dot{V}O_2$	
TRM, (s)	$26.0 \pm 1.0$	$21.0 \pm 1.5^*$
	Frecuencia cardíaca	
TRM, (s)	$34.0 \pm 2.3$	$36.0 \pm 2.1$
	Pulso de $O_2$	
TRM, (s)	$32.4 \pm 3.1$	$30.0 \pm 2.2$
	$\dot{V}CO_2$	
TRM, (s)	$48.0 \pm 5.0$	$27.3 \pm 2.0^{**}$
	$\dot{V}e$	
TRM, (s)	$58.3 \pm 3.2$	$47.0 \pm 3.6^*$

Abreviaciones: TRM es tiempo de respuesta media. Diferencia significativa entre los promedios de los grupos: \* $0.001 < P < 0.04$ ; \*\* $0.006 < P < 0.001$ .

También se observó en RES, una correlación positiva y moderada entre la velocidad promedio ( $v.$  gr.,  $m \cdot s^{-1}$ ) de su mejor desempeño fisicodeportivo con el TRM  $\dot{V}O_2$ , TRM  $\dot{V}CO_2$  y TRM  $PulO_2$  de la respuesta holística transitoria al ejercicio ergométrico tipo rampa bifásica (*Figura 4*). En ella se distinguieron un conjunto de atletas de resistencia (*A a G, Tabla I*) con cinética lenta (TRM de mayor duración) y otro de cinética rápida (TRM de menor duración) para  $\dot{V}O_2$  (*Figura 4A*),  $\dot{V}CO_2$  (*Figura 4B*) y  $PulO_2$  (*Figura 4C*) respecto a la velocidad promedio del mejor desempeño fisicodeportivo (*Tabla I*). Los atletas que desarrollaron una velocidad promedio mayor fueron A, B, C y D, mientras que E, F, G y H fueron de velocidad promedio menor (*Figura 4* y *Tabla I*).

**Análisis estadístico de los parámetros cardiopulmonares entre grupos.** El TRM  $\dot{V}O_2$  ( $t = 2.735$ ,  $P < 0.006$ ), TRM  $\dot{V}CO_2$  ( $t = 3.04$ ,  $P < 0.006$ ) y el TRM  $\dot{V}e$  ( $t = 2.214$ ,  $P < 0.04$ ) resultaron de mayor duración (lentos) en NON comparado con RES (*Tabla V*).

## DISCUSIÓN

**Esfuerzo ergométrico único de rampa bifásica.** La aplicación de una carga de trabajo creciente cada dos minutos, permitió obtener una respuesta CP y ergométrica máximas, de una prueba de esfuerzo creciente, no prolongada o demasiada

breve. A medida que ésta progresaba, las variables  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ ,  $\dot{V}e$ , FC Y  $PulO_2$  mostraron rápidamente una respuesta lineal (porción central de la respuesta total), que pasó a ser una respuesta no lineal conforme se aproximaba hacia la potencia ergométrica y aerobia máximas. Ello se explica por que, durante ésta respuesta CP no lineal,<sup>21,34</sup> el  $\dot{V}CO_2$  aumenta más rápidamente que el  $\dot{V}O_2$ , debido a que al  $CO_2$  de origen metabólico se le anexa aquel proveniente de la amortiguación del ácido láctico por el sistema del bicarbonato/ácido carbónico y causa una relación más estrecha entre  $\dot{V}CO_2$  y  $\dot{V}e$ , pero conforme progresa el cambio de la respuesta CP lineal a no lineal hacia el final del esfuerzo máximo,  $\dot{V}e$  comienza a incrementarse aún más rápido que el  $\dot{V}CO_2$ , lo que compensa de modo ventilatorio la acidosis láctica inducida por el ejercicio.<sup>18,19,23</sup> La FC se incrementa también hacia el final del ejercicio, debido a que el volumen sistólico no puede aumentar más por el acortamiento de la duración de la diástole.<sup>18,19,23</sup> En consecuencia, este componente no lineal de la respuesta CP<sub>máx</sub> originó, que el modelo matemático de regresión lineal iterativo de los mínimos cuadrados subestimara  $\dot{V}O_{2máx}$ ,  $\dot{V}CO_{2máx}$ ,  $\dot{V}e_{máx}$ , y FC<sub>máx</sub>, pero sobreestimara al  $PulO_{2máx}$ .

