

Monograph

# El Nivel de Aptitud Aeróbica Característico de los Atletas de Elite No Está Asociado con una Cinética más Rápida del VO<sub>2</sub> durante el Ejercicio de Ciclismo

Tiago R Figueira<sup>1</sup>, Fabrizio Caputo<sup>1</sup>, Carlos E Machado<sup>1</sup> y Benedito S Denadai<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Human Performance Laboratory, Rio Claro S.P., Brasil.

## RESUMEN

El propósito de este estudio fue investigar si la cinética del VO<sub>2</sub> mejora adicionalmente con el incremento en el estatus de aptitud aeróbica, con el paso de los atletas desde el nivel de entrenado al nivel de elite. Para esto se determinó el consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>máx), el trabajo asociado con el VO<sub>2</sub>máx (IVO<sub>2</sub>máx) y la cinética del VO<sub>2</sub> durante la realización de ejercicios de moderada intensidad (Mod) y de máxima intensidad (Max) en cincuenta y cinco sujetos. Posteriormente, los sujetos fueron asignados a tres grupos: nivel de aptitud aeróbica bajo (LF), intermedio (IF) y alto (HF). En promedio, el VO<sub>2</sub>máx en los grupos LF, IF y HF fue de 30.6 ± 3.1, 51.1 ± 4.5 y 68.1 ± 3.9 mL/kg/min (p ≤ 0.05 entre los grupos). El tiempo medio de respuesta de la cinética del VO<sub>2</sub> con ambas intensidades de ejercicio fue significativamente menor (p ≤ 0.05) en el grupo HF (Mod, 27.5 ± 5.5 s; Max, 32.6 ± 8.3 s) e IF (Mod, 25.0 ± 3.1 s; Max, 42.6 ± 10.4 s), en comparación con el grupo LF (Mod, 35.7 ± 7.9 s; Max: 57.8 ± 17.8 s). A partir de los resultados podemos concluir que la cinética del VO<sub>2</sub> mejora con el incremento en el nivel de aptitud aeróbica, pasando desde el nivel bajo al intermedio, pero no se mejora adicionalmente con el incremento en el nivel de aptitud aeróbica desde intermedio a alto.

**Palabras Clave:** metabolismo oxidativo, cinética del VO<sub>2</sub>, entrenamiento aeróbico

## INTRODUCCION

La cinética del intercambio pulmonar de gases ha sido utilizada para estudiar la liberación de energía por la vía oxidativa dentro de los músculos activos durante la transición hacia una mayor tasa metabólica (i.e., transición entre el reposo y el ejercicio). La velocidad a la cual el metabolismo oxidativo se incrementa debido a los requerimientos energéticos impuestos por el ejercicio es el factor determinante del déficit de oxígeno, y por lo tanto de la dependencia celular en la resíntesis no oxidativa de ATP (Özyener et al., 2003). Desde un punto de vista homeostático, el análisis de la cinética del VO<sub>2</sub> es particularmente intuitivo en condiciones patológicas, donde la tolerancia al ejercicio puede verse comprometida por un limitado "turnover" de energía aeróbica debido a una desmejora en el transporte y utilización de O<sub>2</sub> con una mayor alteración del medio interno celular (las condiciones tales como el envejecimiento y las enfermedades cardiorrespiratorias

están asociadas con una respuesta más lenta de la cinética del  $\text{VO}_2$ ) (para una revisión ver Xu and Rhodes, 1999). Por otra parte, los adultos saludables pueden presentar amplias diferencias inter-individuales en la velocidad de la cinética del  $\text{VO}_2$  (expresada como la constante de tiempo o como el tiempo medio de respuesta - MRT), pero que aparentemente no están relacionadas con la tolerancia al ejercicio submáximo. En lugar de enfocarse en las consecuencias de una cinética lenta o rápida del  $\text{VO}_2$  sobre la tolerancia al ejercicio, se cree que el análisis de la cinética del  $\text{VO}_2$  en diversas condiciones patológicas y fisiológicas que alteran el transporte y el metabolismo del  $\text{O}_2$  es de gran valor debido a que dichas condiciones pueden utilizarse para determinar la regulación de la liberación de energía aeróbica en respuesta a un abrupto cambio en la homeostasis celular (i.e., transición hacia una mayor tasa metabólica) (Grassi et al., 1998; Grassi, 2001; MacDonald et al., 1997).

En la búsqueda del responsable de dicha incompetencia inicial en la liberación de energía aeróbica para realizar la resíntesis de ATP a la tasa que se alcanzará posteriormente durante el ejercicio, muchos estudios han intentado manipular los pasos tasa limitantes involucrados en el transporte y la utilización de  $\text{O}_2$  (Grassi et al., 1998; MacDonald et al., 1997). A partir de estos diversos modelos experimentales con humanos y animales se han propuesto principalmente dos hipótesis en relación a los pasos tasa limitantes (transporte de  $\text{O}_2$  vs utilización de  $\text{O}_2$ ) (Grassi, 2001; Hughson et al., 2001). Actualmente, es razonable creer que el paso tasa limitante de la cinética del  $\text{VO}_2$  depende de la intensidad del ejercicio.

