

Pulso de oxígeno y su cinética de la fase dos transitoria durante una prueba de esfuerzo máximo de $\dot{V}O_2$ en adultos mayores

Javier Padilla Pérez*

RESUMEN

Material y métodos. En el hombre adulto se evaluaron diferencias en la cinética ($T_{\text{tiempo}} R_{\text{respuesta}} M_{\text{media}}$ en seg) transitoria de la fase II del pulso de O_2 ($PuIO_2 = \dot{V}O_2 / F_{\text{recuencia}} C_{\text{cardiaca}}$, mL/latido cardiaco; Φ_{II} TRM $PuIO_2$) entre hombres adultos jóvenes (GJ = 8, 25 \pm 3; media \pm DE) y mayores (GM = 9, 70.9 \pm 5) que hicieron una prueba computada de ejercicio tipo rampa en cicloergómetro usando sus dos piernas. De los datos pulmonares de respiración-por-respiración de la $\dot{V}O_2$ y de latido-por-latido de la HR se calculó el $PuIO_{2\text{máx}}$ y la Φ_{II} de rampa transitoria de $PuIO_2$ fue modelada mediante regresión no lineal. **Resultados.** El $PuIO_{2\text{máx}}$ resultó menor ($P < 0.05$) en GM (13.84 \pm 1.92) comparado con GJ (19.64 \pm 2.71). No hubo diferencia cinética significativa ($P > 0.05$) en la Φ_{II} de rampa transitoria del $PuIO_2$ entre GJ (Φ_{II} TRM $PuIO_2 = 33.14 \pm 10.74$) y GM (Φ_{II} TRM $PuIO_2 = 44.39 \pm 12.47$). **Conclusiones.** Un $PuIO_{2\text{máx}}$ menor relacionado con la edad durante ejercicio de rampa se interpreta como resultado de un probable volumen sistólico disminuido y/o un fracaso para aumentar la extracción de oxígeno en GM. La Φ_{II} TRM $PuIO_2$ parece no reflejar diferencias relacionadas con la edad entre personas sanas de aptitud física promedio o mayor.

Palabras clave: Rampa, envejecimiento, pulso de oxígeno, cinética, tiempo de respuesta media.

ABSTRACT

Material and methods. We evaluated in the adult male kinetic ($M_{\text{ean}} R_{\text{esponse}} T_{\text{ime}}$ in s) differences during the on transient phase II O_2 pulse ($PuIO_2 = \dot{V}O_2 / H_{\text{ear}} R_{\text{ate}}$, mL/heart beat; Φ_{II} TRM $PuIO_2$) among young (YG = 8, 25 \pm 3, mean \pm SD) and old (OG = 9, 70.9 \pm 5) adult men, who performed a computed test ramp cycle ergometer exercise using both legs. $PuIO_{2\text{máx}}$ was calculated from the pulmonary data breath-by-breath of $\dot{V}O_2$ and beat-by-beat of HR, and also the transient ramp Φ_{II} $PuIO_2$ data was modeled using nonlinear regression. **Results.** The $PuIO_{2\text{máx}}$ was lower ($P < 0.05$) in OG (13.84 \pm 1.92) compared with YG (19.64 \pm 2.71). There was no significant difference ($P > 0.05$) in the kinetic transient ramp Φ_{II} TRM $PuIO_2$ between YG (Φ_{II} TRM $PuIO_2 = 33.14 \pm 10.74$) and OG (Φ_{II} TRM $PuIO_2 = 44.39 \pm 12.47$). **Conclusions.** A lower $PuIO_{2\text{máx}}$ related with age during ramp exercise is interpreted as a probable result of decreased stroke volume and/or a failure to increase oxygen extraction in the elderly group. The Φ_{II} TRM $PuIO_2$ appears do not to reflect age-related differences between healthy people of average fitness or greater.

Key words: Ramp, aging, oxygen pulse, kinetics, mean response time.

