



Pulso máximo de oxígeno en atletas mexicanos de alto rendimiento

Javier Padilla Pérez*,‡

Patricia Ojeda Cruz*,§

Yolanda Fernández Chávez*

Jacinto Licea Mendoza*

Palabras clave: Pulso de oxígeno, creciente, máximo, atletas, mexicanos.

Key words: Oxygen pulse, ramp, maximum, athletes, Mexicans.

RESUMEN

Introducción: Si el pulso máximo de oxígeno (PulmáxO₂ = $\dot{V}O_{2\text{máx}}/FC_{\text{máx}}$, $\text{mLO}_2 \cdot \text{latido}^{-1}$) de mexicanos que practican distintos deportes, es causado por una adaptación fisicodeportiva de proporción diferente, en términos máximos de captación de O₂ ($\dot{V}O_{2\text{máx}}$) y frecuencia cardiaca (FC_{máx}), entonces deberán observarse diferencias significativas de PulmáxO₂ entre ellos.

Material y métodos: Los voluntarios fueron no atletas ($n_{NOA} = 31$); de karate-do ($n_{KDO} = 8$), 400 m planos (mp) ($n_{400} = 7$), 1,500 mp ($n_{1,500} = 13$), 5,000 mp ($n_{5\text{ mil}} = 15$), 10,000 mp ($n_{10\text{ mil}} = 8$), maratón ($n_{MAR} =$

6), 20 km caminata ($n_{CAM} = 8$), soccer ($n_{SOC} = 10$) y remo ($n_{REM} = 8$). Realizaron una prueba ergométrica creciente (rampa) de esfuerzo máximo, sentados en un cicloergómetro electrónico con respirometría de circuito abierto y a 2,240 m de altitud.

Resultados: La regresión y correlación lineal, mostraron entre todos los grupos una relación positiva entre PulmáxO₂ y $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ absoluto, pero negativa entre PulmáxO₂ y FC_{máx} en 1,500 mp, 5 mil mp, CAM y REM. El análisis *post-hoc* (Student-Newman-Keuls) mostró similar $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ relativo en todos los grupos del deporte. No atletas y MAR fueron los de menor y mayor PulmáxO₂, respectivamente. Se observaron también diferencias de PulmáxO₂ de grupos que, fueron más objetivas al reagruparlos por su $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ absoluto, atribuidas a distinto grado de adaptación fisicodeportiva de resistencia.

Conclusión: El PulmáxO₂ se relacionó más con el $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ absoluto que con la FC_{máx} y es un indicador no invasivo de evaluación complementaria de la función cardiorrespiratoria.

* Escuela Superior de Medicina, Instituto Politécnico Nacional, México, D.F.

‡ COFAA

§ Becaria, IPN

Correspondencia:

Dr. Javier Padilla Pérez

Fisiología del Ejercicio, Escuela Superior de Medicina del Instituto Politécnico Nacional, Prolongación Salvador Díaz Mirón, Esquina Plan de San Luis, Edificio de Gobierno, 3er. Piso, México, D.F., 11340.

Tel.: 52(5)729-6300 y 729-6000, ext.: 62733, ext./ fax: 62801.

E-mail: jpp@galeno.esm.ipn.mx

Trabajo recibido: 17-IV-2000; Aceptado: 22-VI-2000

ABSTRACT

Introduction: If the oxygen pulse (PulmaxO₂ = $\dot{V}O_{2\text{max}}/\text{HR}_{\text{max}}$, $\text{mLO}_2 \cdot \text{beat}^{-1}$) of Mexican athletes practicing diverse sports is caused by sportfit adjustment of different proportion, for both maximal O₂ uptake ($\dot{V}O_{\text{max}}$) and maximal heart rate (HR_{max}), then we should see significant PulmaxO₂ differences among sport speciality groups.

Material and methods: Voluntaries were non-athletes (n = 31) and athletes: Karate-Do (n = 8), 400 dash meters (dm) (n = 7), 1,500 dm (n = 13), 5,000 dm (n = 15), 10,000 dm (n = 8), marathon (n = 6), 20 km walking (n = 8), soccer (n = 10) and rowing (n = 8). They all accomplished an increasing ergometric (ramp) test of maximum strength while seated on an electronic cycle-ergometer in an open spirometric system and at 2,240 m of altitude.

Results: Both the correlation and the linear regression showed positive relationships between PulmaxO₂ and absolute $\dot{V}O_{2\text{max}}$ between groups, but they also showed negative relationships between PulmaxO₂ and HR_{max} in 1,500 dm, 5,000 dm, walking and rowing. The post-hoc (Student-Newman-Keuls) analyses showed similar relative $\dot{V}O_{2\text{max}}$ in all sports groups. Non-athletes and marathon runners had the smaller and greater PulmaxO₂, respectively. PulmaxO₂ differences were found within groups, which were more evident after group rearrangement by absolute $\dot{V}O_{2\text{max}}$ attributed to different degree of sportfit resistance adjustment.

Conclusions: PulmaxO₂ was more closely related to absolute $\dot{V}O_{2\text{max}}$ than to HR_{max}. PulmaxO₂ was a non-invasive indicator of complementary evaluation of the cardiorespiratory function.

INTRODUCCIÓN

A partir de las observaciones de que la masa del corazón es una fracción constante de la masa corporal total¹ y de que la primera se correlaciona mejor con la masa de hemoglobina (transportador principal de O₂ sanguíneo) corporal total; Åstrand² fue uno de los primeros en considerar a la captación de O₂ ($\dot{V}O_2$) dividida entre la frecuencia cardíaca (FC) (pulso de O₂: $\text{PulO}_2 = \dot{V}O_2 / \text{FC}$, mL·latido⁻¹)³ por su relación con la masa corporal total y por ello se consideró al PulO₂ como una medida relativa del volumen latido³.

El PulO₂ es la cantidad de O₂ absorbida durante un periodo cardíaco (ciclo cardíaco) y representa al promedio de $\dot{V}O_2$ en el curso de un latido cardíaco de duración promedio. El PulO₂ depende del volumen sistólico y de la diferencia de concentración arteriovenosa de oxígeno⁴. Por eso, la determinación del PulO₂ en un periodo dado de tiempo durante un esfuerzo ergométrico proporciona información valiosa sobre la potencia cardiopulmonar y de todo el cuerpo⁵. En consecuencia, mientras el $\dot{V}O_{2\text{max}}$ Abs (mL·min⁻¹) es un indicador de capacidad aerobia (su valor numérico se relaciona con un nivel fisicodeportivo de la eficiencia de utilización de la energía aerobia)³; el $\dot{V}O_{2\text{max}}$ Abs al ser dividido por la masa corporal total ($\dot{V}O_{2\text{max}}$ Rel, mL·min⁻¹·kg⁻¹) representa las aptitudes reales cardiopulmonar y biológica musculoesquelética relacionadas con el grado de adecuación fisicodeportiva de resistencia (entrenamiento fisicoatlético de gran volumen a baja intensidad). De modo que en el desempeño fisicodeportivo de resistencia, el $\dot{V}O_{2\text{max}}$ Rel es un factor significativo del éxito en carreras de distancia al igual que el

$\dot{V}O_{2\text{max}}$ Abs, sobre todo porque éste último ($\dot{V}O_{2\text{max}}$ Abs), es determinante de la proporción del mismo que es utilizada ($\dot{V}O_{2\text{max}}$) para una velocidad dada de carrera submáxima (economía del correr) en carreras de distancia⁶.

Por su parte, el PulmáxO₂ ($\dot{V}O_{2\text{max}}$ /FC_{max}) es una variable complementaria funcional de los sistemas pulmonar y cardiovascular en el diagnóstico de la capacidad física y del desempeño fisicodeportivo⁷. El PulmáxO₂ es un indicador objetivo, no invasivo y complementario de la evaluación ergométrica de la función cardiorrespiratoria, ya que es una expresión del desempeño del sistema cardiovascular, proveído por un funcionamiento fisiológico (no fisiopatológico) del sistema respiratorio^{7,8}.

Se sabe que el PulmáxO₂ aumenta en proporción lineal con el volumen cardíaco, y luego disminuye gradualmente al aproximarse hacia el $\dot{V}O_{2\text{max}}$ y a la FC_{max} estimadas y ello permite comparar indirectamente el grado de desempeño pulmonar y cardiovascular, mediante una prueba ergométrica de esfuerzo máximo⁹, en la que la determinación del PulmáxO₂ sería un indicador útil, de la relación fisiológica entre el tamaño del corazón y el desempeño fisicodeportivo o ergométrico, dependiente de la adaptación cardiaca a una especialidad deportiva⁷.

