

Monograph

# Aumento en el Consumo de Oxígeno al Comienzo de un Ejercicio de Carga Constante en Ciclistas de Elite: Un Fenómeno no Descrito

A. R Hoogeveen<sup>1</sup> y H. A Keizer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Maxima Medisch Centrum Veldhoven, 5500 MB Veldhoven, Holanda.

## RESUMEN

En investigaciones previas realizadas en dos laboratorios diferentes observamos un pico en el consumo de oxígeno al comienzo de un ejercicio de carga constante en ciclistas bien entrenados. El objetivo de este estudio fue investigar este fenómeno que no ha sido descrito hasta el momento. Quince ciclistas de elite de sexo masculino (edad  $26.3 \pm 3.3$  años, altura  $180.7 \pm 5.3$  cm, y masa corporal  $72.5 \pm 3.6$  kg) realizaron un test de ejercicio en una bicicleta ergométrica con carga constante (250 Watts). Durante este ejercicio de carga constante se determinaron las cinéticas de ventilación y de intercambio gaseoso. Los datos de intercambio gaseoso fueron registrados en cada una de las exhalaciones luego promediados y a continuación fueron ajustados según una función polinómica de grado seis. El consumo de oxígeno submáximo promedio durante estado estable fue de  $3320 \pm 128$  mL/min. El valor promedio de  $r^2$  de las funciones polinómicas fue de  $0,93 \pm 0,04$ . El consumo de oxígeno máximo promedio en el máximo de la curva obtenida de las funciones polinómicas fue de  $3528 \pm 144$  mL/min. El consumo máximo de oxígeno promedio en exeso fue alcanzado luego de los  $76,9 \pm 13,0$  segundos (en un intervalo comprendido entre 65 y 90 seg) transcurridos desde el comienzo del ejercicio. En tres participantes, no se observó claramente una extralimitación en el consumo de oxígeno y la curva mostró claramente un patrón monoexponencial. Este  $VO_2$  aumentado no concuerda con los modelos de cinética exponencial clásica, en los cuales el consumo de oxígeno se incrementa en forma continua. El fenómeno de extralimitación en el  $VO_2$  tendrá una gran influencia sobre el análisis de la respuesta del consumo de oxígeno con los modelos mono o biexponenciales y la determinación del déficit de oxígeno. En este artículo introducimos un componente de cambio adicional al comienzo del ejercicio. En el futuro, recomendamos que se agreguen este tipo de componentes de cambio a las ecuaciones exponenciales clásicas para analizar la respuesta a corto plazo del consumo de oxígeno. Es necesario investigar los mecanismos fisiológicos del que hacen que el  $VO_2$  sea superior al comienzo del ejercicio.

**Palabras Clave:** extralimitación del  $VO_{2\max}$ , déficit de Oxígeno, cinética del consumo de oxígeno ( $VO_{2\max}$ )

## INTRODUCCION

La cinética de incorporación de oxígeno ha sido extensamente estudiada a partir de 1913 donde se informó por primera vez la naturaleza exponencial de las respuestas de intercambio gaseoso durante ejercicios de carga constante (1, 6). El

consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ) que se produce luego de un incremento escalonado en la tasa de trabajo puede ser caracterizado a través de los dos componentes que lo constituyen; un componente cardiorespiratorio inicial con contenido de oxígeno venoso mixto e invariable (Fase 1) y un componente metabólico posterior (Fase 2) que comenzaría cuando llega a los pulmones la sangre venosa proveniente de los músculos (2, 3, 5, 6). El componente cardiorespiratorio desempeña un papel en la cinética del consumo de oxígeno en los primeros 20-30 segundos posteriores a la transición reposo -ejercicio (2,6).

Xu y Rhodes (5) han analizado recientemente la segunda fase o componente metabólico de la respuesta del consumo de oxígeno al comienzo de un ejercicio. Las respuestas que se producen en intensidades de ejercicio inferiores al umbral de lactato pueden ser descritas mediante una ecuación matemática monoexponencial (ver sección discusión). Durante la realización de ejercicio intenso la respuesta del consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ) se torna más compleja y está formada por dos componentes. Inicialmente la respuesta se incrementa exponencialmente, sin embargo, transcurridos algunos minutos, se desarrolla lentamente un componente adicional que causa un incremento en el  $\text{VO}_2$  a lo largo del ejercicio de carga constante (aumento o *drift* del  $\text{VO}_2$ ). No se conoce con claridad, cuales son los posibles mecanismos que regulan estos dos componentes (rápido y lento).