INTRODUCCIÓN

El ejercicio ergométrico como ejercicio incrementado desde reposo hasta lograr el máximo (tipo rampa) aplicado al adulto mayor, se emplea para estudiar el proceso de envejecimiento, debido a que la respiración celular es un componente fundamental de la bioenergética de la contracción músculo-esquelética, en el que el sistema hematocardiocirculatorio acopla la respiración celular con la ventilación pulmonar.¹ En consecuencia, la respuesta ergométrica

[potencia (Watts) y su índice ($W \cdot kg^{-1}$ $\frac{\text{Masa Corporal Total}}{\text{Masa Corporal Total}}$)], la respuesta espirométrica cardiopulmonar [ventilación espirada (\dot{V}_E , l \cdot min⁻¹), captación de oxígeno ($\dot{V}O_2$, l \cdot min⁻¹) y eliminación de bióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$, l \cdot min⁻¹) pulmonar], así como de frecuencia cardiaca (FC, latidos \cdot min⁻¹) y pulso de O_2 ($PuIO_2$, mL $O_2 \cdot$ latido⁻¹), representan una forma rápida y precisa de evaluar el estado fisiológico del sistema metabólico, cardiovascular y respiratorio.²

Normalmente, el gasto cardiaco y la FC se incrementan linealmente con el $\dot{V}O_2$ durante un ejercicio de carga incrementada de trabajo.¹ El $PuIO_2$ se calcula al dividir el $\dot{V}O_2$ entre la FC medida simultáneamente; depende del volumen de O_2 extraído por los tejidos periféricos y es el volumen O_2 absorbido por la sangre pulmonar durante un periodo de la FC.²

* Escuela Superior de Medicina del Instituto Politécnico Nacional. Canadian Centre for Activity and Ageing, School of Kinesiology, The University of Western Ontario (6501811FTGA), London, Ontario, Canada N6A 3K7.



La importancia del PuO_2 está en que su medición es igual al producto del volumen latido cardiaco por la diferencia arteriovenosa de O_2 ; conforme la carga de trabajo aumenta el PuO_2 también lo hace, principalmente a expensas de un aumento en la diferencia arteriovenosa de O_2 . De modo que si el volumen latido cardiaco disminuye, la diferencia arteriovenosa de O_2 , y con ello el PuO_2 , alcanza valores numéricos máximos.³

El PuO_2 máximo ($\text{PuO}_{2\text{máx}}$) es un indicador no invasivo que complementa la evaluación de la función ergométrica cardiopulmonar por ser una expresión del desempeño cardiovascular proveída por el respiratorio.⁴ Durante la transición del reposo al ejercicio el PuO_2 aumenta inmediatamente, debido a un aumento, tanto del volumen latido cardiaco como de la diferencia arteriovenosa de O_2 , mientras que el PuO_2 disminuye sin demora al terminar el ejercicio en el sujeto sano.²

No obstante, durante una prueba de esfuerzo máximo con componente de rampa –particularmente durante la fase II que guarda una relación exponencial entre el acoplamiento de la respiración celular y pulmonar al ejercicio incrementado–⁵ el cambio del PuO_2 por unidad de tiempo (cinética del PuO_2 en seg)⁶ no ha sido estudiado en adultos mayores clínicamente sanos, en la búsqueda de mecanismos relacionados con el envejecimiento.

HIPÓTESIS

Si un $\text{PuO}_{2\text{máx}}$ menor está relacionado con la edad, entonces también lo estará la cinética (TRM mayor) de la respuesta transitoria exponencial de la Φ_{II} PuO_2 durante una prueba de $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}$, de modo que el valor numérico promedio de la Φ_{II} TRMPuO₂ del grupo de adultos mayores resultará estadísticamente más alto que el del grupo de adultos jóvenes.

MATERIAL Y MÉTODOS

Voluntarios

Participaron varones, ocho adultos jóvenes (GJ de 23 a 30 años) y nueve adultos mayores (GM de 64 a 78 años) que fueron estudiados para su comparación en una publicación previa.^{7,8} Se usaron escalas estándar y estadiómetro calibrado para determinar la estatura (cm), MCT (kg), IMCT ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$).