La cinética de la respuesta CP provocada por la aplicación repetida de una función ergométrica de tipo rampa, es variable;<sup>20</sup> por ello, es preferible hacer una sobreposición de varias repeticiones

(rango = 2 a 6) con el propósito de incrementar la resolución y disminuir las desviaciones extremas de los datos experimentales, lo que por limitaciones técnicas y de equipo no fue posible hacer en este trabajo. Cuando por alguna razón se repitió en un mismo voluntario la prueba ergométrica en esta investigación, se observaron valores numéricos similares de los parámetros aerobios correspondientes (no se muestran aquí los datos); sin embargo, se ha observado reproducibilidad alta para  $\dot{V}O_{2\text{máx}}$  y  $FC_{\text{máx}}$  (y probablemente también para el  $PulO_{2\text{máx}}$ ); intermedia para  $\dot{V}O_2$  del umbral anaerobio y baja para  $\dot{V}e_{\text{máx}}$ , sobre todo en atletas de resistencia comparados con no atletas.<sup>36</sup> Desde luego, el grado de reproducibilidad para el  $PulO_2$  no ha sido reportado aún, pero en este trabajo, el  $PulO_{2\text{máx}}$  dependió más del  $\dot{V}O_{2\text{máx}}$  que de la  $FC_{\text{máx}}$ . Por otro lado, el sistema de medición y colección de datos CPs, siempre fue calibrado y aplicado por los mismos investigadores con el propósito de estandarizar<sup>25</sup> la medición de la respuesta CP. También, debido a que la función de rampa es útil en la determinación de parámetros aerobios y del TRM estimado de la función de rampa, ambos (parámetros aerobios y TRM) son confiables y reproducibles,<sup>20</sup> todo ello “valida” la técnica experimental con la que se obtuvieron los datos de la respuesta CP y del indicador cinético global estimado (TRM pero no t)<sup>19,20,37</sup> en este trabajo.

**Antropometría.** La MCT y el IMC mayores en NON comparado con RES; una anchura estíloide menor en NON comparado con RES, anudados a un perímetro del brazo y a un pliegue cutáneo medio de la pierna mayores en NON comparado con RES permiten sustentar una diferencia antropométrica previamente observada por otros investigadores,<sup>1,2</sup> pero de probables consecuencias en la dinámica CP existente entre ambos grupos. Por ejemplo, el que el grupo NON mostrara valores promedio de los componentes de Heath-Carter de mesomorfia y endomorfia significativamente mayores que el de ectomorfia y por ello su somatotipo promedio fue meso-endomorfo, mientras el del grupo RES fue mesomorfo balanceado; significa, que si bien no hubo diferencia significativa entre grupos para dichos componentes, su constitución corporal no es la misma. Es decir, ambos grupos tienen un valor numérico mayor de mesomorfia, pero en el grupo NON el componente de ectomorfia está disminui-

do a expensas de los componentes de meso-endomorfia, lo que no ocurre en el grupo RES y ello demuestra en este sentido uno de los beneficios positivos del acondicionamiento fisicodeportivo de resistencia. El somatotipo del grupo RES es más congruente con una mejor capacidad de bombeo venoso, linfático y abdominotorácico durante los ajustes homeostáticos al esfuerzo fisicodeportivo o ergométrico, todo ello en favor de una mejor respuesta dinámica CP para satisfacer oportunamente los requerimientos de perfusión de la masa muscular esquelética activa.<sup>6</sup> De hecho, se ha observado que la cinética de  $\dot{V}O_2$  transitorio del ejercicio ergométrico, mejora en estudios de antes y después de un acondicionamiento fisicodeportivo de resistencia,<sup>38</sup> aunque su mecanismo todavía es motivo de debate.