La determinación del PulmáxO₂, por ser una medida de la captación de O₂ en el lapso de un ciclo cardíaco, es una prueba funcional útil en el diagnóstico de la capacidad de desempeño fisicodeportivo y ergométrico, para la elaboración de conclusiones sobre la potencia corporal total y del sistema cardiopulmonar; pero desafortunadamente, según nuestro conocimiento, ni en México ni en la literatura internacional (excepto, Mellerowicz y Smoldlaka)⁷ existen comunicaciones formales de trabajos de PulmáxO₂ realizadas en atletas de alto rendimiento ("élite" u olímpicos); por lo que, éste es el primer trabajo en su género, realizado con atletas mexicanos.

Propósito. Estudiar si entre grupos de atletas, hay diferencias de PulmáxO₂ debido a la adaptación cardiopulmonar, que cada especialidad condiciona por su componente implícito de resistencia fisicodeportiva.

Hipótesis. Si el PulmáxO₂ de atletas mexicanos, de especialidades deportivas distintas, es causado por una adaptación fisicodeportiva de proporción diferente, en términos de $\dot{V}O_{2\text{max}}$ y de FC_{max}, entonces deberán observarse diferencias significativas de PulmáxO₂ entre grupos de atletas de diversas especialidades.

MATERIAL Y MÉTODOS

Voluntarios. Se estudiaron personas del sexo masculino, clínicamente sanas, sin historia clínica de padecer una enfermedad crónica o un padecimiento agudo durante los últimos tres meses y sin contraindicaciones para realizar una prueba de esfuerzo máximo¹⁰. Cada persona aceptó, por escrito, participar voluntariamente después de haberle informado sobre los posibles riesgos y beneficios del experimento.

La muestra total (N = 114) incluyó un grupo de no atletas (n = 31); es decir, personas que no estaban en un programa de acondicionamiento fisicodeportivo y sin historial

de participación regular en una actividad fisicodeportiva y con 83 atletas disponibles que contaban con una marca o tiempo de su mejor desempeño fisicodeportivo o con una posición en el escalafón (*ranking*) nacional¹¹⁻¹³ o internacional¹⁴, dentro de su especialidad deportiva. Se formaron nueve grupos del deporte: karate-do; 400 metros planos (mp), 1,500 mp, 5,000 (5 mil) mp, 10,000 (10 mil) mp; maratón (42,195 m); caminata, soccer y remo. Los nueve del deporte más el de los no atletas se llamaron 10G.

Grupos. Los 10G estuvieron formados específicamente por: 21 no entrenados y 10 estudiantes del nivel de licenciatura de la Escuela Superior de Medicina del Instituto Politécnico Nacional (IPN) (n = 31); karatekas (n = 8); corredores de 400 mp (n = 7), 1 500 mp (n = 13), 5 mil mp (n = 15), 10 mil mp (n = 8) y de maratón (n = 6); así como caminantes de 20 km (n = 8), jugadores de soccer de una reserva profesional (n = 10) y remeros de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ciencias Sociales y Administrativas del IPN (n = 8).

Antropometría general. Las técnicas de antropometría general se basaron en las de Martin y Saller¹⁵ y Tanner¹⁶.

Prueba de esfuerzo máximo. Todos los voluntarios realizaron sólo una vez, una prueba ergométrica de esfuerzo creciente de rampa bifásica descrita previamente¹⁷. En esta prueba de espirometría de circuito abierto se midió la respuesta máxima de consumo de O₂ (VO_{2máx}) y de eliminación de dióxido de carbono (VCO_{2máx}) en el momento en que la persona lograba su potencia ergométrica máxima (Pot_{máx}) pedaleando sentado sobre una bicicleta ergométrica (Collins, Pedal Mate). Del volumen espirado (Ve) y colectado en un gasómetro Tissot (propiedad del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias de la Secretaría de Salud), se calculó el volumen minuto del consumo de O₂ (VO₂) y de la eliminación de CO₂ (VCO₂) durante el último minuto de cada carga de potencia ergométrica. Las concentraciones de oxígeno y de dióxido de carbono fueron medidas con analizadores de tipo electroquímico para el O₂ (Medical Analyzer IL404) e infrarrojo para el CO₂ (Medical Analyzer IL200). Con estos datos se calcularon el VO_{2máx}, el VCO_{2máx} y Ve_{máx}. El VO_{2máx} se definió como el VO₂ pico obtenido al momento de la fatiga (Pot_{máx}) con una tasa de intercambio respiratorio (VCO_{2máx} / VO_{2máx}) mayor a uno. La carga inicial de potencia fue de 50 Watts (W) durante los dos primeros minutos, seguida de un incremento de 25 W cada dos minutos hasta que el voluntario ya no pudo sostener una frecuencia de pedaleo de 60 revoluciones por minuto¹⁸. La FC se monitoreó electrónicamente.

Definiciones y fórmulas utilizadas:

Frecuencia cardíaca máxima esperada (FC_{máx} Est) = 220 (latidos·min⁻¹) - Edad (años)

Consumo máximo de oxígeno relativo (VO_{2máx} Rel) = VO_{2máx}Abs (mL·min⁻¹) / Masa corporal total (kg)

Pulso máximo de oxígeno (PulmáxO₂) = VO_{2máx}Abs (mL·min⁻¹) / FC_{máx} (latidos·min⁻¹)

Índice de potencia máxima (IP_{máx}) = Pot_{máx} (Watts) / Masa corporal total (kg)

Análisis estadístico

La antropometría general y las respuestas ergométrica y cardiopulmonar máximas fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA). Cuando los resultados del ANOVA fueron significativos a 0.05 o mejores, se utilizó el método de Student-Newman-Keuls (análisis post-hoc) para localizar diferencias entre las clases de grupo; en todos estos casos se reportan valores numéricos promedio ± error estándar. El análisis de coeficientes de correlación de Pearson (r) y la regresión lineal se aplicaron entre las variables antropométricas, ergométrica y cardiopulmonares máximas, para evaluar el grado de relación existente entre ellas¹⁸.

RESULTADOS

Las características antropométricas, ergométrica y cardiopulmonar de la muestra total y de los grupos se muestran en las Tablas I y II.

No hubo diferencias significativas de edad entre los grupos control y de los diferentes deportes. Algunas diferencias antropométricas fueron: la mayor estatura y masa corporal total del grupo de remo, y de maratón. Sin embargo, el índice de masa corporal total (IMC, Kg·m⁻²) no mostró diferencia significativa.

Algunos de los grupos mostraron IP_{máx}, VO_{2máx} y PulmáxO₂ similares, otros no, lo cual permitió reagruparlos para disminuir el conjunto de 10 grupos (10G) a cuatro (4G) y con ello demostrar diferencias significativas de adaptación fisicodeportiva de resistencia entre grupos del deporte, cuyas características están resumidas en la Tabla III.

La Figura 1, muestra las diferencias de PulmáxO₂ entre los cuatro grupos.

Ánalisis post-hoc entre grupos del deporte. Antropometría general. 10G. El ANOVA y el estudio post-hoc mostró que los atletas de remo fueron de mayor estatura (F_{índice} = 2.4, p < 0.02) comparados con los de caminata y de 5 mil mp (Tabla II). La masa corporal total fue mayor en el grupo de remo (F_{índice} = 5, p < 0.001) comparado con los de 10 mil mp, caminata, 5 mil mp, 1,500 mp y 400 mp (Tabla II). El grupo de maratón también fue de mayor masa corporal total (F_{índice} = 5, p < 0.001) que los de 10 mil mp, caminata, 5 mil mp y 1,500 mp (Tabla II). **4G.** Los atletas del grupo mixto fueron más altos (F_{índice} = 3.1, p < 0.03) que los no atletas y que los del grupo que hemos llamado K155 (karatekas + 1,500 mp + 5 mil mp) (Tabla III). El grupo de no atletas fue de mayor masa corporal total (F_{índice} = 6.4, p < 0.001) que K155 (Tabla III). La masa corporal total fue mayor en los grupos mixto y maratón (F_{índice} = 6.4, p < 0.001) comparados con K155 (Tabla III).

No obstante, el índice de masa corporal total no fue significativamente diferente entre ninguno de los grupos 10G (Tabla II) o 4G (Tabla III).

Respuesta ergométrica máxima. 10G. Los no atletas tuvieron un resultado significativamente menor en Pot_{máx} (F_{índice} = 10, p < 0.001) e IP_{máx} (F_{índice} = 12, p < 0.001) cuando se les comparó con los grupos de atletas

Tabla I. Características antropométricas y de respuesta máxima de la muestra total.