Todos los sujetos eran sanos, sin diagnóstico de enfermedad cardiopulmonar y activos por encima de la aptitud físico-deportiva media. Ninguno de ellos estaba con medicación que afectara la función cardiopulmonar durante el

ejercicio. Se obtuvo el consentimiento después de explicar el protocolo experimental y los posibles riesgos a cada participante.

La investigación fue aprobada por la Universidad de Revisión de la Junta de Ciencias de la Salud. El Consejo Universitario de Revisión de Investigación en Sujetos Humanos aprobó esta investigación.

Prueba de rampa en cicloergómetro

Cada voluntario realizó con sus dos piernas una prueba computada de esfuerzo máximo tipo rampa ($\text{GJ} = 25 \text{ W}\cdot\text{min}^{-1}$; $\text{GM} = 15 \text{ W}\cdot\text{min}^{-1}$) sentado en un cicloergómetro (Lode, Model H-300-R) con ergoespirometría de circuito abierto (Ventilation Measurement Module-110, Alpha Technologies; Perkin Elmer MGA-1100 o Airspec MGA2000) de medición de respiración por respiración para determinar: $\dot{\text{V}}_{\text{E}}\text{T}$,^{7,8} $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{pico}}$, frecuencia cardiaca pico e intensidad máxima de trabajo.

La FC y el $\dot{\text{V}}\text{O}_2$ promedio de los 15 seg finales de la prueba de rampa previos a la fatiga fueron tomados de FCpico y $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{pico}}$, respectivamente. El $\dot{\text{V}}_{\text{E}}\text{T}$ fue definido como el $\dot{\text{V}}\text{O}_2$ en el que hay un incremento sistemático en el equivalente ventilatorio para $\dot{\text{V}}\text{O}_2$ ($\dot{\text{V}}_{\text{E}}/\dot{\text{V}}\text{O}_2$) y en la Po_2 al final de la espiración ($\text{P}_{\text{ET}}\text{O}_2$), pero sin incremento concomitante en el equivalente ventilatorio para $\dot{\text{V}}\text{CO}_2$ ($\dot{\text{V}}_{\text{E}}/\dot{\text{V}}\text{CO}_2$) o una disminución en la PCO_2 al final de la espiración ($\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$).

Fueron calculados la $\dot{\text{V}}\text{O}_2$ del $\dot{\text{V}}_{\text{E}}\text{T}$ ($\dot{\text{V}}_{\text{E}}\text{T} \dot{\text{V}}\text{O}_2$) y el $\text{PuO}_{2\text{máx}}$ de dividir el $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{pico}}$ ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$) entre la frecuencia cardiaca pico (latidos $\cdot\text{min}^{-1}$). Los datos cardiopulmonares fueron sumados matemáticamente y reportados, ya sea de respiración por respiración o por unidad de tiempo [$\dot{\text{V}}_{\text{E}}$, $\dot{\text{V}}\text{O}_2$, $\dot{\text{V}}\text{CO}_2$, $\dot{\text{V}}\text{CO}_2/\dot{\text{V}}\text{O}_2$, $\text{P}_{\text{ET}}\text{O}_2$, $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$, $\dot{\text{V}}_{\text{E}}/\dot{\text{V}}\text{O}_2$ y $\dot{\text{V}}_{\text{E}}/\dot{\text{V}}\text{CO}_2$ (P_{ET} , presión parcial del gas al final del volumen corriente)] mediante un integrador análogo y una computadora.⁹ La frecuencia cardiaca fue medida con un electrocardiógrafo (Harco, Sauerborn Modelo 500-1100) y se monitoreó con un tacómetro.