**Signos vitales.** Como se esperaba, en el estado de reposo relativo la FC auscultatoria y la del ECG, fueron menores en RES comparado con NON, por que un atleta de resistencia es vagotónico<sup>5,39</sup> y el volumen de sus cavidades cardíacas están aumentadas.<sup>9</sup>

**Respuesta cardiopulmonar máxima.** La observación de que la  $FC_{\text{máx}}$  fue similar, pero no lo fue el  $PulO_{2\text{máx}}$  en RES comparado con NON; nos indica que si bien, en un atleta de resistencia las FCs transitorias al ejercicio submáximo y máximo, siempre son menores que la que se observa en un no entrenado para el mismo trabajo ergométrico asignado;<sup>5,9</sup> entonces, en esta investigación, donde la Potencia<sub>máx</sub>, el  $\dot{V}O_{2\text{máx}}$  y el  $PulO_{2\text{máx}}$  fueron mayores en RES comparado con NON, pero RES no mostró menor  $FC_{\text{máx}}$ , ello significa que el  $PulO_{2\text{máx}}$  dependió principalmente del  $\dot{V}O_{2\text{máx}}$  que de la  $FC_{\text{máx}}$  en NON y RES. Al evocar la ecuación de Fick:  $\dot{V}O_2 = [(FC \cdot \text{Volumen sistólico}) \cdot (\text{concentración}(O_{2\text{arterial}} - O_{2\text{venoso mezclado}}))]$  en conjunción con un mayor volumen cardíaco, que caracteriza a los atletas de resistencia,<sup>9</sup> ello induce a pensar que seguramente el volumen sistólico fue, el principal causante del mayor  $PulO_{2\text{máx}}$  en RES comparado con NON. Por lo demás,  $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ ,  $\dot{V}O_{2\text{máx Rel}}$ ,  $\dot{V}CO_{2\text{máx}}$ ,  $\dot{V}e_{\text{máx}}$  y Potencia<sub>máx</sub> son mayores en atletas de resistencia comparados con entrenados,<sup>5,6,9</sup> lo que fue también observado en este trabajo en RES (como se esperaba) comparado con NON. Una explicación plausible de todo ello es, que durante la transición progresiva desde la aplicación de la función ergométrica de rampa bifásica hasta la potencia ergométrica aerobia

máxima, los ajustes homeostáticos centrales (v. gr., FC, volumen sistólico y gasto cardíaco máximos) y periféricos (v. gr., capilares periféricos de la masa musculoesquelética, regulación de flujo sanguíneo y componentes metabólicos)<sup>7,8</sup> son más eficientes en un entrenado que en los que no lo están.<sup>4,5,6,9</sup> Nuevamente, ello se reflejó en una cinética CP menos rápida (menos proporcionada con el esfuerzo ergométrico) en el grupo NON, quien a la vez mostró una dinámica CP diferente en este trabajo.

**Dinámica (TRM) de las variables cardio-pulmonares ( $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ ,  $\dot{V}e$ , FC y  $PulO_2$ ) por grupo.** Una de las observaciones importantes en esta investigación fue una intervención diferente del  $PulO_2$  (TRM prolongado), de la FC (TRM prolongado) y del  $\dot{V}CO_2$  (TRM corto) en RES; mientras que en NON, la dinámica de la respuesta holística CP transitoria del ejercicio fue  $TRM_{\dot{V}O_2} > \{TRM_{FC}, TRM_{PulO_2}\} > TRM_{\dot{V}CO_2} > TRM_{\dot{V}e}$ , lo que mostró una dinámica CP distinta en RES. Una causa sería la pendiente de la rampa usada en el experimento, pues se sabe que la dinámica CP estudiada en atletas de resistencia, durante pruebas ergométricas repetidas de tipo rampa con diversas pendientes (20, 50 y 100 W · min<sup>-1</sup>), ha demostrado que estas últimas causan variación en los TRMs correspondientes.<sup>19</sup> Sin embargo, en ambos grupos (NON y RES) se utilizó el mismo tipo de esfuerzo ergométrico y condiciones de laboratorio, por lo que es poco probable que la dinámica CP RES observada se deba a una diferencia en la pendiente ergométrica aplicada. En cambio, sí puede deberse a una mayor eficiencia en el bombeo cardíaco (mayor volumen latido a menor FC durante el esfuerzo ergométrico), originado por las adaptaciones que el corazón adquiere con el acondicionamiento fisicodeportivo de resistencia<sup>9,37</sup> y porque se sabe que la cinética del gasto cardíaco (GC = 28 a 29 s)<sup>24,40</sup> en no entrenados es más rápida que la del  $\dot{V}O_2$  (34 a 55 s).<sup>24,40</sup> Ahora bien, si en éste trabajo se observó una cinética lenta en la FC y el  $PulO_2$  comparada con la del  $\dot{V}O_2$  (TRM\_FC y  $PulO_2 > TRM_{\dot{V}O_2}$  en NON y en RES), sin diferencia significativa entre la cinética de la FC (TRM\_FC) y del  $PulO_2$  entre NON y RES, aunado a la observación de Decort y su grupo<sup>24</sup> (cinética GC < cinética  $\dot{V}O_2$ ) y también porque se observó en esta investigación, que los cambios en el  $PulO_2$  dependieron principalmente de los del  $\dot{V}O_2$  que de los de la FC (por lo mismo  $\dot{V}O_{2máx}$  fue significativa-