Variable	Promedio (EEM) ¹	Rango
Edad (años)	23.2 (0.5)	14 - 45
Estatura (cm)	171.3 (0.6)	157 - 184
Masa corporal total (kg)	63.4 (0.9)	45 - 105
Índice de masa corporal (kg·m ⁻²)	22.0 (0.3)	16 - 35
<i>Respuesta máxima:</i>		
Potencia ergométrica (Watts)	211.2 (4.1)	100 - 308
Índice de potencia (W·kg ⁻¹)	3.4 (0.1)	2 - 6
VO ₂ Abs ² (l·min ⁻¹)	3.0 (0.1)	1.3 - 5.3
VO ₂ Rel ³ (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	49.0 (1.1)	19 - 82
FC ⁴ (latidos·min ⁻¹)	187.0 (1.4)	150 - 240
FCEstimada ⁵ (l·min ⁻¹)	197.0 (0.5)	175 - 206
PulO ₂ ⁶ (mL·latido ⁻¹)	16.4 (0.4)	7 - 28

1= Promedio ± (error estándar) de la muestra total (N=114)

2= Consumo de oxígeno absoluto

3= Consumo de oxígeno relativo a la masa corporal total

4= Frecuencia cardiaca máxima (experimental)

5= Frecuencia cardiaca máxima estimada

6= Pulso de oxígeno

Tabla II. Características antropométricas y de respuesta máxima de 10G.

Variable	NOA	KDO	400	1,500	5 mil	10 mil	MAR	CAM	Soccer	Remo
Tamaño	31	8	7	13	15	8	6	8	10	8
Edad (años)	25 (1) ¹	23 (2)	21 (1)	21 (1)	21 (1)	23 (1)	24 (1)	26 (2)	21 (1)	26 (3)
Estatura (cm)	170 (1)	170 (2)	172 (2)	172 (2)	170 (2) ^a	171 (1)	173 (4)	168 (2) ^a	174 (2)	179 (1) ^b
MCT ² (kg)	66 (2)	63 (3)	61 (1) ^a	60 (2) ^{a,c}	58 (2) ^{a,c}	57 (2) ^{a,c}	71 (8) ^d	58 (2) ^{a,c}	65 (2)	74 (2) ^b
IMC ³ (kg·m ⁻²)	23 (0.5)	22 (0.9)	21 (0.4)	21 (1.2)	21 (0.5)	20 (0.5)	23 (1.8)	20 (0.7)	22 (0.3)	23 (0.9)
<i>Respuesta máxima:</i>										
Potencia (W)	169 (7) ^a	196 (6) ^{b,c}	214 (7) ^b	218 (10) ^b	223 (8) ^b	241 (7) ^b	260 (12) ^{b,d}	206 (8) ^b	245 (11) ^{b,d}	250 (14) ^{b,d}
IP ⁴ (W·Kg ⁻¹)	2.6 (.1) ^a	3.2 (.2) ^{b,c}	3.5 (.2) ^b	3.7 (.1) ^b	3.9 (.1) ^b	4.2 (.1) ^{b,d}	3.8 (.3) ^b	3.6 (.1) ^b	3.8 (.2) ^b	3.4 (.2) ^b
FC ⁵ (latidos·min ⁻¹)	191 (3)	192 (6)	189 (5)	181 (4)	184 (4)	182 (4)	186 (5)	177 (2)	182 (5)	198 (7)
FCEstimada (latidos·min ⁻¹)	195 (1)	197 (2)	199 (1)	199 (1)	199 (1)	197 (1)	196 (1)	194 (2)	199 (1)	194 (3)
VO ₂ Abs ⁶ (l·min ⁻¹)	2.6 (.1) ^{a,c}	2.8 (.1) ^c	3.3 (.2) ^b	3.0 (.2) ^c	3.0 (.1) ^c	3.2 (.2) ^{b,c}	4.1 (.4) ^{b,d}	3.0 (.2) ^c	3.5 (.2) ^b	3.5 (.2) ^b
VO ₂ Rel ⁷ (mL·Kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	39 (2) ^a	49 (5) ^b	55 (4) ^b	53 (3) ^b	52 (3) ^b	57 (2) ^b	59 (4) ^b	53 (4) ^b	53 (4) ^b	47 (3) ^b
Pulso de O ₂ (mLO ₂ ·latido ⁻¹)	13 (.5) ^{a,e}	15 (.8) ^{c,e}	18 (1) ^b	17 (1) ^{b,c}	16 (.9) ^{b,c}	18 (1) ^b	22 (2) ^{b,d}	7 (1) ^b	19 (2) ^b	18 (2) ^b

Abreviaturas: 10G= (NOA) no atletas; (KDO) karate-do; (400) 400 metros planos; (1,500) 1,500 metros planos; (5 mil) 5,000 metros planos; (10 mil) 10,000 metros planos; (MAR) maratón y; (CAM) caminata.

Los superíndices en letras diferentes son diferencias significativas ($p < 0.05$) entre grupos localizados mediante el análisis post-hoc Student-Newman-Keuls.

1= Promedio ± (error estándar)

2= Masa corporal total; 3= Índice de MCT; 4= Índice de potencia; 5= Frecuencia cardiaca experimental

6= Consumo de oxígeno absoluto; 7= Consumo de oxígeno relativo a la MCT

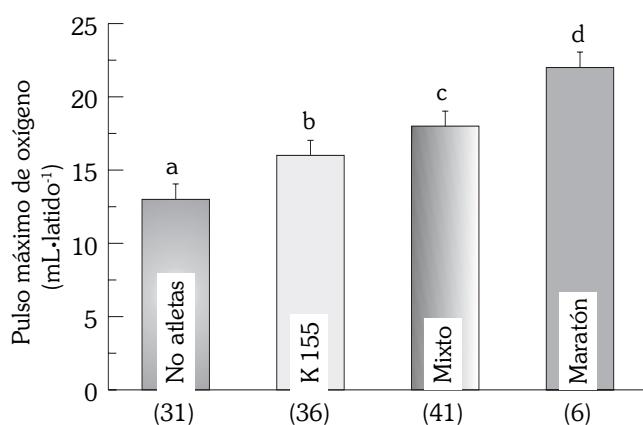


Figura 1. Pulso máximo de oxígeno en los grupos 4G. El tamaño de una barra y su línea vertical son el promedio \pm error estándar. El número entre paréntesis es el tamaño de la muestra de cada grupo. Cada par de letras diferentes es una diferencia ($p < 0.05$) entre grupos, determinada mediante el análisis de varianza post-hoc Student-Newman-Keuls.

K155 Karate-do (8) + 1,500 mp (13) + 5 mil mp (15)

MIXTO Caminata (8) + 400 mp (7) + 10 mil mp (8) + Remo (8) + Soccer (10)

(Tabla II). Asimismo, el grupo de karate-do resultó menor en Pot_{máx} ($F_{índice} = 10$, $p < 0.001$) que los de maratón, soccer y remo (Cuadro II). El grupo de karate-do mostró menor IP_{máx} ($F_{índice} = 10$, $p < 0.001$) que 10 mil mp (Cuadro II). **4G.** - Similar a lo observado en 10G; en 4G, los no atletas fueron menores en Pot_{máx} ($F_{índice} = 24$, $p < 0.001$) e IP_{máx} ($F_{índice} = 27$, $p < 0.001$) que de los grupos K155, mixto y maratón (Tabla III). El grupo K155 fue menor en Pot_{máx} ($F_{índice} = 24$, $p < 0.001$) que los grupos mixto y maratón (Tabla III).

Respuesta cardiopulmonar máxima. 10G. Los no atletas fueron significativamente menores en $\dot{V}O_{2máx}Abs$ ($F_{índice} = 7$, $p < 0.001$) y en $\dot{V}O_{2máx}Rel$ ($F_{índice} = 6$, $p < 0.001$) cuando se les comparó con los grupos de atletas (Tabla II). El grupo de maratón fue significativamente mayor en $\dot{V}O_{2máx}Abs$ ($F_{índice} = 7$, $p < 0.001$) cuando se les comparó con los grupos de karate-do, 5 mil mp, caminata y 10 mil mp (Tabla II). **4G.** - El $\dot{V}O_{2máx}Abs$ resultó significativamente diferente entre todos los grupos 4G ($F_{índice} = 19$, $p < 0.001$) (Tabla III); en cambio, $\dot{V}O_{2máx}Rel$ sólo resultó menor en el grupo de no atletas comparado con los grupos K155, mixto y maratón ($F_{índice} = 16$, $p < 0.001$) (Tabla III).

PulmáxO₂. 10G. El PulmáxO₂ mostró ser menor en no atletas ($F_{índice} = 6$, $p < 0.001$) que en los integrantes de los

Tabla III. Características antropométricas, ergométricas y cardiopulmonares máximas de 4G.