Análisis de datos

Las Φ_{II} de FC y de $\dot{\text{V}}\text{O}_2$ fueron determinadas mediante regresión lineal simple e inspección visual de entre toda la respuesta cardiopulmonar al ejercicio creciente tipo rampa.⁵ El modelo de componente de rampa utilizado para describir la respuesta cinética de la Φ_{II} de la respuesta cardiopulmonar se describió previamente,^{5,6} proporciona una estimación de la línea de base (a0), amplitud (ax), tiempo de retraso (TDx) y constante de tiempo (tx), donde x se refiere a un componente específico en el modelo de componentes múltiples.



Los parámetros cinéticos para la respuesta cardiopulmonar en transición en la salida de la rampa se determinaron en función del tiempo $[f(t)]$, utilizando las técnicas de regresión no lineal computada para adaptarse a una expresión exponencial única a cada curso del tiempo de respuesta.⁵ Así, se obtuvo el cambio una variable cardiopulmonar transitorio por unidad de tiempo para cada variable de interés como: $dFC \cdot dt^{-1}$ (latidos \cdot min⁻¹), $d\dot{V}O_2 \cdot dt^{-1}$ (mL \cdot min⁻¹) y $dPulO_2 \cdot dt^{-1}$ (mL de $O_2 \cdot$ min⁻¹).

Los parámetros del modelo fueron determinados por regresión no lineal de los mínimos cuadrados,¹⁰ en la que se define el mejor ajuste por la minimización de la suma de cuadrados residuales (RSS) o con la suma del error de los cuadrados (MSE) que son las desviaciones internas que modela el cuadrado de la media.¹¹

El curso temporal de las respuestas Φ_{II} de FC y de $\dot{V}O_2$ se determinó a partir del $M_{\text{ean}} R_{\text{esponse}} T_{\text{ime}}$ (MRT) –único parámetro cinético utilizado para las comparaciones–, el cual se calcula a partir de una suma ponderada de TD y τ para cada componente. El MRT es equivalente al tiempo necesario para alcanzar aproximadamente 63% de la diferencia entre a_0 y el nuevo valor de estado estacionario.

Análisis estadístico

Se aplicó análisis de medidas de tendencia central y la Prueba t de Student para comparar las variables de interés y los parámetros temporales¹² con una significancia de $p \leq 0.05$. Mientras no se especifique lo contrario, todos los datos numéricos son media $\pm D_{\text{esviación}} E_{\text{stándar}}$.

RESULTADOS

Características físicas y prueba de ejercicio de rampa

Las comparaciones de los datos antropométricos entre GJ y GM no resultaron significativamente diferentes en estatura (GJ vs. GM, cm 180 ± 6 , 174 ± 6), MCT (kg 79 ± 9 , 80 ± 10) y IMCT (kg \cdot m⁻²: 24.49 ± 2.32 , 26.32 ± 3.05), pero sí en edad como se esperaba ($25 \pm 4 < 71 \pm 5$, $t_{a0.05} = 23.6$, $P < 0.001$).

Los datos cardiopulmonares pico de la prueba de tipo rampa en los GJ y GM se muestran en el cuadro 1. Como se esperaba, todos los datos ergométricos, ergoespirométricos y del umbral ventilatorio (excepto $\dot{V}_E T$, % $\dot{V}O_2$ pico) resultaron significativamente diferentes entre GJ y GM (Cuadro 1).

Parámetros estimados de la Φ_{II} TRMPulO₂

El resumen de los parámetros estimados del curso temporal transitorio de la Φ_{II} TRMPulO₂ del ejercicio de componente de rampa en GJ y GM se muestran en el cuadro 2. La amplitud total (mL $O_2 \cdot$ latido⁻¹) y la constante de tiempo resultaron significativamente mayor y menor, respectivamente, en GJ comparado con GM (Cuadro 2).

PulO_{2max} y Φ_{II} TRMPulO₂

El PulO_{2max} y el TRMPulO₂ transitorio de la Φ_{II} del ejercicio de componente de rampa en GJ y GM se mues-

Cuadro 1. Datos del grupo de adultos jóvenes (n = 8) y grupo de adultos mayores (n = 9).