El principal hallazgo sugiere que la cinética del  $\text{VO}_2$  durante la realización de ejercicios de moderada intensidad (por debajo del umbral de lactato) está limitada a nivel periférico por la utilización de  $\text{O}_2$  y que a mayores intensidades de ejercicio, el transporte de  $\text{O}_2$  limita la cinética del  $\text{VO}_2$  (Grassi, 2001; Hughson et al., 2001). Las bien conocidas adaptaciones fisiológicas inducidas por el entrenamiento de la resistencia son probablemente los medios más extremos para superar los pasos-tasa limitantes que determinan la cinética del  $\text{VO}_2$  a diferentes intensidades de ejercicio. Sin embargo, su impacto sobre la cinética del  $\text{VO}_2$  con el incremento en la velocidad puede variar al igual que los pasos tasa limitantes operativos a través de las diferentes intensidades de ejercicio (Krustrup et al., 2004). Desafortunadamente, nunca se ha estudiado esta interacción entre el nivel de aptitud aeróbica y los pasos-tasa limitantes de la cinética del  $\text{VO}_2$  en un amplio rango de intensidades, ya que la valoración directa de las variables requeridas presenta problemas metodológicos tales como la utilización de técnicas invasivas.

Lejos de responder la cuestión planteada previamente, hay algunos estudios que muestran una asociación entre el nivel de aptitud aeróbica y la respuesta de la cinética del  $\text{VO}_2$ , y esto debería tenerse en cuenta para proveer detalles en futuros estudios mecanísticos. Estos estudios han descrito que la cinética del  $\text{VO}_2$  mejora con el incremento en el nivel de aptitud aeróbica (i.e., con el paso del estado de sedentario/activo a entrenado) hasta el punto en donde la cinética del  $\text{VO}_2$  no mejora adicionalmente con el incremento en la aptitud aeróbica (Phillips et al., 1995; Carter et al., 2000). Dicha respuesta podría sugerir un posible límite superior para la mejora de la cinética del  $\text{VO}_2$ . Sin embargo, estos estudios han evaluado esta asociación en individuos cuyo nivel de aptitud aeróbica era bastante menor a los valores que posiblemente pudieran alcanzar con años de entrenamiento de la resistencia (i.e.,  $\text{VO}_{2\text{máx}} > 65 \text{ mL/kg/min}$ ). En este escenario, todavía no se sabe si el nivel de aptitud física característico de los atletas de elite está asociado con una cinética más rápida del  $\text{VO}_2$  que la exhibida por individuos entrenados. En base a trabajos previos (Carter et al., 2000; Phillips et al., 1995), nosotros hipotetizamos que la cinética del  $\text{VO}_2$  deja de mejorar aunque el nivel de aptitud aeróbica continúa incrementándose. Además de este aspecto, la intensidad de ejercicio a la cual se analiza la cinética del  $\text{VO}_2$  puede mostrar diferentes influencias del nivel de aptitud aeróbica sobre la cinética del  $\text{VO}_2$ , ya que los pasos-tasa limitantes específicos de la intensidad pueden sufrir adaptaciones diferenciales al entrenamiento de la resistencia (Krustrup et al., 2004).

El propósito del presente estudio fue valorar la cuestión de si la cinética del  $\text{VO}_2$  puede mejorarse adicionalmente con el mejora del estatus de entrenamiento aeróbico (nivel de aptitud aeróbica), es decir con el paso del nivel entrenado al nivel de elite. Además, evaluamos esta respuesta a dos intensidades de ejercicio (intensidad moderada e intensidad máxima) en las cuales los pasos-tasa limitantes son diferentes uno del otro.

## MÉTODOS

---

### Sujetos

De los sesenta y siete sujetos evaluados (sujetos sedentarios y ciclistas recreacionales y de nivel nacional se ofrecieron como voluntarios para participar en el presente estudio), se eligieron cincuenta y cinco individuos que cumplieron con los criterios para ser incluidos en uno de nuestros grupos de investigación. Estos sujetos fueron asignados a seis grupos (tres niveles de aptitud aeróbica  $\times$  dos intensidades de ejercicio) en base a su nivel de aptitud aeróbica ( $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ) y a la intensidad de ejercicio utilizada (intensidad máxima - Max o intensidad moderada - Mod). Los diferentes niveles de aptitud

aeróbica fueron denominados de la siguiente manera: bajo nivel de aptitud aeróbica (LF), nivel intermedio de aptitud aeróbica (IF) y alto nivel de aptitud aeróbica (HF). El número de individuos en cada uno de los 6 grupos (n) se muestra en la Tabla 1. Todos los sujetos dieron su consentimiento informado por escrito y el protocolo del estudio fue aprobado por el comité de ética de la universidad. Se les pidió a los sujetos que evitaran realizar entrenamientos en los dos días previos a cada sesión de evaluación y que se reportaran al laboratorio al menos tres horas después de la última comida. La Tabla 1 muestra las características de los sujetos en cada grupo.