A lo largo de los últimos años y en dos laboratorios independientes observamos un fenómeno de exceso en el consumo de oxígeno notable en el comienzo de tests de carga constante en atletas de resistencia muy bien entrenados. Justo antes de alcanzar el nivel de estado estable, en los primeros dos minutos de ejercicio, el  $\text{VO}_2$  se hace máximo superando al nivel del estado estable alcanzado en los minutos siguientes. Según nuestros conocimientos esta observación nunca fue descrita antes. Este consumo de oxígeno por encima del nivel de estado estable no concuerda con los modelos convencionales mono o biexponenciales, que han sido extensamente descriptos por Leyk et al. (2), Xu et al. (5), y Yoshida et al. (6).

El objetivo de este estudio fue describir y discutir el fenómeno de  $\text{VO}_2$  máximo al comienzo de un ejercicio de carga constante. Esta respuesta inicial del  $\text{VO}_2$  fue evaluada en ciclistas entrenados en resistencia y además se discuten las características y los posibles mecanismos involucrados.

## METODOS

### Sujetos

Quince ciclistas profesionales y amateur integraron el grupo de estudio voluntariamente (edad  $26,3 \pm 3,3$  años, talla  $180,7 \pm 5,3$  cm, masa corporal  $72,5 \pm 3,6$  kg) dando su consentimiento por escrito. El porcentaje de masa corporal fue determinado utilizando las mediciones de cuatro pliegues cutáneos según lo descrito por Durnin y Womersley (7). Los participantes no tenían ninguna enfermedad grave ni se encontraban tomando drogas o medicación durante la realización del estudio. Además, todos los participantes completaron todas las evaluaciones sin ninguna enfermedad aguda o infección. Los sujetos habían entrenado regularmente como mínimo durante 6 años ( $9,1 \pm 3,6$  años). No fue registrado el volumen e intensidad exactos de entrenamiento y competición llevados a cabo por cada uno de los participantes. Sin embargo la duración de entrenamiento promedio incluyendo la competición, fue de  $13,3 \pm 4,6$  horas/semana durante los 4 meses previos a la realización del test.

### Procedimientos de Evaluación

Los participantes debieron abstenerse por 24 hs. de realizar ejercicios intensos y de competir en las 72 hs previas a la realización del estudio. Se les brindó instrucciones para que el día previo al test de ejercicio realizarán una dieta rica en carbohidratos. Antes de comenzar cada test, los sujetos realizaron un precalentamiento de 5 min que consistió en realizar ejercicios en bicicleta con una carga de 50 vatios (W). Luego de esto, realizaron un descanso de 2 min, y posteriormente la carga de trabajo se incrementó repentinamente (con una demora menor a 1 s) a 250 W durante 5 min.

Todas las mediciones se realizaron en las mismas condiciones de temperatura ( $22^\circ$  Celsius) y humedad (55%). La posición del asiento en la bicicleta ergométrica (*Excalibur-sport, Lode. Groningen*) fue adaptada a cada uno de los participantes para lograr la misma posición que en una competencia. Para obtener minuto a minuto un ECG de 12 derivaciones se utilizó un dispositivo ECG (*Jaeger BeNeLux BV, Breda, Netherlands*). Los participantes eligieron la cadencia propia, aunque ésta debía estar comprendida entre 80 y 100 rev/min.

Los participantes respiraban a través de una máscara conectada por medio de un tubo elástico a un sistema automático de análisis de gases espirados por calorimetría indirecta (*Oxycon, Jaeger BeNeLux BV, Breda, Netherlands*). El espacio muerto de la máscara fue de 65 mL. El aire expirado fue continuamente muestreado y analizado para determinar el

volumen y contenido de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>. Estos instrumentos fueron conectados a una computadora que realizó los gráficos de producción de potencia en función de VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, ventilación por minuto (V<sub>E</sub>) y frecuencia cardíaca (*Software Jaeger, Netherlands*).