Variable	GJ	GM	GJ-GM	t Student	P _{valor}
	Ergoespirometría pico				
Potencia ergométrica, watts	249.8 \pm 45.7	128.44 \pm 20.84	121.431	7.2	≤ 0.001
Potencia aerobia ($\dot{V}O_2$):					
$\dot{V}O_2$, l \cdot min ⁻¹	3.8 \pm 0.62	2.2 \pm 0.41	1.550	6.2	≤ 0.001
$\dot{V}O_2$, mL \cdot min ⁻¹ \cdot kg ⁻¹	47.4 \pm 6.4	28.1 \pm 7.2	19.2	6.0	≤ 0.001
$\dot{V}CO_2$, l \cdot min ⁻¹	4.4 \pm 0.84	2.5 \pm 0.36	1.933	6.3	≤ 0.001
\dot{V}_E , l \cdot min ⁻¹	141 \pm 36	96 \pm 30	44.5	2.8	0.01
$F_{\text{recuencia}} C_{\text{ardíaca}}$, latidos \cdot min ⁻¹	190.8 \pm 14	158 \pm 15	32.4	4.6	≤ 0.001
Umbral ventilatorio ($\dot{V}_E T$):					
$\dot{V}_E T$, Watts	250 \pm 46	128 \pm 21	121.4	7.2	≤ 0.001
$\dot{V}O_2 \dot{V}_E T$, mL \cdot min ⁻¹	1919 \pm 202	1333 \pm 139	586.1	7.0	≤ 0.001
$\dot{V}_E T$, % $\dot{V}O_2$ pico	51.4 \pm 4.5	62.0 \pm 7.8	-10.6	3.4	0.004

Los valores numéricos son media \pm DE.



Cuadro 2. Resumen de los parámetros estimados del curso temporal transitorio del pulso de oxígeno de la fase dos del ejercicio de componente de rampa en grupos de adultos.

$L_{\text{base}}^{\text{linea de base}}$ ($\text{mLO}_2 \cdot \text{latido}^{-1}$)	$A_{\text{amplitud}}^{\text{total}}$ ($\text{mLO}_2 \cdot \text{latido}^{-1}$)	$T_{\text{tiempo de}}^{\text{Retardo}}$ (seg)	$C_{\text{constante de}}^{\text{Tiempo}}$ (seg)	RSS ($\times 10^{-4}$)	MSE
GJ (n = 8)					
11.61 ± 2.02	0.91* ± 0.18	1.98 ± 5.28	31.17** ± 5.47	17.71 ± 46.53	265.47 ± 6963.0
GrupoM (n = 8)					
9.94 ± 1.10	0.55* ± 0.40	3.84 ± 5.21	40.55** ± 8.53	81.33 ± 153.60	5003.5 ± 8955.0

Los valores numéricos son media ± DE. **RSS:** Suma de regresión de los cuadrados (desviaciones explicadas desde la media cuadrada no lineal) expresado como RSS $\times 10^{-4}$. **MSE:** Suma de error de los cuadrados (las desviaciones internas que modela el cuadrado de la media). Pares de letras iguales son diferencias significativas entre grupos determinadas mediante la Prueba t de Student: *t = 2.34, P = 0.04; **t = 2.62, P = 0.02.