## Diseño Experimental

Los sujetos realizaron: (1) un test progresivo de ejercicio para determinar el máximo consumo de oxígeno ( $VO_2$  máx) y la intensidad asociada con el alcance del  $VO_2$  máx ( $iVO_2$  máx); (2) ejercicios de ciclismo con una carga constante y hasta el agotamiento a una intensidad correspondiente al 50% (intensidad moderada - Mod) o al 100% (intensidad máxima) del  $VO_2$  máx para determinar la constante de tiempo de la respuesta del consumo de oxígeno (MRT - tiempo medio de respuesta). Posteriormente, se seleccionaron a aquellos individuos cuyo  $VO_2$  máx se encontraba dentro en el rango de los valores establecidos para los tres grupos de nivel de aptitud aeróbica (LF - menor a 40 mL/kg/min; IF - entre 43 y 60 mL/kg/min; HF - mayor a 63 mL/kg/min). Todos los tests fueron llevados a cabo a la misma hora del día en condiciones de laboratorio controladas (21-22 °C). Los sujetos realizaron solo un test por día, los tests estuvieron separados por al menos 48 hs entre si y se llevaron a cabo dentro del período de dos semanas.

## Procedimientos

Los tests fueron llevados a cabo en un cicloergómetro con cupla mecánica (Monark 828E, Stockholm, Sweden) manteniendo una frecuencia de pedaleo constante de 70 rpm (Ciclocomputer Cateye, Japan). Durante los tests, las variables del intercambio respiratorio se midieron respiración por respiración utilizando un sistema analizador de gases portátil (Cosmed K4b2, Rome, Italy). Estos analizadores han sido previamente validados en un amplio rango de intensidades de ejercicio (McLaughlin et al., 2001). Antes de cada test, los sistemas de análisis de  $O_2$  y  $CO_2$  fueron calibrados utilizando aire ambiente y gases con concentraciones conocidas de  $O_2$  y  $CO_2$  de acuerdo con las instrucciones del fabricante y la turbina K4b2 del flujómetro fue calibrada utilizando una jeringa de 3 L (Cosmed K4b2, Rome, Italy). Se recolectaron muestras de sangre capilar en el lóbulo de la oreja (25 l) en tubos de vidrio, las cuales fueron analizadas para determinar la concentración de lactato utilizando un analizador automático (YSI 2300, Ohio, USA).

Los sujetos realizaron un test de ejercicio progresivo hasta el agotamiento para determinar el  $VO_2$  máx y la  $iVO_2$  máx en cicloergómetro. El test comenzó a con una carga de 70 W la cual se incrementó en 35 W cada 3 minutos. Cada sujeto fue estimulado para que diera su máximo esfuerzo y se recolectaron muestras de sangre en el momento en que los sujetos llegaban al agotamiento. Los datos del  $VO_2$  respiración por respiración fueron suavizados utilizando un filtro de cinco pasos, y posteriormente reducidos a promedios de 15 segundos, durante el test progresivo, para reducir el ruido (Data Management Software, Cosmed, Rome, Italy). El  $VO_2$  máx fue definido como el mayor valor de  $VO_2$  en 15 segundos registrado durante el test progresivo. Todos los sujetos cumplieron con al menos dos de los siguientes tres criterios para la determinación del  $VO_2$  máx: (1) un índice de intercambio respiratorio (r) mayor a 1.1, (2) una concentración de lactato en sangre mayor a 8 mM, y (3) una HR pico al menos igual al 90% de la frecuencia cardíaca máxima estimada para la edad (Taylor et al., 1955). La  $iVO_2$  máx fue definida como la mínima producción de potencia a la cual se produjo el  $VO_2$  máx (Billat and Koralsztein, 1996).

Los sujetos subsiguientemente realizaron un test a carga constante (al 50% del  $VO_2$  máx - ejercicio a intensidad moderada o al 100% del  $VO_2$  máx - ejercicio a intensidad máxima) para determinar los parámetros de la cinética del  $VO_2$ . Los sujetos fueron instruidos para que se ejercitaran a la intensidad requerida hasta el agotamiento (cadencia < 65 rpm durante 10 segundos consecutivos o agotamiento voluntario) durante el ejercicio máximo o durante 6 min con la intensidad moderada. Al comienzo del ejercicio de ciclismo, los sujetos pedalearon sin carga alguna hasta alcanzar una cadencia de pedaleo de 70 rpm y en este punto se impuso la carga pre-seleccionada y se comenzó a cronometrar la prueba. Los datos del consumo de oxígeno obtenidos durante los tests a carga constante fueron filtrados para eliminar valores atípicos (aquellos valores que no caían en el intervalo de la medida  $\pm 4$  DE fueron excluidos).