Variable	NOA	K155	Mixto	Maratón
Tamaño del grupo	31	36	41	6
Edad (años)	25 (1) ¹	22 (0.9)	23 (0.8)	24 (1)
Estatura (cm)	170 (1) ^a	170 (0.9) ^a	174 (0.8) ^b	173 (4)
MCT ² (kg)	66 (2) ^a	59 (1) ^{b,c}	65 (1) ^d	71 (8) ^d
IMC ³ (kg·m ⁻²)	23 (0.5)	21 (0.4)	21 (0.3)	23 (0.3)
<i>Respuesta máxima:</i>				
Potencia (W)	169 (7) ^a	213 (5) ^b	239 (6) ^c	260 (13) ^c
IP ⁴ (W·kg ⁻¹)	2.6 (0.1) ^a	3.6 (0.1) ^b	3.7 (0.1) ^b	3.8 (0.3) ^b
FC ⁵ (latidos·min ⁻¹)	191 (3)	183 (2)	187 (3)	186 (5)
FCEstimada (latidos·min ⁻¹)	195 (1)	198 (0.9)	197 (0.8)	196 (1.1)
$\dot{V}O_{2Abs}^6$ (L·min ⁻¹)	2.6 (0.1) ^a	2.9 (0.1) ^b	3.4 (0.1) ^c	4.1 (0.4) ^d
$\dot{V}O_{2Rel}^7$ (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	39 (2) ^a	52 (1) ^b	53 (2) ^b	59 (4) ^b

Abreviaturas: 4G = (NOA) no atletas; (K155) karate-do + 1,500 metros planos + 5 mil metros planos; (MIXTO) caminata + 400 metros planos + 10 mil metros planos + remo + soccer y maratón.

Los superíndices en letras diferentes son diferencias significativas ($p < 0.05$) entre grupos localizados mediante el análisis post-hoc Student-Newman-Keuls.

1 = Promedio \pm (error estándar)

2 = Masa corporal total

3 = Índice de MCT

4 = Índice de potencia

5 = Frecuencia cardíaca experimental

6 = Consumo de oxígeno absoluto

7 = Consumo de oxígeno relativo a la MCT

Tabla IV. Correlación y regresión lineal entre $\text{Pot}_{\text{máx}}$, $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}\text{Abs}$, $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}\text{Rel}$ y PulmáxO_2 de la muestra de grupos del deporte.Regresión (Y' = intercepto \pm pendiente $\cdot X$), correlación (r) lineal y nivel de significancia $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}\text{Abs}$ (Y') versus $\text{Pot}_{\text{máx}}$ (X)

$Y' = 1.0890 + (0.009 \cdot X)$	$N = 83$	$r = 0.50$	$p < 0.001$
		PulmáxO_2 (Y') versus $\text{Pot}_{\text{máx}}$ (X)	
$Y' = 8.0640 + (0.041 \cdot X)$	$N = 83$	$r = 0.40$	$p < 0.001$
		PulmáxO_2 (Y') versus $\text{FC}_{\text{máx}}$ (X)	
$Y' = 36.148 - (0.101 \cdot X)$	$N = 83$	$r = 0.40$	$p < 0.001$
		PulmáxO_2 (Y') versus $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}\text{Abs}$	
$Y' = -0.096 + (5.474 \cdot X)$	$N = 83$	$r = 0.92$	$p < 0.001$
		PulmáxO_2 (Y') versus $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}\text{Rel}$	
$Y' = 7.2850 + (0.192 \cdot X)$	$N = 83$	$r = 0.52$	$p < 0.00771$

Abreviaturas: ($\text{Pot}_{\text{máx}}$) potencia máxima; ($\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}$) consumo de oxígeno máximo absoluto (Abs) y relativo a la masa corporal total (Rel); (PulmáxO_2) pulso máximo de oxígeno; (N) tamaño de la muestra; (Y') variable dependiente estimada; X= variable independiente experimental; (r) Coeficiente de correlación de Pearson.

grupos de maratón, soccer, remo, 10 mil mp, 400 mp, caminata, 1,500 mp y 5 mil mp (Tabla II) e incluso, el maratón fue mayor que karate-do, 5 mil mp y 1,500 mp (Tabla II). **4G.** La diferencia significativa en PulmáxO_2 entre todos los grupos ($F_{\text{índice}} = 18$, $p < 0.001$) 4G, se ilustra en la Figura 1.

Correlación y regresión lineal entre variables de respuesta máxima ($\text{Pot}_{\text{máx}}$, $\text{FC}_{\text{máx}}$, $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}\text{Abs}$, $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}\text{Rel}$ y PulmáxO_2). Grupos del deporte. - El análisis de correlación y regresión lineal entre las variables estudiadas reveló, en todos los grupos del deporte (10G - no atletas) solamente un coeficiente alto, éste fue entre

$\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}\text{Abs}$ y PulmáxO_2 , con un coeficiente $r = 0.92$ y con, $r^2 = 0.85$ (Tabla IV). Hubo una correlación moderada entre $\text{Pot}_{\text{máx}}$ y $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}\text{Abs}$ ($r = 0.50$), baja entre $\text{Pot}_{\text{máx}}$ y PulmáxO_2 ($r = 0.37$), y moderada entre $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}\text{Rel}$ y PulmáxO_2 ($r = 0.52$), todos ellos con un amplio margen de dispersión respecto a la línea de regresión, como lo demuestra la r cuadrada ($r^2 = 0.25$, $r^2 = 0.14$, y $r^2 = 0.28$, respectivamente) (Tabla IV). La $\text{FC}_{\text{máx}}$ y el PulmáxO_2 mostraron una correlación pobre, de signo negativo ($r = -0.40$, $r^2 = 0.16$) (Tabla IV).

Las Tablas V, VI y VII contienen los resultados del análisis de correlación y de regresión lineal de las diferentes variables de respuesta máxima al ejercicio, dentro de los

Tabla V. Relación entre la frecuencia cardiaca máxima y el pulso máximo de oxígeno de los integrantes de los grupos 10G y 4G.Regresión (Y' = intercepto \pm pendiente $\cdot X$), correlación (r) lineal y nivel de significancia

Grupo			PulmáxO_2 (Y') versus $\text{FC}_{\text{máx}}$ (X):
10G	$Y'_{1500 \text{ mp}} = 47.762 - (0.172 \cdot X)$	$n = 13$	$r = -0.63$
10G	$Y'_{5 \text{ mil mp}} = 41.776 - (0.139 \cdot X)$	$n = 15$	$r = -0.55$
10G	$Y'_{20 \text{ km Caminata}} = 119.018 - (0.575 \cdot X)$	$n = 8$	$r = -0.72$
10G	$Y'_{\text{Remo}} = 49.685 - (0.16 \cdot X)$	$n = 8$	$r = -0.78$
4G	$Y'_{\text{K155}} = 40.404 - (0.132 \cdot X)$	$n = 36$	$r = -0.58$
4G	$Y'_{\text{MIX}} = 35.851 - (0.096 \cdot X)$	$n = 41$	$r = -0.45$

Abreviaturas: (PulmáxO_2) pulso máximo de oxígeno; ($\text{FC}_{\text{máx}}$) frecuencia cardiaca máxima; (n) tamaño del grupo; (Y') variable dependiente estimada; X= variable independiente experimental; (r) Coeficiente de correlación de Pearson; (km) kilómetros; (mp) metros planos; (K155) Karate-do (8) + 1,500 mp (15) + 5 mil mp (13); MIXTO caminata (8) + 400 mp (7) + 10 mil mp (8) + remo (8) + soccer (10).

Tabla VI. Relación entre el consumo de O₂ máximo absoluto y el pulso máximo de oxígeno de los integrantes de la muestra total y de los grupos 10G y 4G.

Regresión (Y' = intercepto ± pendiente·X), correlación (r) lineal y nivel de significancia

Grupo	PulmáxO ₂ (Y') versus $\dot{V}O_{2\text{máx}}\text{Abs}$ (X)			
10G	$Y'_{\text{No atletas}} = 2.101 + (4.422 \cdot X)$	n = 31	r = 0.92	p < 0.001
10G	$Y'_{\text{Karate-Do}} = 0.715 + (4.974 \cdot X)$	n = 8	r = 0.85	p < 0.008
10G	$Y'_{400 \text{ mp}} = -1.430 + (5.760 \cdot X)$	n = 7	r = 0.90	p < 0.006
10G	$Y'_{1,500 \text{ mp}} = -2.204 + (6.325 \cdot X)$	n = 13	r = 0.95	p < 0.001
10G	$Y'_{5 \text{ mil mp}} = -1.573 + (6.026 \cdot X)$	n = 15	r = 0.94	p < 0.001
10G	$Y'_{10 \text{ mil mp}} = -1.356 + (5.946 \cdot X)$	n = 8	r = 0.92	p < 0.001
10G	$Y'_{\text{Maratón}} = 3.497 + (4.515 \cdot X)$	n = 6	r = 0.96	p < 0.003
10G	$Y'_{\text{Caminata}} = -1.284 + (6.092 \cdot X)$	n = 8	r = 0.99	p < 0.001
10G	$Y'_{\text{Soccer}} = 1.218 + (5.163 \cdot X)$	n = 10	r = 0.90	p < 0.001
10G	$Y'_{\text{Remo}} = -5.63 + (6.748 \cdot X)$	n = 8	r = 0.81	p < 0.02
4G	$Y'_{\text{K155}} = -1.963 + (6.144 \cdot X)$	n = 36	r = 0.94	p < 0.001
4G	$Y'_{\text{MIX}} = -0.334 + (5.539 \cdot X)$	n = 41	r = 0.88	p < 0.001

Abreviaturas: (PulmáxO₂) pulso máximo de oxígeno; ($\dot{V}O_{2\text{máx}}\text{Abs}$) consumo de oxígeno máximo absoluto; (n) tamaño del grupo; (Y') variable dependiente estimada; X= variable independiente experimental; (r) Coeficiente de correlación de Pearson; (mp) metros planos; (K155) karate-do (8) + 1,500 mp (15) + 5 mil mp (13); MIXTO caminata (8) + 400 mp (7) + 10 mil mp (8) + remo (8) + soccer (10).