El transductor de volumen fue calibrado utilizando una jeringa de calibración de 3L antes de cada test. Los analizadores de gases CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> fueron calibrados manualmente mediante una bolsa que contenía una muestra de gas conocida obtenida por medio del tubo gemelo, y automáticamente, utilizando una botella de gas de calibración por medio de una maniobra controlada por computadora. Además se realizó un chequeo totalmente automatizado del sistema neumático de los analizadores y de los sistemas de muestreo (incluyendo tubos, válvulas y los factores de calibración de los analizadores) en cada uno de los tests.

Los valores de intercambio gaseoso fueron continuamente medidos en cada exhalación y los datos obtenidos fueron promediados y ajustados mediante una función polinómica de sexto grado utilizando el programa Excel (*Microsoft Corporation, Seattle, USA. 1997*). El VO<sub>2</sub> que se empleó para realizar los muestreos y los cálculos fue el promedio obtenido cada 5 segundos (Figura 1). El motivo por el cual se empleó este sistema de manejo de datos fue que la función polinómica permitía describir y analizar las curvas. Por medio de la función polinómica se obtuvieron el valor máximo de la curva y los 5 segundos en los que el VO<sub>2</sub> fue el más elevado (Figura 1). La frecuencia cardíaca, V<sub>E</sub> y VCO<sub>2</sub> fueron analizados de la misma manera. Los valores del estado estable en las diferentes cargas de trabajo fueron definidos como los valores promedio en los últimos 120 segundos.

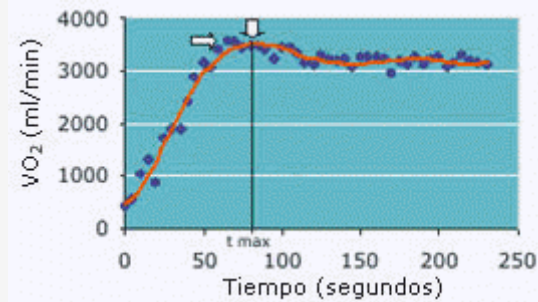
## RESULTADOS

El porcentaje de grasa corporal fue de 9,3±1,4 %. En la Tabla 1 se observan los valores promedio de VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, V<sub>E</sub> y frecuencia cardíaca obtenidos en estado estable. El valor máximo promedio de la curva de VO<sub>2</sub> encontrado mediante la función polinómica fue de 3528±144 mL/min. El valor máximo del VO<sub>2</sub>, fue alcanzado luego de los 76,9±13 s (intervalo entre 65 y 90 s) de haber comenzado el ejercicio (Figura 1). El VO<sub>2</sub> promedio más alto determinado en 5 segundos (Figura 1) fue de 3655±188 mL/min y este máximo fue alcanzado luego de 73,1±11,4 s. (intervalo entre 58 y 88 seg). El r<sup>2</sup> promedio de las funciones polinómicas fue de 0,93±0,04.

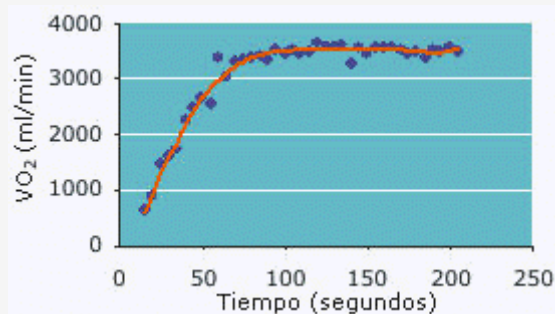
Variable	Media ± SD
VO <sub>2</sub> (mL/min)	3320 ± 120
VCO <sub>2</sub> (mL/min)	3129 ± 113
VE (L/min)	75 ± 11
HR (latidos/min)	134 ± 11

**Tabla 1.** Valores de VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, V<sub>E</sub> y frecuencia cardíaca obtenidos en estado estable. Los datos corresponden a media ±SD

La cadencia fue de 91,5±3,1 rev/min (intervalo entre 85 y 96). No se observaron incrementos repentinos en las curvas de V<sub>E</sub>, VCO<sub>2</sub> y frecuencia cardíaca y las mismas pudieron ser ajustadas correctamente según el modelo monoexponencial. En tres participantes no se observó de manera definida un aumento por encima del valor encontrado en el VO<sub>2</sub> en estado estable y la curva mostró claramente un patrón monoexponencial (Figura 2).