Grupos	N		Masa Corporal (Kg)		Talla (m)		Edad (años)	
	Mod	Max	Mod	Max	Mod	Max	Mod	Max
LF	9	10	82.0 (11.1)	74.0 (15.5)	LF	9	10	82.0 (11.1)
IF	8	9	76.9 (7.4)	67.7 (8.3)	IF	8	9	76.9 (7.4)
HF	9	10	65.3 (6.9) <sup>a</sup>	64.3 (2.7)	HF	9	10	65.3 (6.9) <sup>a</sup>

**Tabla 1.** Valores medios ( $\pm$  DE) de las características de los sujetos. Mod, ejercicio de intensidad moderada; Max, ejercicio de intensidad máxima. LF, baja aptitud aeróbica; IF, aptitud aeróbica intermedia; HF, aptitud aeróbica alta. aSignificativamente diferente de LF a la misma intensidad. \*Significativamente diferente de todos los otros grupos.

Grupos	VO <sub>2</sub> máx (mL/kg/min)		iVO <sub>2</sub> máx (W/kg)		iVO <sub>2</sub> máx (W)		MRT(s)	
	Mod	Max	Mod	Max	Mod	Max	Mod	Max
LF	36.2 (2.9)	35.8 (3.5)	2.3 (.2)	2.6 (.3)	191 (26)	194 (44)	35.7 (7.9)	57.8 (17.8)
IF	51.3 (4.8) <sup>a</sup>	50.9 (4.6) <sup>a</sup>	3.7 (.8) <sup>a</sup>	3.9 (.6) <sup>a</sup>	284 (57) <sup>a</sup>	266 (51) <sup>a</sup>	25.0 (3.1) <sup>a</sup>	42.6 (10.4) <sup>a</sup>
HF	67.4 (3.8) <sup>a,b</sup>	68.7 (4.1) <sup>a,b</sup>	5.4 (.5) <sup>a,b</sup>	5.3 (.4) <sup>a,b</sup>	356 (40) <sup>a,b</sup>	342 (28) <sup>a,b</sup>	27.5 (5.5) <sup>a</sup>	32.6 (8.3) <sup>a</sup>

**Tabla 2.** Valores medios ( $\pm$  DE) de los índices de la aptitud aeróbica y de la cinética del VO<sub>2</sub> durante el test a carga constante. Mod, ejercicio de intensidad moderada; Max, ejercicio de intensidad máxima. LF, baja aptitud aeróbica; IF, aptitud aeróbica intermedia; HF, aptitud aeróbica alta. VO<sub>2</sub>máx, consumo de oxígeno pulmonar máximo; i VO<sub>2</sub>máx, carga de trabajo asociada al VO<sub>2</sub>máx; MRT, tiempo medio de respuesta de la cinética del consumo de oxígeno. aSignificativamente diferente de LF a la misma intensidad. bSignificativamente diferente de IF a la misma intensidad.

## Ajuste de la Curva de la Cinética del VO<sub>2</sub>

La cinética del VO<sub>2</sub> durante el test a carga constante fue modelada con una función mono-exponencial mediante un proceso de regresión no lineal iterativo utilizando el programa Microcal Origin 6.0 (Northampton, MA, USA) y con la siguiente ecuación (Lamarra et al., 1987):

$$VO_2(t) = VO_{2b} + A \times (1 - e^{-(t/\tau)})$$

Donde: VO<sub>2</sub>(t) representa el consumo de oxígeno al tiempo (t), VO<sub>2b</sub> es el valor basal de VO<sub>2</sub> en reposo, A es la amplitud de incremento en el VO<sub>2</sub> por encima del valor basal y  $\tau$  es el tiempo medio de respuesta - MRT (definido como el tiempo requerido para alcanzar el 63% de A). Para incrementar la confianza de los parámetros estimados de la ecuación (Lamarra et al., 1987), el VO<sub>2b</sub> y A fueron limitados a la ventana de ajuste, respectivamente, como el valor medio en el minuto previo al comienzo del ejercicio a carga constante y como la diferencia entre el VO<sub>2b</sub> y el valor de VO<sub>2</sub> al final del ejercicio.

## Análisis Estadísticos

Los datos se presentan como medias  $\pm$  DE. Los efectos de la aptitud aeróbica sobre la cinética del VO<sub>2</sub> fueron evaluados utilizando el análisis de varianza ANOVA de una vía, con comparaciones post hoc de Tuckey cuando fueran apropiadas. Para comparar todas las otras variables entre los grupos se utilizó el análisis de varianza ANOVA de dos vías (intensidad de ejercicio vs nivel de aptitud aeróbica). Se utilizó el coeficiente de correlación producto momento de Pearson para valorar la significancia de la relación entre la cinética del VO<sub>2</sub> y el VO<sub>2</sub>máx. La significancia estadística fue establecida a  $p \leq 0.05$ .