mente mayor en RES comparado con NON); entonces, la explicación plausible a esto es que el volumen latido seguramente fue la causa de un  $TRM_{FC}$  y  $TRM_{PulO_2} > TRM_{\dot{V}O_2}$ , sobre todo en el grupo RES donde la cinética de la FC y del  $PulO_2$  también fueron más lentas que la de la  $\dot{V}CO_2$  ( $TRM_{FC}$  y  $TRM_{PulO_2} > TRM_{\dot{V}CO_2}$ ). Es decir, se postula para trabajos posteriores, que la cinética del volumen latido debe ser más rápida que las de la FC y  $\dot{V}O_2$ , lo que debe también reflejarse en la cinética del  $PulO_2$ .

Tomando en consideración que el desempeño fisicodeportivo en un evento competitivo es superior al que se puede obtener en un laboratorio, otra de las observaciones importantes en este trabajo fue la correlación positiva y moderada entre la velocidad promedio del mejor desempeño fisicodeportivo con el parámetro cinético TRM de  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$  Y  $PulO_2$  de los integrantes del grupo RES. Esta relación fue más estrecha (un valor numérico menor en la pendiente de regresión lineal) con la cinética del  $PulO_2$  y de  $\dot{V}O_2$  que con la del  $\dot{V}CO_2$ , porque en éste último ocurre que el  $\dot{V}CO_2$  es utilizado en el sistema del bicarbonato/ácido carbónico para amortiguar la producción de ácido láctico, sobre todo a partir de un esfuerzo fisicodeportivo de intensidad mayor a la del umbral anaerobio.<sup>32,41</sup> No obstante, ambas cinéticas del intercambio gaseoso ( $TRM_{\dot{V}O_2}$  y  $TRM_{\dot{V}CO_2}$ ) muestran indirectamente su enlace con la respiración celular, por su relación con la velocidad promedio del desempeño fisicodeportivo, la que se sustenta en una intensidad del metabolismo energético de la masa musculoesquelética activa (enlace cinético del intercambio gaseoso con la respiración celular). Por otro lado, la observación de un conjunto de atletas de resistencia con cinética lenta y de mayor velocidad promedio en el mejor desempeño fisicodeportivo para  $\dot{V}O_2$  (atletas: A, B, C y D),  $\dot{V}CO_2$  (atletas: A, B, C y D) y para  $PulO_2$  (atletas: A, B y C) y otro conjunto de cinética rápida con menor velocidad promedio en el mejor desempeño fisicodeportivo para  $\dot{V}O_2$  (atletas: E, F, G y H),  $\dot{V}CO_2$  (atletas: E, F, G H e I) y para  $PulO_2$  (atletas: E, F, G, H e I); induce a pensar, en una paradoja de corredores de resistencia “rápidos” a expensas de una cinética lenta del intercambio gaseoso y aquellos que son “menos rápidos” a expensas de una cinética rápida. El primer tipo de corredor de resistencia (rápido y de cinética lenta