**Figura 1.** Respuesta característica de  $VO_2$  de uno de los participantes que presentaron un consumo de oxígeno superior (pico) al comienzo del ejercicio. La función polinómica está trazada a lo largo de las mediciones. Las flechas verticales señalan el valor máximo obtenido en esta función. Las flechas horizontales señalan el promedio más alto obtenido en 5 segundos. El Consumo de oxígeno en los primeros minutos puede ser descrito mediante la siguiente ecuación:  $VO_2(t) = 2,1 \cdot 10^{-9} t^6 - 1,3 \cdot 10^{-6} t^5 + 3,75 \cdot 10^{-4} t^4 - 4,8 \cdot 10^{-2} t^3 + 2,4 t^2 + 9,5 t + 488$ ;  $r^2 = 0,97$ .



**Figura 2.** Datos característicos de la respuesta en el  $VO_2$  en participantes que no mostraron claramente una extralimitación en el consumo de oxígeno al comienzo del ejercicio.

Ecuación	Modelo	Fórmulas
I	Monoexponencial	$VO_2(t) = VO_2 \text{ inicial} + A(1 - e^{-(t-Td)/\tau})$
II	Biexponencial	$VO_2(t) = VO_2 \text{ inicial} + A_1(1 - e^{-(t-Td_1)/\tau_1}) + A_2(1 - e^{-(t-Td_2)/\tau_2})$
IIIa	Extralimitación del consumo de oxígeno	$VO_2(t) = A \cdot t \cdot e^{-B \cdot t}$
IIIb	Extralimitación del consumo de oxígeno	$VO_2(t) = A \cdot (t - Td) \cdot e^{-(t-Td)/\tau}$

**Tabla 2.** Fórmulas resultantes para los diferentes modelos de cinética de  $VO_2$  durante el reposo y el ejercicio en estado estable.

## DISCUSION

En este estudio se analizó la respuesta inicial del consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) frente a ejercicio de carga constante en ciclistas entrenados. Una observación llamativa en este estudio fue el pico en el valor del  $VO_2$  transcurridos los dos primeros minutos de ejercicio antes de alcanzar el  $VO_2$  del estado estable. Este pico en el consumo de oxígeno también fue observado en los datos de los trabajos de Green y cols. (8) y Brunner-La Rocca y col.(9), aunque estos autores no hicieron comentarios ni describieron este fenómeno.

La respuesta del  $VO_2$  a continuación de un aumento escalonado en la tasa de trabajo puede ser caracterizada a través de dos componentes. Un componente cardiorespiratorio inicial con un contenido de oxígeno venoso mixto continuo e

invariable (Fase 1) y un componente metabólico posterior (Fase 2) que comienza cuando la sangre venosa proveniente de los músculos llega a los pulmones (2, 3, 5, 6). Yoshida y cols. (6) investigaron las transiciones entre reposo y ejercicio y observaron que el  $\text{VO}_2$  se incrementa rápidamente con constantes de tiempo de 6,8-7,3 s. El gasto cardíaco (Q) también presentó un incremento similar con constantes de tiempo de 6-6,8 s con un aumento evidente en el volumen sistólico (SV). En el estudio de Yoshida (6), el  $\text{VO}_2$  aumentó hasta un 30-34% en la Fase 2 con respecto al valor en estado estable y el gasto cardíaco registró aumentos de hasta 58-87 % con respecto al valor en estado estable.

Luego de transcurridos aproximadamente 20 s del comienzo del ejercicio, se produjo un incremento monoexponencial hasta llegar al nivel del estado estable tanto en el consumo de oxígeno como en el gasto cardíaco con constantes de tiempo de 26,7-32,3 y 23,7-34,4 s, respectivamente. Leyk y cols. (2) también observaron un componente inicial, principalmente cardiovascular, alrededor de los 30 s iniciales, seguido por un segundo componente metabólico con gasto cardíaco constante. Leyk y cols. (2), plantearon 2 conclusiones. Primero: Un incremento muy rápido en el  $\text{VO}_2$  en los ciclos de respiración iniciales al comienzo del ejercicio estaría causado probablemente por eventos en los pulmones o en la circulación pulmonar. Segundo, el Q alcanzó el nivel de estado estable en 10 s aprox. lo que sugería un aumento repentino en el retorno venoso (2).