## RESULTADOS

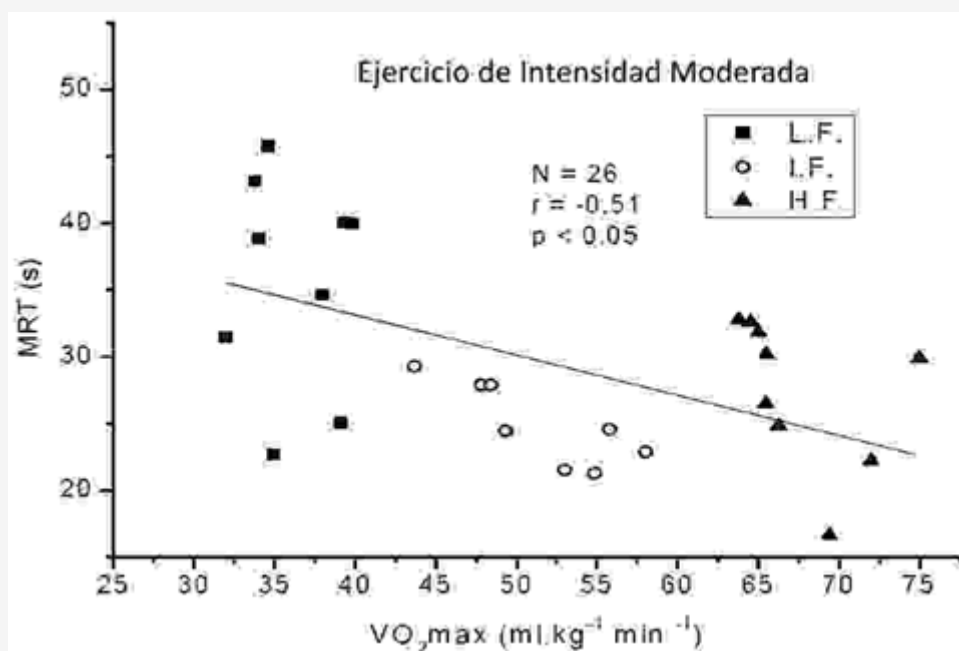
La Tabla 2 contiene los índices del nivel de aptitud aeróbica obtenidos durante el test de ejercicio progresivo (VO<sub>2</sub>máx, iVO<sub>2</sub>máx relativo a la masa corporal e iVO<sub>2</sub>máx absoluto) y el tiempo medio de respuesta (MRT) que describe la cinética del VO<sub>2</sub> durante las pruebas Mod y Max. Todos los índices de la aptitud aeróbica fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ) entre los tres niveles de aptitud aeróbica. El MRT de los grupos IF y HF fue significativamente menor que el MRT del grupo LF; sin embargo, no se hallaron diferencias entre los grupos IF y HF para esta variable ( $p > 0.05$ ).

Las Figuras 1 y 2 muestran el coeficiente de correlación entre el MRT a las intensidades Mod ( $r = -0.51$ ;  $p \leq 0.05$ ) y Max ( $r = -0.63$ ;  $p \leq 0.05$ ) y el VO<sub>2</sub>máx. Aunque estos coeficientes fueron estadísticamente significativos, el VO<sub>2</sub>máx explica poca de la varianza en el MRT a ambas intensidades de ejercicio (Mod, R<sup>2</sup> = 26%; Max, R<sup>2</sup> = 40%).

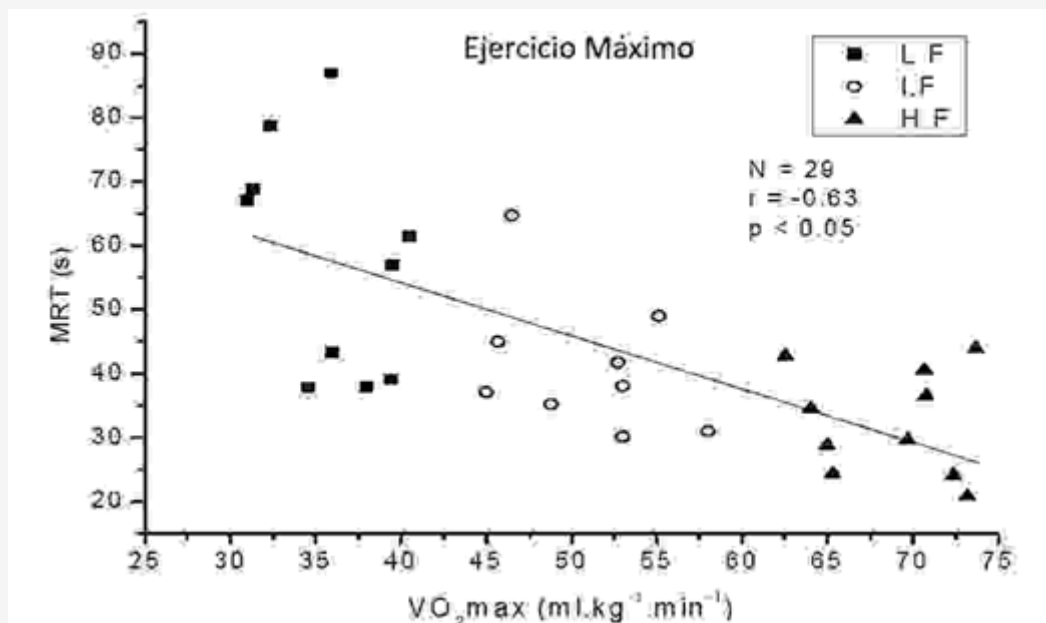
Las Figuras 3 y 4 muestran los datos representativos del VO<sub>2</sub> y su curva de ajuste para cada nivel de aptitud aeróbica, a las intensidades moderada y máxima respectivamente. Los valores individuales del MRT y del VO<sub>2</sub>máx para los sujetos, cuyos datos se muestran, se encuentran en el panel de cada figura.