del intercambio gaseoso) parece ser un estado análogo al de una cinética lenta del  $\dot{V}O_2$  (componente lento) observada durante esfuerzos ergométricos de intensidad mayor a la del umbral anaerobio caracterizadas por un costo adicional de  $O_2$  respecto al estimado desde el requerido para una intensidad menor a la del umbral anaerobio, pero de causalidad todavía en estudio (v. gr., déficit de  $O_2$ , patrones de reclutamiento de unidades motoras, regulación de flujo sanguíneo, de la perfusión tisular y del metabolismo energético).<sup>32,42-44</sup> En cambio, el corredor de resistencia (menos rápido pero de cinética rápida del intercambio gaseoso) parece ser más compatible con una velocidad promedio de desempeño fisicodeportivo, donde su cinética de intercambio gaseoso satisface las demandas de consumo de  $O_2$  y de movilización tisular de la producción de  $CO_2$ . Estas diferencias cinéticas CPs entre los atletas, se atribuyen a las adaptaciones centrales y periféricas<sup>27</sup> que el atleta adquiere en diferente grado, durante su adaptación a un programa de resistencia fisicodeportiva, así como a la capacidad individual de adaptación a dicho programa. De confirmarse estas observaciones, el desplazamiento cinético de la FC y del  $PulO_2$  hacia la derecha después de un entrenamiento de resistencia y el hallazgo de corredores de resistencia rápidos de cinética lenta y lentos de cinética rápida del intercambio gaseoso transitorio del ejercicio ergométrico máximo y probablemente también del período transitorio de recuperación, significaría que el mecanismo del componente lento de  $\dot{V}O_2$  juega un papel preponderante en el acondicionamiento fisicodeportivo de resistencia y ello intensificaría el estudio de su causalidad multifactorial (factores centrales y periféricos) debido a su aplicación potencial en el área biomédica.

**Parámetros temporales (TRM,  $G_o$  y  $G_{Total}$ ) de las variables cardiopulmonares entre grupos.** No fue sorpresa, el que los TRMs de  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$  y  $\dot{V}e$  mostraran una cinética lenta en RES comparado con NON, durante la respuesta transitoria desde la aplicación de la función ergométrica de rampa bifásica hasta la potencia ergométrica aerobia máxima, debido a que las personas entrenadas son capaces de regular mejor su respuesta homeostática (central y periférica) durante esfuerzos ergométricos submáximos y máximos.<sup>4,27,45,46</sup> La no esperada similaridad en la cinética del  $PulO_2$  entre grupos se explicaría por un lado por la influencia del componente no lineal de la respuesta CP,<sup>4</sup> sus-

tentada en la observación de que por un lado la cinética de la FC entre grupos no fue diferente y por el otro, las Difs obtenidas de la respuesta  $CP_{máx}$  demostraron que dicho componente no lineal subestimó el  $\dot{V}O_{2máx}$ . No obstante, todo ello representa otra posibilidad a investigar, en estudios análogos, diseñados para pruebas ergométricas submáximas. En consecuencia, se postula la existencia de diferencias CPs cinéticas, entre grupos con diferentes grados de adaptación fisicodeportiva a un programa de entrenamiento de resistencia ó de rendimiento competitivo diferente. Los parámetros cinéticos podrían ser utilizados como indicadores objetivos del impacto y de las adaptaciones CPs a dicho programa, independientemente de que éste último haya sido diseñado para propósitos de adecuación física y deportiva, rehabilitación o promoción de la salud. Después de todo, estos estudios de cinética física, una vez que sean caracterizados, pasarán a ser fenotipos fisiológicos sobre los que se exploraría su base genética (v. gr., genotipos de la adaptación al acondicionamiento fisicodeportivo).<sup>11,47,48</sup>

## CONCLUSIONES

En breve, la cinética (TRM) CP transitoria intragrupo (NOA, RES) fue lenta en RES en términos de FC y  $PulO_2$  del esfuerzo ergométrico creciente. En RES se distinguieron atletas de desempeño fisicodeportivo competitivo rápido pero de cinética lenta y otros atletas lentos de cinética rápida, por lo que durante la prueba ergométrica de esfuerzo creciente, fue posible distinguir diferencias cinéticas del intercambio gaseoso y del  $PulO_2$  entre atletas de resistencia con diferente velocidad promedio competitiva. El somatotipo promedio de NON fue meso-endomorfo, mientras el de RES fue mesomorfo balanceado (favorable con una dinámica CP de mayor eficiencia cinética). La FC de tipo vagotónica de RES, es compatible con un volumen aumentado de sus cavidades cardíacas. Los cambios en el  $PulO_2$  dependieron principalmente de los del  $\dot{V}O_{2máx}$  que de los de la  $FC_{máx}$ , en cada grupo, y con ello se postula una cinética rápida del volumen sistólico (comparada con el resto de la respuesta CP) del esfuerzo fisicodeportivo. Asimismo, la cinética del intercambio gaseoso y ventilatoria transitoria del ejercicio ergométrico de RES, fue más lenta que en NON. La respuesta ergométrica  $CP_{máx}$  ( $Potencia_{máx}$ ,  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}O_{2Rel}$ ,  $\dot{V}CO_2$ ,  $\dot{V}e$  y  $PulO_2$ ) fue mayor en RES