En el presente estudio el pico máximo de  $\text{VO}_2$  fue alcanzado entre los 55-90 s en la transición reposo-ejercicio mientras que la fase cardiorespiratoria inicial finaliza a los 20-30 s (2, 5). Además, el  $\text{VO}_2$  alcanzado durante la fase cardiorespiratoria concuerda con lo encontrado por Yoshida y cols. (6), cuyo valor representó solamente el 30 % del  $\text{VO}_2$  alcanzado finalmente en el estado estable. Debido a que en este estudio, el aumento en el  $\text{VO}_2$  alcanzó un máximo a los 30 s y un nivel superior al 30% del valor del  $\text{VO}_2$  encontrado en estado estable, es improbable que la fase cardiorespiratoria inicial haya sido la responsable del pico en el  $\text{VO}_2$ .

El componente metabólico de la respuesta del  $\text{VO}_2$  (Fase 2), que se da al principio del ejercicio ha sido extensamente estudiado y fue revisado recientemente con detalle por Xu y Rhodes (5). La respuesta a intensidades por debajo del umbral del lactato puede ser descrita por una ecuación matemática monoexponencial (Fórmula I de la Tabla 2). Durante el ejercicio intenso, la respuesta del  $\text{VO}_2$  se torna más compleja y está constituida por dos componentes (Fórmula II de la Tabla 2). Basándose en investigaciones e interpretaciones previas, se considera que la respuesta inicial siempre se incrementa de manera monoexponencial. Sin embargo luego de algunos minutos se desencadena lentamente una respuesta adicional que causa un aumento en el consumo de oxígeno durante el ejercicio con carga constante (aumento o *drift* del  $\text{VO}_2$ ). Los posibles mecanismos que rigen estos componentes rápidos y lentos no están claros. En ambas formulas, el  $\text{VO}_2$  siempre se incrementa en función del tiempo. Por lo tanto, las observaciones obtenidas en nuestro estudio no se ajustan a este modelo ya que se produce un máximo en el  $\text{VO}_2$  entre los 50 y 100 s posteriores al comienzo del ejercicio, seguido por una disminución hasta alcanzar el estado estable. Además este pico en el  $\text{VO}_2$  afectará de manera considerablemente el ajuste de la curva con los modelos exponenciales y por lo tanto se verá influenciado el cálculo del déficit de  $\text{O}_2$  (8).

La dinámica e interpretación de la ventilación y del intercambio gaseoso han sido extensamente estudiadas (3, 5, 10). Son temas complejos y difíciles de explicar. Probablemente, el aumento en el consumo de oxígeno es un mecanismo para superar el déficit de oxígeno inicial. Dado que otros autores describen cinéticas más rápidas en el  $\text{VO}_2$  luego del entrenamiento, en sujetos entrenados, el aumento en el  $\text{VO}_2$  podría estar indicando un estado de entrenamiento de resistencia (4, 12, 14). En base a los principios de Fick, el incremento en el consumo de oxígeno es el resultado de un aumento en el gasto cardíaco o en la diferencia arterio-venosa de oxígeno ( $(a-v)\text{O}_2$ ). En el presente estudio, la frecuencia cardíaca no presentó un incremento repentino inicial en los primeros minutos por lo que el aumento en el consumo de oxígeno puede ser el resultado de un aumento en el volumen sistólico, una mayor diferencia arterio-venosa de oxígeno ( $(a-v)\text{O}_2$ ) o una combinación de ambos factores. Debido a que la frecuencia cardíaca no presentó un incremento repentino inicial, el pulso de oxígeno presentó el mismo fenómeno que el consumo de oxígeno. De esta manera, sigue siendo una posibilidad que se produzca un pico temporario en el volumen sistólico.

Una posibilidad adicional sería que durante el aumento repentino de la intensidad del ejercicio, inmediatamente aumente la ventilación para enfrentar las necesidades fisiológicas y esto cause desajustes en el gasto cardíaco. Esto provocaría un leve aumento en el volumen pulmonar en el volumen corriente final y un aumento en el consumo de oxígeno de todo el cuerpo.