## DISCUSION

Para nuestro conocimiento, este es el primer estudio que ha evaluado los efectos del nivel de aptitud aeróbica sobre la cinética del  $VO_2$  en sujetos del extremo superior del rango de potencia aeróbica ( $VO_{2\text{máx}}$ ). El menor MRT conjuntamente con el incremento en el nivel de aptitud aeróbica, desde el nivel bajo al nivel intermedio, concuerda con diversos estudios que han descrito dicha adaptación en sujetos del rango inferior de potencia aeróbica (Fukuoka et al., 2002; Phillips et al., 1995; Yoshida et al., 1992). Nuestros resultados mostraron que no se produjeron cambios en el MRT durante la realización de ejercicios de moderada y máxima intensidad con el incremento en el nivel de aptitud aeróbica, desde intermedio a alto, y esto concuerda de alguna manera con datos longitudinales a corto plazo obtenidos en sujetos con menor nivel de aptitud física (Carter et al., 2000; Phillips et al., 1995). Nuestros hallazgos se suman a los hallazgos previos, describiendo que las adaptaciones al ejercicio que llevan a los sujetos hacia el extremo superior del rango de aptitud aeróbica ( $VO_{2\text{máx}}$  casi por encima de 65 mL/kg/min) no mejoran adicionalmente la cinética del  $VO_2$  durante ejercicios de intensidad moderada y máxima.



**Figura 1.** Coeficiente de correlación entre el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2\text{máx}}$ ) y el tiempo medio de respuesta (MRT) durante la realización de ejercicio de intensidad moderada



**Figura 2.** Coeficiente de correlación entre el consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>máx) y el tiempo medio de respuesta (MRT) durante la realización de ejercicio de intensidad máxima.