10G y de los 4G (Tablas: V_PulmáxO₂ y FC_{máx}; VI_PulmáxO₂ y $\dot{V}O_{2\text{máx}}\text{Abs}$; y VII_PulmáxO₂ y $\dot{V}O_{2\text{máx}}\text{Rel}$). La relación existente entre estas variables mostró que, el cambio promedio en la variable dependiente asociado con la unidad de cambio en la variable independiente (coeficiente de regresión) no fue el mismo para las diferentes especialidades del deporte; por ejemplo en el caso de VI_PulmáxO₂ versus $\dot{V}O_{2\text{máx}}\text{Abs}$ el coeficiente de correlación fue de un rango de 4.422 ($\text{mLO}_2 \cdot \text{latido}^{-1} / \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$) a 6.748 ($\text{mLO}_2 \cdot \text{latido}^{-1} / \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$) con un rango en su origen (intercepto) de 0.745 a -5.63 ($\text{mLO}_2 \cdot \text{latido}^{-1}$) en 10G (Tabla VI) y los coeficientes de regresión e interceptos en 4G

(K155 y mixto) fueron de 5.539 ($\text{mLO}_2 \cdot \text{latido}^{-1} / \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$) a 6.144 ($\text{mLO}_2 \cdot \text{latido}^{-1} / \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$) y de -0.334 a -1.963 ($\text{mLO}_2 \cdot \text{latido}^{-1}$), respectivamente (Tabla VI).

DISCUSIÓN

La observación de que Pot_{máx}, IP_{máx}, $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ y el PulmáxO₂, mostraron una tendencia en diferencias significativas para estas variables, entre los integrantes de 10G, justificó su re-agrupación en 4G y permitió observar estas diferencias, de manera más notoria, de potencia ergométrica máxima, potencia aerobia máxima y pulso máximo de oxígeno entre grupos 4G. Ello se interpreta, como una regularidad intrín-

Tabla VII. Relación entre el consumo de O₂ máximo relativo a la masa corporal total y el pulso máximo de oxígeno de los integrantes de los grupos 10G y 4G.

Regresión (Y' = intercepto ± pendiente·X), correlación (r) lineal y nivel de significancia

Grupo	PulmáxO ₂ (Y') versus $\dot{V}O_{2\text{máx}}\text{Rel}$ (X)			
10G	$Y'_{\text{No atletas}} = 5.612 + (0.202 \cdot X)$	n = 31	r = 0.70	p < 0.001
10G	$Y'_{5 \text{ mil mp}} = 3.782 + (0.237 \cdot X)$	n = 15	r = 0.69	p < 0.005
10G	$Y'_{\text{Caminata}} = 3.785 + (0.254 \cdot X)$	n = 8	r = 0.90	p < 0.002
10G	$Y'_{\text{Soccer}} = 5.993 + (0.246 \cdot X)$	n = 10	r = 0.86	p < 0.002
4G	$Y'_{\text{K155}} = 9.767 + (0.120 \cdot X)$	n = 36	r = 0.40	p < 0.03
4G	$Y'_{\text{MIX}} = 6.086 + (0.226 \cdot X)$	n = 41	r = 0.70	p < 0.001

Abreviaturas: (PulmáxO₂) pulso máximo de oxígeno; ($\dot{V}O_{2\text{máx}}\text{Rel}$) consumo de oxígeno máximo relativo a la masa corporal total; (n) tamaño del grupo; (Y') variable dependiente estimada; X= variable independiente experimental; (r) Coeficiente de correlación de Pearson; (mp) metros planos; (K155) karate-do (8) + 1,500 mp (15) + 5 mil mp (13); MIXTO caminata (8) + 400 mp (7) + 10 mil mp (8) + remo (8) + soccer (10).

seca en los integrantes de cada uno de los 4G, en la magnitud numérica de $Pot_{máx}$, $IP_{máx}$, $\dot{V}O_{2máx}$ y $PulmáxO_2$. Desde luego, habría que mencionar que el tamaño de los grupos, no es suficientemente grande para descartar del todo limitaciones por el número de integrantes por grupo, sobre todo en la mayoría de los grupos 10G; sin embargo, el reagrupar estos últimos y formar los 4G donde el tamaño de cada grupo es mayor (excepto en maratón), no sólo se hacen más notorias las diferencias entre grupos para las variables ergoespirométricas $Pot_{máx}$, $IP_{máx}$, $\dot{V}O_{2máx}Abs$, $\dot{V}O_{2máx}Rel$ y $PulmáxO_2$, sino que otras como el IMC, $FC_{máx}$ y $FC_{máx}Estimada$, siguen siendo similares entre grupos, como se observó en 10G, y por ello se descartan también efectos significativos del resto de las variables de antropometría general sobre las diferencias intragrupales observadas en $Pot_{máx}$, $IP_{máx}$, $\dot{V}O_{2máx}Abs$, $\dot{V}O_{2máx}Rel$ y $PulmáxO_2$.

Una de las observaciones más importantes de este trabajo fue que el $PulmáxO_2$, diferente entre grupos, dependió más de la potencia aerobia máxima absoluta que de la $FC_{máx}$ o de la potencia aerobia máxima relativa a la MCT. El otro hallazgo fue que, es posible escalafonar grupos del deporte en términos de $PulmáxO_2$ a partir de su reagrupación por su similitud en potencia aerobia máxima absoluta.

Análisis post-hoc entre no entrenados versus grupos del deporte. Antropometría general. - El grupo de no atletas (control) fue similar en MCT (excepto en 4G: no atletas > K155) e IMC con los grupos del deporte (10G y 4G). Una explicación general sería que, el grupo control lo formaron estudiantes físicamente activos (no sedentarios) y también porque la masa corporal magra (MCT menos adiposidad corporal) aumenta durante crecimiento y desarrollo, se estabiliza en la tercera década de la vida de no atletas y enseguida, en el sexo masculino disminuye a una velocidad acelerada por el envejecimiento¹⁹ pero, también puede haber influencias significativas por el tipo de alimentación y la constitución corporal¹⁶ que explicarían una MCT de no atletas > K155; sin embargo, esto último no necesariamente contradice la explicación general mencionada, ya que el IMC resultó similar entre no atletas y los grupos del deporte de 10G y 4G.

Respuesta ergométrica máxima. - Se observaron $Pot_{máx}$ e $IP_{máx}$ menores en el grupo de no atletas comparado con los grupos del deporte de 10G y 4G; porque si bien los no atletas eran personas físicamente activas, en realidad carecieron de un programa de adecuación fisicodeportiva de resistencia musculoesquelética²⁰.

Respuesta cardiopulmonar máxima ($FC_{máx}$, $\dot{V}O_{2máx}Abs$, $\dot{V}O_{2máx}Rel$ y $PulmáxO_2$). - La $FC_{máx}$ (experimental) fue similar entre los grupos (10G y 4G) de no atletas y del deporte, debido a su relación con la edad cronológica³, lo que coincide con la observación de la ausencia de diferencias significativas en edad cronológica y en $FC_{máx}Estimada$ entre grupos (10G y 4G).

La potencia cardiopulmonar ($\dot{V}O_{2máx}Abs$ y $\dot{V}O_{2máx}Rel$) y $PulmáxO_2$ menores en los grupos de no atletas respecto a

los del deporte 10G y 4G, se explica en los no entrenados, porque la potencia aerobia máxima es menor en no deportistas²¹ o en personas con disfunción cardiopulmonar²² y en los grupos del deporte, pues la potencia aerobia máxima aumenta después de un programa de entrenamiento²³. Todo ello reitera al $\dot{V}O_{2máx}Abs$, su importancia como una de las variables indicadoras del límite máximo para el desempeño fisicodeportivo de la habilidad atlética para mantener a cierto porcentaje del $\dot{V}O_{2máx}Abs$ durante ejercicio prolongado^{21,24,25}, mientras que el $\dot{V}O_{2máx}Rel$ se distingue como un indicador del grado de adaptación a un programa de entrenamiento^{20,24,25}. Estas observaciones han sido consistentes, no sólo en términos de $\dot{V}O_{2máx}Abs$ y $\dot{V}O_{2máx}Rel$ sino también en $PulmáxO_2$ de 10G y 4G.