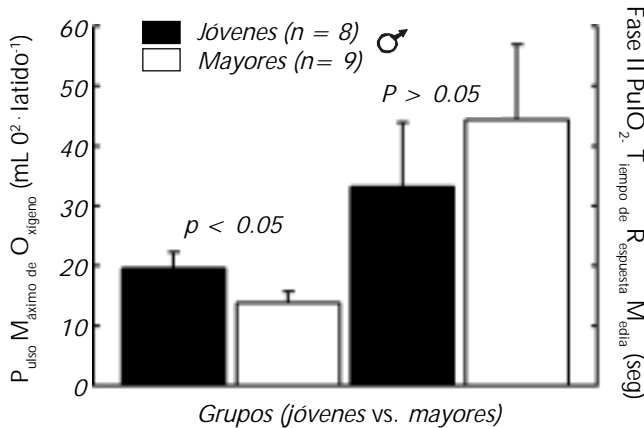


Figura 1. Pulso máximo de oxígeno ($\text{PulO}_{2\text{máx}}$) y tiempo de respuesta media exponencial transitoria del PulO_2 de fase dos (Fase II PulO_2 TRM) del ejercicio de componente de rampa en GJ y GM. La altura de cada barra es el valor promedio y la línea perpendicular sobre ella es su desviación estándar. $P < 0.05$ es una diferencia significativa de $\text{PulO}_{2\text{máx}}$ entre GJ y GM, pero no en términos de Fase II PulO_2 TRM ($P > 0.05$).

tran en la figura 1. Sólo el $\text{PulO}_{2\text{máx}}$ ($\text{mLO}_2 \cdot \text{min}^{-1}$) resultó significativamente mayor (t = 5.1, $P \leq 0.001$) con 5.8 $\text{mLO}_2 \cdot \text{min}^{-1}$ en GJ (19.6 ± 2.7) comparado con GM (13.8 ± 2.0) (Figura 1).

DISCUSIÓN

Características físicas y prueba de ejercicio de rampa

Las cifras cardiorrespiratorias máximas y de $\dot{V}_{\text{E}}T$ de los voluntarios estuvieron sobre las de aptitud física prome-

dio.¹³ La similaridad de los datos antropométricos entre GJ y GM en estatura, MCT e IMCT, pero no en edad cronológica como se esperaba, permitió atribuir diferencias relacionadas con el envejecimiento^{14,15} para el $\text{PulO}_{2\text{máx}}$ y la Φ_{II} TRMPulO₂, motivo de este trabajo, así como los ya conocidos datos ergométricos y cardiopulmonares.¹⁶ Por ejemplo, no fue sorpresa que los datos de potencia ergométrica máxima,¹⁷ ergoespiométricos (potencia aerobia absoluta y relativa máximas¹⁸), $\dot{V}\text{CO}_2$ y \dot{V}_{E} máximos,¹⁹ además del umbral ventilatorio (excepto $\dot{V}_{\text{E}}T$, % $\dot{V}\text{O}_{2\text{pico}}$ mayor en GM)¹⁷ fueran mayores en GJ comparados GM.

$\text{PulO}_{2\text{máx}}$

Se explicó un $\text{PulO}_{2\text{máx}}$ ($\text{mLO}_2 \cdot \text{min}^{-1}$) del ejercicio de componente de rampa mayor en GJ comparado con GM, porque el PulO_2 normalmente se incrementa con el ejercicio hasta lograr la respuesta ergométrica máxima, reflejando los aumentos en el volumen latido y en la extracción de O_2 ,²⁰ menores en adultos mayores comparados con adultos jóvenes.⁷ Es decir, un $\text{PulO}_{2\text{máx}}$ menor en GM durante el ejercicio incrementado puede deberse a un volumen de eyección reducido y/o a un fracaso para aumentar la extracción de oxígeno.²¹

Parámetros estimados de la Φ_{II} TRMPulO₂

La mayor amplitud total ($\text{mLO}_2 \cdot \text{latido}^{-1}$) en GJ comparado con GM se explica porque el PulO_2 submáximo también se incrementa durante el ejercicio ergométrico incrementado. Por un lado, porque durante la fase dos de una prueba de rampa se observa una extracción de O_2 lineal y exponencialmente mejor relacionada con la frecuencia cardíaca y, por otro lado, porque el volumen



latido también es mayor en jóvenes comparados con adultos.^{20,21}

El tiempo de retraso no resultó significativamente diferente, pero sí la constante de tiempo (fue mayor en GM comparado con GJ), debido a que el indicador de la velocidad de cambio (TRM) del Φ_{II} PuIO₂ es la suma de los dos primeros parámetros temporales estimados; se esperaría que el Φ_{II} TRMPuIO₂ fuera diferente entre los grupos de este trabajo. No obstante, fue así, lo que se explica porque el TRM es un indicador cinético global que resulta de la primera derivada de la forma de la regresión lineal del modelo exponencial de componente de rampa.²²