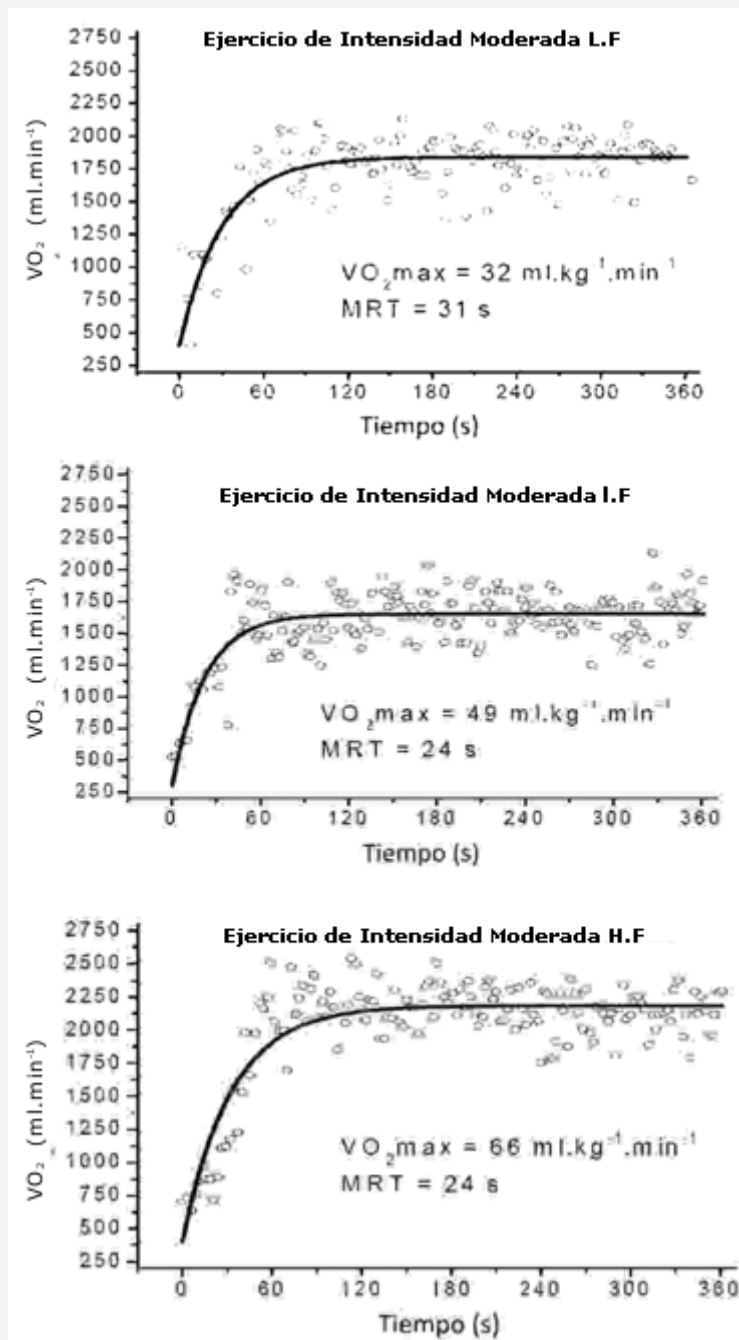
Los sujetos incluidos en este estudio fueron asignados a uno de tres grupos en base a su nivel de aptitud aeróbica (VO<sub>2</sub>máx). Con respecto a nuestro objetivo, la composición del grupo con alta aptitud aeróbica fue especialmente crítica ya que debía representar el extremo superior del rango de aptitud aeróbica. Los índices frecuentemente utilizados para describir la aptitud aeróbica y el rendimiento aeróbico (VO<sub>2</sub>máx e iVO<sub>2</sub>máx) (Tabla 2) parecen ser similares a los observados característicamente en atletas de elite (Caputo and Denadai, 2004; Jeukendrup et al., 2000).

Desde un punto de vista temporal, las mejoras en la cinética submáxima del VO<sub>2</sub> en individuos con baja aptitud física parecen producirse en forma temprana (dentro de una semana) luego del comienzo del programa de entrenamiento, incluso anticipándose a los cambios en otros índices de la aptitud aeróbica tales como el VO<sub>2</sub>máx y el umbral de lactato (Phillips et al., 1995). Aunque esta respuesta temporal para la cinética del VO<sub>2</sub> en ejercicios máximos todavía es desconocida, parece que a medida que se incrementa la intensidad de ejercicio (intensidad del test de ejercicio), es más probable observar los efectos del entrenamiento aeróbico sobre estos parámetros (Carter et al., 2000; Krusturup et al., 2004). Conjuntamente, estos estudios citados previamente proveen una buena imagen de la respuesta inicial de la cinética del VO<sub>2</sub>, en donde el nivel de aptitud aeróbica y la intensidad del ejercicio parecen determinar los cambios en la cinética del VO<sub>2</sub> en respuesta al entrenamiento.

Con las limitaciones propias de un diseño experimental transversal, podríamos decir que la cinética del VO<sub>2</sub> durante el ejercicio máximo parece seguir el mismo patrón que el observado para la respuesta submáxima en los tres niveles de aptitud aeróbica estudiados. Este patrón similar entre estas dos intensidades de ejercicio no es obvia ya que la cinética del VO<sub>2</sub> durante el ejercicio de alta intensidad ha sido descrita para presentar mejoras tempranas en la respuesta al entrenamiento sin cambios concomitantes en la cinética del VO<sub>2</sub> durante ejercicios de intensidad moderada (Krusturup et al., 2004). Dicha disparidad ha sido entendida como un fenómeno principalmente relacionado con diferencias en la intensidad de ejercicio, ya que la reducida dependencia en el metabolismo no oxidativo puede mejorar la homeostasis celular y la tolerancia al ejercicio, particularmente durante la realización de ejercicios de alta intensidad (Jones et al., 2003). Nuestros datos sugieren que por encima de cierto nivel de aptitud aeróbica, esta disparidad entre las intensidades de ejercicio puede no existir.