Análisis post-hoc entre grupos del deporte (10G, 4G). Antropometría general. - A pesar de que hubo algunas diferencias significativas, entre algunos grupos del deporte de los 10G en las variables estatura (caminata y 5 mil mp < remo) y MCT (400 mp, 1,500 mp, 5 mil mp, 10 mil mp y caminata < remo; 1,500 mp, 5 mil mp y 10 mil mp < maratón), y de 4G, estatura (K155 < mixto < maratón) y MCT (K155 < mixto y maratón), el indicador de adiposidad y del estilo de vida²⁶ (IMC) no fue diferente entre ninguno de los 10G o 4G. Ello significa que la adiposidad corporal fue semejante entre ellos y que ésta refleja un estilo de vida parecido²⁷; es decir, una actividad fisicodeportiva regular de los integrantes de los grupos del deporte 10G y 4G libre del efecto de la edad cronológica (similar entre grupos).

Respuesta ergométrica máxima. - El trabajo ergométrico realizado por la masa musculoesquelética respecto al tiempo (resistencia musculoesquelética) depende del grado de adaptación (periférica) vascular y metabólica musculoesquelética^{20,21,23}. Por eso, una $Pot_{máx}$ menor observada entre algunos grupos 10G (karate-do < maratón, soccer y remo) y 4G (K155 < mixto y maratón), significa que mientras maratón (10G ó 4G), soccer (10G), remo (10G) y mixto (4G) recibieron una mayor preparación de resistencia musculoesquelética; por su parte, el karate-do (10G) y K155 (4G) tuvieron una menor preparación fisicodeportiva de resistencia musculoesquelética²⁰. En consecuencia, el $IP_{máx}$ también resultó karate-do < maratón, remo y soccer (10G), además de karate-do < 10 mil; pero $IP_{máx}$ fue similar entre los grupos del deporte de 4G (K155, mixto y maratón); por todo ello, sólo hubo una correlación y regresión lineal relativamente moderada entre $Pot_{máx}$ y $\dot{V}O_{2máx}Abs$, lo que apoya nuestra interpretación de una menor preparación de resistencia musculoesquelética en karate-do^{20,21}.

Respuesta cardiopulmonar máxima ($FC_{máx}$, $\dot{V}O_{2máx}Abs$, $\dot{V}O_{2máx}Rel$ y $PulmáxO_2$). - Los indicadores de resistencia cardiopulmonar $FC_{máx}$ y $\dot{V}O_{2máx}Abs$ del esfuerzo ergométrico máximo^{20,21}, resultan de una relación de acoplamiento existente entre el metabolismo energético de la masa musculoesquelética y el sistema hematocardiopul-

monar^{20,23}, estimulada por una función forzada ergométrica (ejercicio ergométrico) y en este trabajo resultaron similares en FC_{máx} (experimental y estimada) entre grupos (10G y 4G), lo cual es congruente con lo observado para grupos con edad cronológica³ similar. En cambio, $\dot{V}O_{2máx}$ Abs fue mayor en maratón comparado con karate-do, 1,500 mp, 5 mil mp, 10 mil mp y caminata en 10G, así como maratón > mixto > K155. En consecuencia, el $\dot{V}O_{2máx}$ Abs fue mejor indicador de resistencia cardiovascular que la FC_{máx}. Por eso el $\dot{V}O_{2máx}$ Abs es un indicador importante del límite máximo del desempeño fisicodeportivo, de la habilidad atlética para mantener cierto nivel de consumo de oxígeno durante ejercicio prolongado^{20,24,25}. Así, el grupo de maratón siempre resultó con mayor potencia aerobia máxima absoluta en 10G y 4G. Ahora bien, las diferencias en potencia aerobia absoluta, observadas entre todos los grupos del deporte 4G se explican porque un $\dot{V}O_{2máx}$ Abs numéricamente alto está relacionado con un programa de acondicionamiento fisicodeportivo e indica, por un lado, una mayor aptitud cardiorrespiratoria (central) de resistencia fisicodeportiva en un individuo o grupo en estudio^{20,28,29} y por otro, el que $\dot{V}O_{2máx}$ Abs puede aumentar también conforme a la capacidad individual de respuesta de adaptación (alta, intermedia o baja) a un programa de entrenamiento²³. Esto también puede ser la explicación de las diferencias de $\dot{V}O_{2máx}$ Abs observadas.

En contraste con las diferencias de $\dot{V}O_{2máx}$ Abs observadas entre grupos del deporte, la variable indicadora del grado de entrenamiento fisicodeportivo de resistencia ($\dot{V}O_{2máx}$ Rel) fue similar entre todos los grupo del deporte de alto rendimiento 10G y 4G, analogía también observada en atletas veteranos (50 a 82 años) de resistencia después de 10 años de seguimiento³⁰, es decir, como el $\dot{V}O_{2máx}$ Rel es el principal indicador del grado de entrenamiento fisicodeportivo de resistencia periférica, puede permanecer ($\dot{V}O_{2máx}$ Rel) sin cambio significativo, con el paso de los años si se mantiene la intensidad adecuada de entrenamiento fisicodeportivo de resistencia³⁰ o ser similar ($\dot{V}O_{2máx}$ Rel) en personas sometidas a diferentes programas de entrenamiento de alto rendimiento, como las estudiadas en este trabajo.

Debido a que el $\dot{V}O_{2máx}$ Rel, es otro indicador de la capacidad humana para una adaptación fisicodeportiva de resistencia central (v.gr., capacidad pulmonar de difusión, gasto cardíaco y capacidad sanguínea de transporte de O₂) y sobre todo periférica (v.gr., masa muscular esquelética; consumo de O₂; capacidad metabólica aerobia, etc.)^{23,30} al entrenamiento fisicodeportivo prolongado; entonces, un $\dot{V}O_{2máx}$ Rel similar en todos los grupos del deporte (10G y 4G), se explicaría (ante una función cardiopulmonar distinta) señalando que ello dependió principalmente de adecuaciones en la constitución corporal (v.gr., adiposidad corporal, somatotipo)³⁰ y en menor proporción del $\dot{V}O_{2máx}$ Abs.

Pues si bien es cierto que, a pesar de existir un potencial aerobio máximo diferente ($\dot{V}O_{2máx}$ Abs numéricamente distinto) en los grupos mencionados, la adecuación en resistencia fisicodeportiva fue igual ($\dot{V}O_{2máx}$ Rel similar) entre grupos del deporte 10G y 4G; también es necesario recor-

dar que el efecto de dividir el $\dot{V}O_{2máx}$ Abs entre la masa corporal total, permite “traducir” de modo cuantitativo (cifras numéricas de $\dot{V}O_{2máx}$ Rel) el grado de adaptación corporal de una persona o de un grupo, a una adecuación fisicodeportiva de resistencia²⁸⁻³⁰, porque la constitución del cuerpo es modelada por la actividad fisicodeportiva^{3,16,30}. Por ejemplo, durante un ejercicio de resistencia, aumenta progresivamente la capacidad de movilización y oxidación de lípidos durante el metabolismo energético musculoesquelético ejercitado, disminuye la adiposidad³⁰ y aún cuando el $\dot{V}O_{2máx}$ Abs permaneciera estable o cambiara poco, el efecto total sería un $\dot{V}O_{2máx}$ Rel mayor^{20,21,27}. En consecuencia, el $\dot{V}O_{2máx}$ Rel es el que mejor predice la habilidad atlética de resistencia²⁸⁻³⁰ entre grupos del deporte, porque el $\dot{V}O_{2máx}$ Rel está más relacionado con la eficiencia mecánica (trabajo realizado/gasto energético total)^{20,24} y porque existe una variación considerable individual en la economía del esfuerzo fisicodeportivo en términos de % $\dot{V}O_{2máx}$, aún en grupos de individuos de una misma especialidad deportiva con rangos de tiempo estrechos entre ellos^{6,25}.

El PulmáxO₂ es ligeramente mayor y significativo en pruebas de esfuerzo realizadas en banda “sin fin” comparadas con las hechas en cicloergómetro³¹. Incluso, la FC_{máx} y el PulmáxO₂ no muestran una variación sistemática durante la repetición de pruebas ergométricas de trabajo incrementado (tipo rampa)³¹. En el presente trabajo se utilizó cicloergómetro únicamente, por lo que se descartan variaciones causadas por ergómetros diferentes. De hecho, el rango de valores numéricos de PulmáxO₂ de la muestra total estuvo dentro de aquellos reportados por Mellerowicz y Smolak⁷: 7 a 20.3 (mLO₂·latido⁻¹).