Otra explicación sería que una apertura repentina de arteriolas y esfínteres capilares aumente la perfusión muscular lo que daría como resultado una salida de oxígeno más rápida o mayor. Experimentos realizados en seres humanos, han demostrado efectivamente, un aumento repentino en la perfusión de los músculos en ejercicio en el comienzo del trabajo muscular (15, 16). Por lo tanto, la perfusión muscular es una buena posibilidad para explicar el recientemente descrito fenómeno de aumento en el consumo de oxígeno. Además en el aumento de la perfusión periférica podrían estar involucrados un incremento temporario de las catecolaminas y la activación de la bomba muscular por sí misma.

Finalmente, otra explicación posible sería el consumo extra de oxígeno que se necesita para comenzar el movimiento de las

piernas y para acelerar los pedales. De todos modos esto sería importante solo para los primeros segundos. Además las transiciones entre reposo y ejercicio algunas veces están asociadas con contracciones de los músculos del tronco y de los brazos, lo que podría inducir efectos sobre la ventilación y la circulación.

Independientemente de no conocer cual es el posible mecanismo, es necesario señalar que los modelos clásicos mono y biexponenciales no concuerdan con nuestras observaciones. Nuestro método de análisis que utiliza una función polinómica puede ser objeto de discusión, pero esta función matemática se ajusta correctamente con las curvas observadas y hace que el análisis de dichas curvas sea más sencillo.

Nosotros incorporamos un componente adicional para describir la respuesta y la cinética del consumo de oxígeno, observadas durante la realización de ejercicios de carga constante. El comportamiento de este tercer componente puede ser observado como un fenómeno de “encendido” producido como resultado del comienzo de un sistema dinámico lineal. En la fórmula IIIa (Tabla 2) se observa una ecuación matemática posible, y en la Figura 3, se observa un ejemplo de la curva de este componente. En esta ecuación es posible agregar un tiempo de espera, y en reemplazo del factor constante B puede colocarse una constante de tiempo (Fórmula IIIb, Tabla 2). En la Figura 4 este componente es añadido al componente rápido del modelo mono-exponencial clásico (Fórmula I, Tabla 2). Esto da como resultado el aumento característico en el consumo de oxígeno observado en este estudio. En caso de utilizarse cargas superiores, puede añadirse el componente lento clásico (segunda parte de la Fórmula 2). Es obvio que nuestro modelo posible con dos o tres componentes se ajusta mejor que el modelo clásico mono y biexponencial, ya que en el modelo convencional, el  $VO_2$  se incrementa constantemente en función del tiempo. Recomendamos que si en el futuro se desea analizar la cinética del  $VO_2$  se utilice nuestro modelo teórico. Debido a que todavía no se encuentran disponibles programas de computación para analizar este modelo de tres componentes, es una alternativa realizar el ajuste de las curvas mediante una función polinómica de grado mayor.

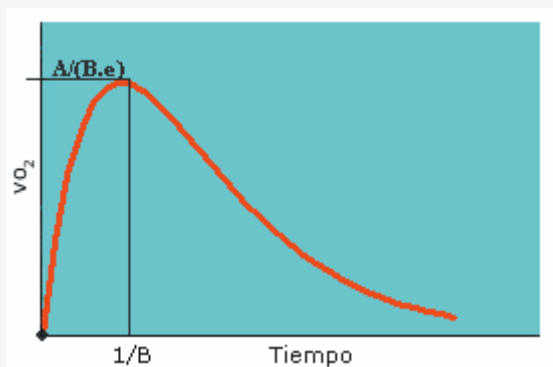


Figura 3. Ejemplo de curva definida por las fórmulas IIIa o IIIb.

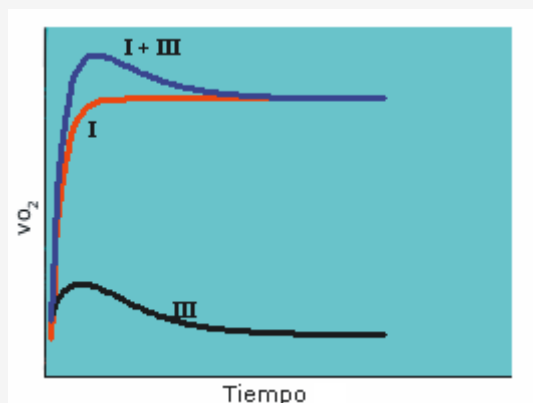


Figura 4. El tercer componente (III) se agrega al componente rápido del modelo clásico monoexponencial (I). Esto da como resultado el aumento característico en el  $VO_2$  observado en este estudio (I+III).