comparada con NON; pero este componente no lineal (respuesta CP<sub>máx</sub>) de la respuesta CP causó, que el modelo matemático de regresión lineal iterativo de los mínimos cuadrados subestimara  $\dot{V}O_{2máx}$ ,  $\dot{V}CO_{2máx}$ ,  $\dot{V}e_{máx}$ , y FC<sub>máx</sub>, pero sobreestimara al Pulo<sub>2máx</sub>. Estas diferencias cinéticas y dinámicas CPs transitorias del esfuerzo ergométrico creciente, hasta lograr el máximo, se atribuyen a las adaptaciones centrales y periféricas, que el atleta adquiere durante su incursión en un programa de resistencia fisicodeportiva, las que son posibles estudiar mediante modelado matemático, para determinar sus grados de cambio y de relación con el desempeño fisicodeportivo competitivo o del estilo de vida y la rehabilitación en general.

**Conclusión.** El modelado matemático de regresión lineal iterativo de los mínimos cuadrados, de la respuesta CP ergométrica al esfuerzo creciente, permitió observar en RES una dinámica CP transitoria distinta a NON y una relación positiva entre los TRMs de la respuesta CP y la velocidad promedio del mejor desempeño fisicodeportivo competitivo de RES.

## Agradecimientos

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a todos los atletas, al personal y a las autoridades del Comité Olímpico Mexicano y de la Confederación Deportiva Mexicana por su cooperación y las facilidades que nos dieron en las instalaciones a su digno cargo; así como al Instituto Politécnico Nacional y la “University of Western Ontario, London, Ontario, Canada” por su apoyo académico, administrativo y técnico. Un agradecimiento especial al Dr. Alfredo de Mitcheli y a su distinguido Consejo Editorial de la Rev. Inst. Cardiol. Méx., por sus sugerencias para con este trabajo.

Esta investigación fue apoyada por la CeGePi (990286) y Dirección de Vinculación Académica y Tecnológica (DG-2284-90), así como por la Subdirección Técnica, la Secretaría de Apoyo Académico y autoridades y comunidad académica de la Escuela Superior de Medicina del Instituto Politécnico Nacional (Proyectos: 872971, DECEDEI-145-588 y PIFIs)-CONACyT (PCSAABNA-02388), México, D.F.