Las diferencias de PulmáxO₂ observadas entre grupos del deporte de 10G (maratón > karate-do, 5 mil mp y 1,500 mp) y 4G (maratón > mixto > K155) se explican por el hecho de que el $\dot{V}O_{2máx}$ Abs (de origen multifactorial)^{23,20} marca el límite superior del desempeño en eventos deportivos de resistencia y su relación fue alta con PulmáxO₂; todo ello habla de un acople cardiopulmonar con el metabolismo energético musculoesquelético durante el esfuerzo máximo³⁰. También se sabe que, a mayor adecuación fisicodeportiva de resistencia, menor será la frecuencia cardíaca para cargas de trabajo submáximo y máximo²⁸, lo que a su vez puede causar un PulmáxO₂ mayor ante un $\dot{V}O_{2máx}$ Abs igual o menor²⁹. Por eso, mientras el PulmáxO₂ y $\dot{V}O_{2máx}$ Abs se distinguieron por tener una relación estrecha entre ellos, lo observado entre PulmáxO₂ y $\dot{V}O_{2máx}$ Rel y entre PulmáxO₂ y FC_{máx} fue una relación moderada o pobre, respectivamente. En este trabajo, sólo el grupo de maratón (10G ó 4G) tuvo las cifras numéricas promedio de PulmáxO₂ dentro del rango de atletas veteranos de alta competencia (20 a 22.4 mLO₂·latido⁻¹)³⁰, lo que quiere decir que los maratonistas fueron los de mayor capacidad aerobia y por lo mismo se descarta, también en ellos, la posibilidad de un efecto significativo por variaciones individuales en la respuesta cardiovascular al ejercicio³².

Debido a que el corazón aumenta su tamaño y grosor³³ (y con ello su FC disminuye durante el trabajo submáximo, pero no cambia la FC_{máx})³⁴ durante un acondicionamiento

to de resistencia fisicodeportiva, sería lógico esperar una relación significativa pero de valor numérico negativo entre la frecuencia cardiaca y el PulmáxO₂, lo que sólo se observó pobemente en este trabajo. No obstante, se sabe también que especialmente en los atletas existe un llenado diastólico temprano aumentado, que puede ser un mecanismo de aporte adecuado de sangre para un llenado ventricular a frecuencias cardíacas altas (v.gr., FC_{máx})³⁵. Por ejemplo, el corazón se adapta a una mayor carga hemodinámica en deportes donde predomina el movimiento rítmico y alternante de tipo concéntrico y excéntrico de los segmentos corporales y del cuerpo en sí (v.gr., caminata, maratón, etc.) sin generación predominante de fuerza; bajo estas condiciones de ejercicio, las características hemodinámicas básicas del corazón consisten en un aumento del gasto cardíaco, porque la carga impuesta al corazón es de tipo volumétrico³⁶. Si al acondicionamiento fisicodeportivo de tipo dinámico, se le complementa con otro en el que se incremente la resistencia vascular sistémica y la presión arterial, el resultado será un efecto vagotónico sobre el corazón (menor FC para las mismas condiciones experimentales submáxima y máxima) debido a una adaptación consistente en una mayor dimensión aurículo-ventricular (v.gr., izquierda) en deportistas^{33,36}. Ello explica que en aquellos casos, en los que se observó una relación significativa entre PulmáxO₂ y FC_{máx}, ésta fuese negativa. Sin embargo, la proporción en que ocurren las adaptaciones mencionadas sobre el corazón, es variable, no sólo debido a variaciones individuales, sino también a la intensidad, duración y frecuencia de adecuación fisicodeportiva en sus programas general y especial para cada deporte. Todo ello explicaría la ausencia de relación significativa entre PulmáxO₂ y FC_{máx} de karate-do, 400 mp, 10 mil mp, maratón y soccer en los 10G; así como las relaciones observadas también entre PulmáxO₂ y FC_{máx} de K155 (relativamente moderada) y MIX (pobre) en 4G. Además de las diferencias entre personas normales y entre atletas, ya han sido observados valores bajos de PulmáxO₂ en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) o con valvulopatía mitral³⁷, así como en pacientes con trasplante cardíaco y capacidad de difusión pulmonar normal ($> 10 \text{ mLO}_2 \cdot \text{latido}^{-1}$) o disminuida ($> 13 \text{ mLO}_2 \cdot \text{latido}^{-1}$)³⁸. Nery y cols³⁷ al contrastar las respuestas cardiovascular y respiratoria al ejercicio máximo en cicloergómetro de voluntarios sanos (control), en pacientes con EPOC o con valvulopatía mitral, encontró que el PulmáxO₂ fue de 13 (mLO₂·latido⁻¹) para los voluntarios, de 8.3 (mLO₂·latido⁻¹) en los pacientes con valvulopatía mitral más acidosis metabólica y de 5.3 (mLO₂·latido⁻¹) en los pacientes con EPOC con acidosis respiratoria³⁷. Lo que fue interpretado, como una dificultad en la entrega de O₂ a la masa musculoesquelética en los pacientes con valvulopatía mitral durante ejercicio máximo y como una incapacidad para incrementar el volumen espiratorio en proporción con la producción de CO₂ durante el esfuerzo máximo, en los de EPOC³⁷. Entonces, el PulmáxO₂ puede estar disminuido por una capacidad de desempeño fisicodeportivo limitada por el sistema respira-

torio, por la capacidad de transporte sanguíneo de O₂ y por la entrega de éste último en términos de flujo sanguíneo tisular a nivel musculoesquelético⁷.

Por el contrario, se han observado aumentos de PulmáxO₂ (13%) y de las potencias aerobia (12%) y ergométrica (25%) máximas, en pacientes con sintomatología inicial del síndrome de inmunodeficiencia adquirida, después de un programa de ejercicio ergométrico aerobia de 12 semanas²². El PulmáxO₂ de pacientes con cardiomiopatía hipertrófica (8 a 19 mLO₂·latido⁻¹) o de personas sanas (18 a 30 mLO₂·latido⁻¹) es significativamente menor comparado con atletas de alto rendimiento de la especialidad deportiva moderna de triatlón (22 a 34 mLO₂·latido⁻¹)³⁹; demostrando con ello, el efecto perjudicial de los trastornos de la homeostasis y de la falta de adecuación fisicodeportiva en la promoción de la salud y rehabilitación integral, sobre el PulmáxO₂ y la potencia aerobia máxima (central y periférica).

Billat y cols³⁹ demostraron en atletas de fondo y medio fondo en un estudio de antes versus después de 11 semanas de entrenamiento fisicodeportivo que, al estudiar los efectos de la intensidad y la duración sobre el desempeño fisicodeportivo aerobia individual, no aumentó significativamente el promedio de $\dot{V}O_{2\text{máx}}\text{Rel}$ (72 versus 73, mL·kg⁻¹·min⁻¹), ni la FC_{máx} (162 versus 165, latidos·min⁻¹) ni el PulmáxO₂ (20 versus 21, mL·latido⁻¹) pero, si mejoró la velocidad de desempeño fisicodeportivo asociada con el $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ (20.5 versus 21.1, km·h⁻¹)³⁹. De modo que, si en nuestro trabajo todos los integrantes de los grupos fueron voluntarios clínicamente sanos y el PulmáxO₂ se relacionó con Pot_{máx} y mejor aún con el $\dot{V}O_{2\text{máx}}\text{Abs}$ que con la FC_{máx}, se deduce en general, que el PulmáxO₂ dependió más de la contribución de la potencia aerobia máxima absoluta que de la frecuencia cardíaca máxima y que es probable que el menor y mayor PulmáxO₂ observado en los grupos de no atletas y de maratón, respectivamente, se deban a un menor y mayor llenado ventricular diastólico temprano, respectivamente, ya que no se observaron diferencias significativas en la FC_{máx} entre esos grupos. Estas diferencias observadas en PulmáxO₂^{38,39} coinciden con nuestra observación de que el PulmáxO₂ es más dependiente de $\dot{V}O_{2\text{máx}}\text{Abs}$ que de la FC_{máx}. Por otro lado, se descarta la posibilidad de que las diferencias en PulmáxO₂ y en $\dot{V}O_{2\text{máx}}\text{Abs}$ observadas entre grupos, hallan dependido de la edad; pues si bien, ambas variables (PulmáxO₂ y en $\dot{V}O_{2\text{máx}}\text{Abs}$) disminuyen con la edad²⁸, en este trabajo no hubo diferencia de edades entre grupos. Finalmente, nuestra hipótesis se comprobó parcialmente para el $\dot{V}O_{2\text{máx}}\text{Abs}$ por su relación significativa con el PulmáxO₂, pero no en todos los casos entre éste último y la FC_{máx}.