Φ_{II} TRMPuIO₂

Contrario a lo que se esperaba, la diferencia en la cinética (TRM) del PuIO₂ transitorio de la Φ_{II} del ejercicio de componente de rampa (Φ_{II} TRMPuIO₂) entre GJ y GM, no resultó estadísticamente significativa.

Al ser éste el primer trabajo al respecto, es difícil explicarlo. Una limitación en este estudio pudo ser el tamaño pequeño de la muestra; sin embargo, otra probable explicación es que a la intensidad de esfuerzo ergométrico de la Φ_{II} de la prueba incrementada de esfuerzo máximo, la cinética global de la misma respecto al parámetro fisiológico $\dot{V}O_2 \cdot FC^{-1}$ (PuIO₂), no refleja la cinética lenta de la fase dos transitoria de $\dot{V}O_2$ y FC relacionada con la edad, observada en un estudio previo del autor.²³

Se ha observado que, por ejemplo, el pulso de O₂ correlaciona directamente con la diferencia sistémica arteriovenosa de O₂ en pacientes con miopatía mitocondrial, pero dicha correlación no ocurre en sujetos sanos;²⁴ lo que coincide con la ausencia de diferencia significativa de Φ_{II} TRMPuIO₂ en este trabajo, ya que los integrantes de los grupos estudiados estuvieron sobre los de aptitud física promedio.^{13,14} No obstante, es necesario continuar con este tipo de estudios sobre la cinética transitoria del PuIO₂ de diferentes intensidades del ejercicio ergométrico y su probable relación con el envejecimiento, en la búsqueda de un mejor parámetro indicador de la capacidad cardiopulmonar a lo largo de la edad cronobiológica.

CONCLUSIONES

Un pulso máximo de oxígeno de valor numérico menor resultó relacionado con la edad, pero no con la cinética del pulso de oxígeno transitorio de la fase dos de la prueba de esfuerzo creciente de componente de rampa entre grupos adultos de jóvenes y de mayores.

AGRADECIMIENTOS

Una expresión de gratitud a todos los voluntarios que participaron en este estudio y a Brad Hansen por su excelente asistencia técnica. La ayuda financiera fue proporcionada por una subvención de un proyecto a cargo de John M. Kowalchuk, PhD, apoyado por The Natural Sciences and Engineering Council, Canada. Javier Padilla Pérez fue apoyado por la Escuela Superior de Medicina, COFAA-EDD-CGEPI-COTEPABE, Instituto Politécnico Nacional, CONA-CyT (2236), México. Esta investigación se realizó en The Centre for Activity and Ageing (affiliated with the School of Kinesiology and Faculty of Medicine at The University of Western Ontario and The Lawson Research Institute at the St. Joseph's Health Centre).