## REFERENCIAS

1. DE GARAY AL, LEVINE L, CARTER LEJ: *Genetic and anthropometric studies of the Olympic athletes*. New York: Academic Press, 1974; 1-240.
2. CARTER JEL, YUHASZ MS: *Skinfolds and body composition of Olympic athletes*. En: Carter JEL. *Physical Structure of Olympic Athletes, Part II, Kinanthropometry of Olympic athletes*, Basilea: Karger, 1984; 80-109.
3. PADILLA JP, MORALES MA, AM TAYLOR AW, YUHASZ MS, PÉREZ JJV, HUESCA JMR, GARCÍA LG: *Actividad deportiva y somatotipo en una población de atletas mexicanos*. REV PESTYC, 2000, en revisión.
4. PADILLA JP, EGUILA LIS MACG, LICEA JM, TAYLOR AW: *Capacidad aerobia máxima y actividad deportiva en mexicanos de 13 a 56 años de edad*. Arch Inst Cardiol Méx 1998; 68: 224-231.
5. COYLE EF: *Integration of the physiological factors determining endurance performance ability*. Exerc Sports Sci Rev 1995; 23: 25-63.
6. NOAKES TD: *Maximal oxygen uptake: “classical” versus “contemporary” viewpoints: A rebuttal*. Med Sci Sports Exerc 1998; 30: 1381-1398.
7. SALTIN B, GOLLNICK PD: *Skeletal muscle adaptability*. En: Peachey LD, Adrian PH, Geiger SR. *Handbook of physiology: Skeletal muscle*. Bethesda, American Physiology Society 1983; 550-631.
8. HOLLOZY JO, COYLE EF: *Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences*. J Appl Physiol 1984; 56: 831-838.
9. PELLICIA A, MARON BJ, SPATARO AS, PROSCHAN MA, SPIRITO P: *The upper limit of physiologic cardiac hypertrophy in highly trained elite athletes*. N Eng J Med 1991; 324: 295-301.
10. BOUCHARD C, LEON AS, RAO DC, SKINNER JS, WILMORE JH, GAGNON J: 1995. *The HERITAGE family study: aims, design, and measurement protocol*. Med Sci Sports Exerc 1995; 27: 721-729.
11. MONTGOMERY HE, MARSHALL R, HEMINGWAY H ET AL: 1995. *Human gene for physical performance*. Nature 1998; 221-222.
12. FARRELL PA, GUSTAFSON AB, MORGAN WP, PERT CB: *Enkephalines, catecholamines and psychological mood alterations: effects of prolonged exercise*. Med Sci Sports Exerc 1987; 19: 347-353.
13. WILLIAMS KR, CAVANAGH PR: *Relationship between distance running, running mechanics, running economy, and performance*. J Appl Physiol 1987; 63: 1236-1245.
14. BRISSWALTER J, FOUGERON B, LEGROS P: *Variability in energy cost and walking gait during race walking in competitive race walkers*. Med Sci Sports Exerc 1998; 30: 1451-1455.
15. MAMMAN MM, HUNTER GR, STEVENSEN BR, GUILLIAMS ME, GREENISEN MC: *Resistance exercise prevents plantar flexor deconditioning during bed rest*. Med Sci Sports Exerc 1997; 29: 1462-1468.