En síntesis, en nuestro estudio, describimos la respuesta del  $VO_2$  frente a la transición entre el reposo y el ejercicio en

estado estable. Observamos un exceso en el  $\text{VO}_2$  no informado hasta ahora durante los primeros minutos antes de alcanzar el  $\text{VO}_2$  del estado estable. Las explicaciones fisiológicas posibles de este fenómeno han sido analizadas, pero todavía no están claras. Es necesario continuar investigando para plantear hipótesis y evaluar los determinantes fisiológicos del fenómeno de exceso del  $\text{VO}_2$ .

## REFERENCIAS

---

1. Krogh A, Lindhard J (1913). The regulation of respiration and circulation during the initial stages of muscular work. *J Physiol* 47:112-136
2. Leyk D, Hoffmann U, Essfeld D, Baum K, Stegemann J (1994).  $\text{VO}_2$  and cardiac output during rest-exercise and exercise-exercise transients. *Z Kardiol* 83 Suppl 3: 61-5
3. Leyk D, Hoffmann U, Baum K, Essfeld D (1995). Time courses of cardiac output and oxygen uptake following stepwise increases in exercise intensity. *Int J Sports Med* 16: 357-63
4. Phillips SM, Green JH, MacDonald JM, Hughson RL (1995). Progressive effect of endurance training on  $\text{VO}_2$  kinetics at the onset of submaximal exercise. *J Appl Physiol* 79: 1914-20
5. Xu F, Rhodes EC (1999). Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sports Med* 27: 313-27
6. Yoshida T, Yamamoto K, Udo M (1993). Relationship between cardiac output and oxygen uptake at the onset of exercise. *Eur J Appl Physiol* 66: 155-60
7. Durnin JVG, Womersley J (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women from 16 to 72 years. *Br J Nutr* 32: 77-97
8. Green S, Dawson BT (1996). Methodological effects on the  $\text{VO}_2$  power regression and the accumulated  $\text{O}_2$  deficit. *Med Sci Sports Exerc* 28: 392-7
9. Brunner-La Rocca HP, Weilenmann D, Schlumpf M, Rickli H, Schalcher C, Maly FE, Candinas R, Kiowski W (1999). Oxygen uptake kinetics during low exercise in patients with heart failure: relation to neurohormones, peak oxygen consumption, and clinical finding. *Heart* 81:121-7
10. Miyamoto Y, Niizeki K (1992). Dynamics of ventilation, circulation, and gas exchange to incremental and decremental ramp exercise. *J Appl Physiol* 72: 2244-54
11. Babcock MA, Paterson DH, Cunningham DA (1994). Effects of aerobic training on gas exchange kinetics of older men. *Med Sci Sports Exerc* 26: 447-52.
12. Bauer TA, Regensteiner JG, Brass EP, Hiat WR (1999). Oxygen uptake kinetics during exercise are slowed in patients with arterial disease. *J Appl Physiol* 87: 809-16
13. Hoogeveen AR (2000). The effect of endurance training on the ventilatory response to exercise in elite cyclists. *Eur J Appl Physiol* 82: 45-51
14. Norris SR, Petersen SR (1998). Effects of endurance training on transient oxygen uptake responses in cyclists. *J Sports Sci* 16: 733-8
15. Grassi B, Poole DC, Richardson RS, Knight DR, Erickson BK, Wagner PD (1996). Muscle  $\text{O}_2$  uptake kinetics in humans: implications for metabolic control. *J Appl Physiol* 80: 988-98
16. Richardson RS, Harms CA, Grassi B, Hepple T (2003). Skeletal muscle: master or slave of the cardiovascular system. *Med Sci Sports Exerc* 32: 89-93. *Power in Sport (2nd ed.)*. P.V. Komi, ed. Oxford: Blackwell, pp. 331-343

### Cita Original

Hoogeveen A.R., and H.A. Keizer. The  $\text{VO}_2$  Overshoot at the Onset of Constant-Load Exercise in Elite Cyclists: an Undescribed Phenome. *JEPOnline*; 6 (4), 2003.