CONCLUSIÓN

El PulmáxO₂ de atletas mexicanos de especialidades deportivas distintas, se relacionó significativamente con el $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ absoluto pero no en todos los casos con la FC_{máx}. En consecuencia, se observaron diferencias significativas de PulmáxO₂ entre grupos de atletas reagrupados por su similitud en $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ y no porque una especialidad deportiva per-

se caracterizara al valor numérico del PulmáxO₂. El PulmáxO₂ es un indicador no invasivo que permite la evaluación complementaria de la función cardiorrespiratoria, con el que es posible caracterizar objetivamente la expresión del desempeño del sistema cardiovascular, sustentado por el funcionamiento del sistema respiratorio.

Agradecimientos

Expresamos nuestra gratitud a todos los atletas, entrenadores, personal y autoridades del Comité Olímpico Mexicano-Centro Deportivo Olímpico Mexicano por su cooperación y por las facilidades que brindaron en las instalaciones a su digno cargo.

Este trabajo fue posible, gracias al desarrollo experimental de los proyectos de investigación científica apoyados por la ESM, IPN (CGEPI:990-286), Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT:23151). Asimismo, nuestro agradecimiento a todos los estudiantes (voluntarios, colaboradores en investigación y PIFI), personal de apoyo a la docencia, personal docente y autoridades de la ESM; también a la exprofesora Ma. de los Ángeles Padilla P. del IPN; así como, a las distinguidas autoridades del IPN por su apoyo académico y administrativo. Expresamos nuestro agradecimiento al Dr. Celso García Espinosa y al H. Consejo Editorial del INER-SSa, por sus valiosas sugerencias para con esta comunicación.

REFERENCIAS

1. Adolph EF. Quantitative relations in the physiological constitution of mammals. *Science* 1949; 109:579.
2. Åstrand P-O. *Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age*. Kopenhagen: Munksgaard, 1952.
3. Åstrand P-O, Rodahl K. *Fisiología del trabajo físico. Bases fisiológicas del ejercicio*. 3a ed. Buenos Aires: Argentina, Médica Panamericana, 1996: 311.
4. Stringer WW, Hansen JE, Wasserman K. *Cardiac output estimated noninvasively from oxygen uptake during exercise*. *J Appl Physiol* 1997; 82: 908-912.
5. Whipp BJ, Higgenbotham MB, Cobb FC. *Estimation exercise stroke volume from asymptotic oxygen pulse in humans*. *J Appl Physiol* 1996; 81: 2674-2679.
6. Bernard O, Ouattara S, Maddio F, Jimenez C, Charpenet A, Melin B, et al. *Determination of the velocity associated with $\dot{V}O_{2\max}$* . *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32: 464-470.
7. Mellerowicz H, Smoldlaka VN. *Ergometry. Basics of medical exercise testing*. Baltimore: Maryland, EEUU, Urban & Schwarzenberg, 1981: 123-139.
8. Boone T, Gilmore S. *Effects of sexual intercourse on maximal aerobic power, oxygen pulse, and double product in male sedentary subjects*. *J Sports Med Phys Fitness* 1995; 35:214-217.
9. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Casaburi R, Whipp BJ. *Principles of exercise testing and interpretation*. 3rd ed. Hagerstown: EEUU, Lippincott Williams & Wilkins, 1999: 76-78, 185.
10. American College of Sport Medicine (1991). *Guidelines for evaluation of health status prior to exercise testing and prescription. Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 4th rev ed. Philadelphia: Lea & Febiger, EEUU, 1991: 1-313.
11. García RCh. *Atletismo 1984*. México: Federación Mexicana de Atletismo, 1984: 1-56.
12. García RCh. *Atletismo 1985*. México: Federación Mexicana de Atletismo, 1984: 1-56.
13. Federación Mexicana de Atletismo. *Anuario 1989*. DF: México, Comisión Nacional del Deporte de la Secretaría de Educación Pública y Confederación Deportiva Mexicana, 1989: 22.
14. Baker LL. *The Olympic Record. The official results of The Organization Committee of the XXIIIrd Olympiad*. Los Angeles: EEUU. Los Angeles Organizing Committee, 1984: 217-222.
15. Martin R, Saller K. *Lehrbuch der anthropologie I*. Stuttgart: Germany, Fisher, 1975.
16. Tanner JM. *The physique of the olympic athlete*. London: England, Allen & Unwin, 1964.
17. Padilla JP, Licea JM, Olvera GS, Durán LCh, López JIC. *Cinética del intercambio gaseoso y la frecuencia cardíaca durante una prueba de esfuerzo creciente en atletas mexicanos*. *Rev Inst Nal Enf Resp Méx* 1999; 12: 87-96.
18. Zar JH. *Biostatistical analysis*. 3rd ed. New Jersey: EEUU, Prentice Hall, 1996: 179-225, 372, 404-417.
19. Ganong WF. *Fisiología médica*. 16a ed. México: El Manual Moderno, 1998: 349.
20. Bassett DR, Howley ET. *Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance*. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32: 70-84.
21. Padilla JP, Eguía Lis MaCG, Licea JM, Taylor AW. *Capacidad aerobia y actividad deportiva en mexicanos de 13 a 56 años de edad*. *Arch Inst Cardiol Méx* 1998; 68: 224-231.
22. Perna FM, Laperriere A, Klimas N, Ironson G, Perry A, Pavone J, et al. *Cardiopulmonary and CD4 cell changes in response to exercise training in early symptomatic HIV infection*. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31: 973-979.
23. Saltin B, Strange S. *Maximal oxygen uptake: "old" and "new" arguments for a cardiovascular limitation*. *Med Sci Sports Exerc* 1992; 24: 30-37.
24. Daniels J. *A physiologist's view of running economy*. *Med Sci Sports Exerc* 1985; 17: 332-338.
25. Conley DL, Krahenbuhl G. *Running economy and distance running performance of highly trained athletes*. *Med Sci Sports Exerc* 1980; 12: 357-360.
26. Pérruse L, Lablanc L, Bouchard C. *Intergeneration transmission of physical fitness in the Canadian population*. *Can J Appl Sport Sci* 1988; 13: 8-14.
27. Padilla JP, Barbosa MaV, Eguía Lis MaCG, Huesca JMR, García LG, Santana FF. *Composición corporal del futbolista silente*. *Acta Mex Ciencia Tecol* 1990; VII(25-28): 25-32.
28. Rogers MA, Hagberg JM, Martin WH, Ehsani AA, Holloszy. *Decline in $\dot{V}O_{2\max}$ with aging in master athletes and sedentary men*. *J Appl Physiol* 1990; 68: 2195-2199.
29. Heath GW, Hagberg JM, Ehsani AA, Holloszy JO. *A physiological comparison of young and older endurance athletes*. *J Appl Physiol* 1981; 51: 634-640.
30. Pollock ML, Foster C, Knapp D, Rod JL, Schmidt DH. *Effect of age and training on aerobic and body composition of master athletes*. *J Appl Physiol* 1987; 62: 725-731.
31. Buchfuhrer MJ, Hansen JE, Robinson TE, Sue DY, Wasserman K, Whipp BJ. *Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment*. *J Appl Physiol* 1983; 55: 1558-1564.
32. Yamaguchi I, Komatsu E, Miyazawa K. *Intersubject variability in cardiac output- O_2 uptake relation on men during exercise*. *J Appl Physiol* 1986; 61: 2168-2174.

-
33. Pelliccia A, Maron BJ, Spataro AS, Proscham MA, Spiritu P. *The upper limit of physiologic cardiac hypertrophy in highly trained elite athletes.* N Engl J Med 1991; 324: 295-301.
34. Ekblom B, Åstrand P-O, Saltin B, Stenberg J, Wallström B. *Effect of training on circulatory response to exercise.* J Appl Physiol 1968; 24: 518-528.
35. Matsuda M, Sugishita Y, Koseki S, Ito I, Akatsuka T, Takamatsu K. *Effect of exercise on left ventricular diastolic filling in athletes and nonathletes.* J Appl Physiol 1983; 55: 323-328.
36. Crawford MH, Maron BJ. *El corazón del deportista.* Clin Med Nor 1992; 2: 205-302.
37. Nery LE, Wasserman K, French W, Oren A, Davis JA. *Contrasting cardiovascular and respiratory responses to exercise in mitral valve and chronic obstructive pulmonary diseases.* Chest 1983; 83: 446-453.
38. Ville N, Mercier J, Varray A, Albat B, Messner-Pellenc P, Préfaut C. *Exercise tolerance in heart transplant patients with altered pulmonary diffusion capacity.* Med Sci Sports Exerc 1998; 30: 339-344.
39. Billat VL, Flechet B, Petit B, Muriaux G, Koralsztein J-P. *Interval training at $\dot{V}O_{2\max}$: Effects on aerobic performance and overtraining markers.* Med Sci Sports Exerc 1999; 31: 156-163.