16. POLLOCK ML, GAESSER GA, BUTCHER JD, DESPRÉS J-P, DISHMAN RK, FRANKLIN BA, GARBER CE: *The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. ACSM Position Stand.* Med Sci Sports Exerc 1998; 30: 975-991.
17. MAZZEO RS, CAVANAGH P, EVANS WJ, FIATERONI M, HAGBERG J, MACAULEY E, STARTZELL L: *Exercise and physical activity for older adults. ACSM Position Stand.* Med Sci Sports Exerc 1998; 30: 992-1008.
18. LINNARSSON D: *Dynamics of pulmonary gas exchange and heart rate at start and end of exercise.* Acta Physiol Scand 1974; 415(Suppl): 1-68.
19. LAMARRA N: *Ventilatory control, cardiac output, and gas-exchange dynamics during exercise transients in man. Ph.D. thesis dissertation, University of California, Los Angeles, California, 1982;* 1-300.
20. HUGHSON RL, INMAN MD: *Oxygen uptake kinetics from ramp work tests: variability of single test values.* J Appl Physiol 1986; 61: 373-376.
21. PADILLA JP, LICEA JM, SALINAS GO, DURAN LCH, LÓPES JIC: *Cinética del intercambio gaseoso y la frecuencia cardíaca durante una prueba de esfuerzo creciente en atletas mexicanos.* Rev Inst Nal Enf Resp 1999; 12: 87-96.
22. HUGHSON RL: *Ramp work tests with three different beta-blockers in normal human subjects.* Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1989; 58: 710-716.
23. WHIPP BJ, WARD SA, LAMARRA N, DAVIS JA, WASSERMAN K: *Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise.* J Appl Physiol 1982; 52: 1506-1513.
24. DE CORT SC, INNES JA, BARSTOW TJ, GUZ A: *Cardiac output, oxygen consumption and arteriovenous oxygen difference following a sudden rise in exercise level in humans.* J Physiol 1991; 441: 501-512.
25. MACFARLANE DJ, CUNNINGHAM DJC: *Dynamics of the ventilatory response in man to step changes of end-tidal carbon dioxide and of hypoxia during exercise.* J Physiol 1992; 457: 539-557.
26. MEHRA RK: *Optimal inputs for system identification.* Trans Autom Control 1974; 19: 192-200.
27. OZYENER F, WARD SA, WHIPP BJ: *The slow phase of  $\dot{O}_2$  uptake kinetics during muscular exercise in sprint- and endurance-trained humans.* J Physiol 1996; 494: 98P.
28. TOMLINSON L, WARD SA, WHIPP BJ: *The influence of hypoxia on oxygen uptake kinetics for high-intensity exercise in humans.* J Physiol 1996; 494: 99P.
29. American College of Sport Medicine: Guidelines for evaluation of health status prior to exercise testing and prescription. Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 3<sup>rd</sup> Edition, Philadelphia: Lea & Febiger, 1986; 1-30.
30. MARTIN R, SALLER K: *Lehrbuch der Anthropologie I.* Stuttgart Germany: Fisher, 1975.
31. TANNER, JM: *The Physique of the Olympic Athlete.* London, England: Allen & Unwin, 1964.
32. CARTER JEL: *The Heath-Carter somatotype method.* En: Lohman TG, Roche AF, Martorell R. *Anthropometric Standardization Reference Manual,* Champaign, Illinois; Human Kinetics, 1980; 18, 27, 34, 38, 67, 72.
33. ÅSTRAND P-O: *Principles in ergometry and their implications in Sports practice.* Sports Medicine 1984; 1: 1-5.
34. ZOLADS JA, RADEMAKER ACHJ, SARGEANT AJ: *Non linear relationships between  $\dot{O}_2$  uptake and power output at high intensities of exercise in humans.* J Physiol 1995; 488: 211-217.
35. ZAHR JH: *Biostatistical analysis.* 3<sup>rd</sup> ed., New Jersey, Prentice Hall 1996; 179-115, 372, 404-417.
36. BINGISSE R, KAPLAN V, SCHERER T, RUSSI EW, BLOCH KE: *Effect of training on repeatability of cardiopulmonary exercise performance in normal men and women.* Med Sci Sports Exerc 1997; 29: 1499-1504.
37. BARSTOW TJ, MOLÉ PA: *A ramp test is inadequate for determining the time constant of pulmonary  $\dot{V}O_2$  (Abstract).* Med Sci Sports Exerc 1983; 15: 102.
38. BABCOCK MA, PATERSON DH, CUNNINGHAM DA: *Effects of aerobic endurance training on gas exchange kinetics of older men.* Med Sci Sports Exerc 1994; 26: 447-452.
39. SHIN K, MINAMITANI H, ONISHI S, YAKAMASAKI H, LEE M: *Autonomic differences between athletes and nonathletes: spectral analysis approach.* Med Sci Sports Exerc 1997; 29: 1482-1490.
40. YOSHIDA T, WHIPP BJ: *Dynamic asymmetries of cardiac output transients in response to muscular exercise in man.* J Physiol 1994; 480: 355-350.
41. ROSTON WL, WHIPP BJ, DAVIS JA, CUNNINGHAM DA, EFFROS RM, WASSERMAN K: *Oxygen uptake kinetics and lactate concentration during exercise in humans.* Am Rev Resp Dis 1987; 135: 1080-1084.
42. POOL DC: *Role of exercising muscle in slow component of  $\dot{O}_2$ .* Med Sci Sports Exerc 1994; 26: 1335-1340.
43. BARSTOW TJ, JONES AM, NGUYEN PH, CASABURI R: *Influence of muscular fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise.* J Appl Physiol 1996; 81: 1642-1650.
44. SCHEUERMANN BW, KOWALCHUCK JM, PATERSON DH, CUNNINGHAM DA:  *$\dot{O}_2$  uptake kinetics after acetazolamide administration during moderate- and heavy-intensity exercise.* J Appl Physiol 1998; 85: 1384-1393.
45. GAESSER GA: *Influence of endurance training and catecholamines on exercise  $\dot{V}O_2$  response.* Med Sci Sports Exerc 1994; 26: 1341-1346.
46. HOPKINS WG, HAWLEY JA, BURKE LM: *Design and analysis of research on sport performance enhancement.* Med Sci Sports Exerc 1999; 31: 472-485.
47. GAYAGAY G, YU B, HAMBLY B ET AL: *Elite endurance athletes and the ACE I allele: the role of genes in athletic performance.* Hum Gen 1998; 103: 48-55.