REFERENCIAS

1. Whipp BJ. The bioenergetics and gas exchange basis of exercise testing. Clin Chest Med 1994; 15: 173-92.
2. Wasserman K, Hansen E, Sue DY, Casaburi R, Whipp BJ. Principles of exercise testing and interpretation: Including pathophysiology and clinical applications. N.Y. USA: Lippincott Williams & Wilkins; 1999.
3. Sietsema KE, Daly JA, Wasserman K. Early dynamics of O₂ uptake and heart rate by exercise work rate. J Appl Physiol 1989; 67: 2535-41.
4. 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(2): 214-7.
5. Padilla JP, Licea JM, Olvera GS, Duran L, López JIC. Cinética del intercambio gaseoso y la frecuencia cardíaca durante una prueba de esfuerzo creciente en atletas mexicanos. Rev INER 1999; 12(2): 87-96.
6. Padilla JP, Ojeda PC, Fernández YC, Licea JM. Pulso máximo de oxígeno en atletas mexicanos de alto rendimiento. Rev INER 2000; 13(2): 73-84.
7. Padilla JP, Kowalchuk JM, Taylor AW, Paterson DH. Phase two on-transient $\dot{V}O_2$ kinetics is slow age-related during submaximal exercise in adult men. Rev Hosp Jua Méx 2008a: 75(3): 166-82.
8. Padilla JP, Kowalchuk JM, Taylor AW, Paterson DH. Comparison of model estimates of phase two on-transient $\dot{V}O_2$ uptake kinetics during submaximal exercise in old men. Rev Hosp Jua Méx 2008b: 75(3): 151-65.
9. Paterson DH, Cunningham DA, Babcock MA. Oxygen kinetics in the elderly. In: Swanson GD, Grodins FS, Hughson RL (eds.). Respiratory control: A modelling perspective. N.Y. USA: Plenum Press; 1989.
10. Marquardt DW. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. J Soc Indust Appl Math 1963; 11(2): 431-41.



11. Motulsky HJ, Ransnas LA. Fitting curves to data using nonlinear regression: a practical and nonmathematical review. *FASEB J* 1987; 1: 365-74.
12. Zar JH. *Biostatistical analysis*. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall, Inc.; 1996.
13. Astrand I. Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol Scand* 1960; 49(Suppl.): S169.
14. Astrand I, Astrand PO, Hallback I, Kilbom A. Reduction in maximal oxygen uptake with age. *J Appl Physiol* 1973; 35: 649-54.
15. Holloszy JO, Kohrt WM. Exercise. In: *Handbook of Physiology. Aging*. Bethesda (MD), USA: American Physiological Society; 1995.
16. Inbar O, Oren A, Scheinowitz M, Rotstein A, Dlin R, Casaburi R. Normal cardiopulmonary responses during incremental exercise in 20-yr-old to 70-yr-old men. *Med Sci Sports Exerc* 1994; 26: 538-46.
17. Metter EJ, Conwit R, Tobin J, Fozard JL. Age-associated loss of power and strength in the upper extremities in women and men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1997; 52A: B267-B276.
18. Malbut KE, Dinan S, Young A. Aerobic training in the "oldest old": the effect of 24 weeks of training. *Age Ageing* 2002; 31: 255-60.
19. De Lorey DS, Birkley BL, Balumbo PS, Levine BD, Babb TG. Progressive mechanical ventilatory limitations. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30: 42.
20. Munhoz EC, Hollanda R, Vargas JP, Silveira CW, Lemos AL, Hollanda RMK, Ribeiro JP. Flattening of oxygen pulse during exercise may detect extensive myocardial ischemia. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39: 1221-6.
21. Coggan AR, Abduljalil AM, Swanson SC, et al. Muscle metabolism during exercise in young and older untrained and endurance-trained men. *J Appl Physiol* 1993; 75: 2125-33.
22. Lamarra N. Ventilatory control, cardiac output, and gas exchange dynamics during exercise transients in man. Los Angeles, California: University of California; 1982. Thesis [Dissertation].
23. Padilla JP. Slow age-related phase II on-transient $\dot{V}O_2$ and heart rate kinetics during ramp exercise in adult men. *Rev Hosp Jua Méx* 2010; 77(4): 245-54.
24. Wyrick PS, Taivassalo T, Haller RG. Oxygen pulse during cycle exercise in mitochondrial myopathy. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35 (Suppl.): S94.

Solicitud de sobreiros:

Javier Padilla Pérez MD, MSc
 Fisiología del Ejercicio
 Escuela Superior de Medicina 3er piso
 Instituto Politécnico Nacional
 Casco de Santo Tomás, DMH
 C.P. 11340, México D.F.
 Tel.: (55) 5729-6300 Ext./Fax 62733
 Correo electrónico: japadillap@ipn.mx