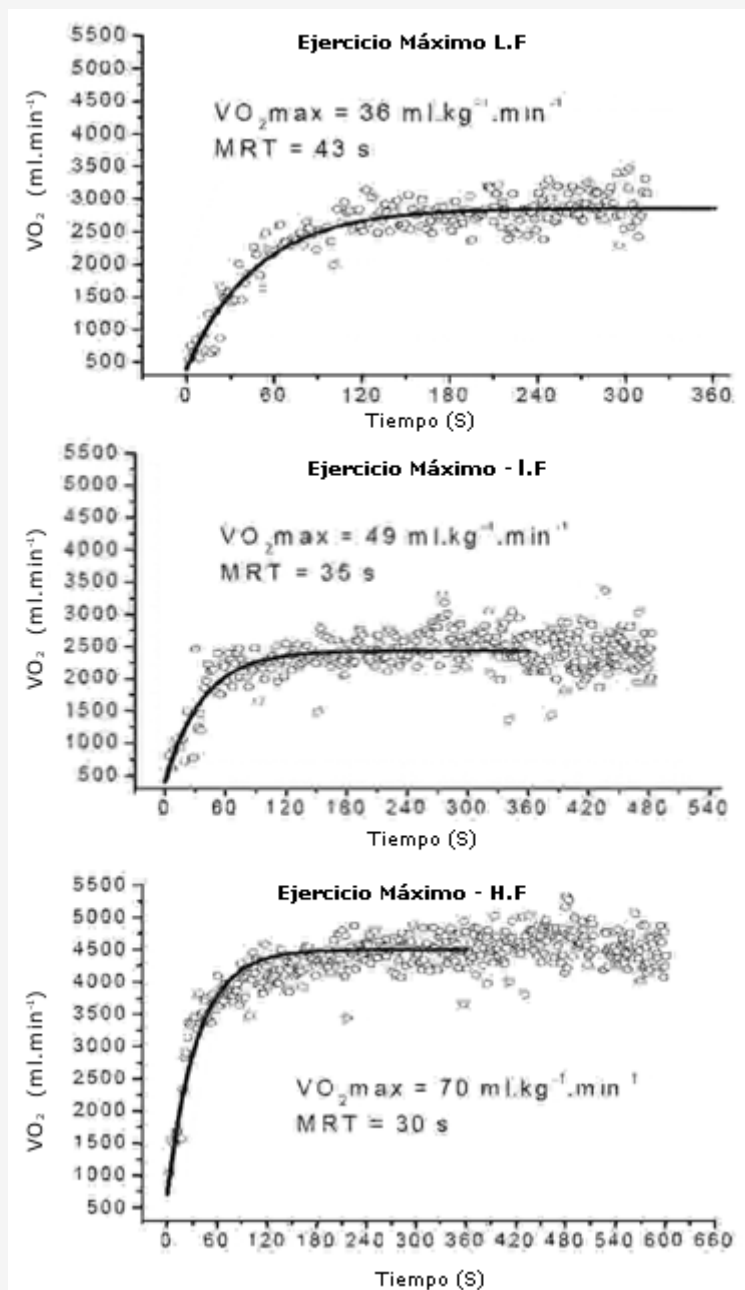
Phillips et al (1995) han demostrado que los adultos con baja aptitud física sufren una mejora en la cinética del VO<sub>2</sub> con el entrenamiento. Conjuntamente con este resultado, los sujetos de mediana edad también presentan mejoras similares en la cinética del VO<sub>2</sub> luego del comienzo del programa de entrenamiento (Fukuoka et al., 2002). Interesantemente, Carter et al (2000), quienes estudiaron a estudiantes universitarios activos (VO<sub>2</sub>máx ~55 mL/kg/min), no hallaron mejoras en la cinética del VO<sub>2</sub> durante la realización de ejercicios de moderada intensidad luego de 6 semanas de entrenamiento y a pesar de observar mejoras en otros índices de la aptitud aeróbica (umbral de lactato y VO<sub>2</sub>máx). Estos hallazgos hacen surgir dos cuestiones: ¿la cinética del VO<sub>2</sub> solo mejora inicialmente mientras el nivel de aptitud física es bajo? Y ¿un

régimen de entrenamiento de mayor duración y mayor severidad mejoraría adicionalmente la cinética del  $\text{VO}_2$ ?



**Figura 3.** Datos representativos del  $\text{VO}_2$  y la curva de ajuste para cada grupo durante la realización de ejercicio de intensidad moderada. Desde arriba hacia abajo respectivamente, sujetos con nivel de aptitud aeróbica bajo, intermedio y alto.

Con respecto a la última cuestión, nuestra valoración de atletas de elite parece proveer evidencia de que la cinética del  $\text{VO}_2$  deja de mejorar por encima de cierto nivel de aptitud aeróbica tanto durante la realización de ejercicios de intensidad moderada como de intensidad máxima. Este resultado concuerda con los resultados obtenidos en estudios previos acerca de la respuesta temporal de la cinética del  $\text{VO}_2$  al entrenamiento y la similitud con el MRT reportado aquí (Tabla 2) y por otros estudios llevados a cabo con sujetos altamente entrenados (Koppo et al., 2004; Kilding et al., 2007). De esta manera, el valor del MRT observado en el presente estudio puede representar la mayor velocidad a la que puede llegar la cinética del  $\text{VO}_2$ .



**Figura 4.** Datos representativos del  $VO_2$  y la curva de ajuste para cada grupo durante la realización de ejercicio de intensidad moderada. Desde arriba hacia abajo respectivamente, sujetos con nivel de aptitud aeróbica bajo, intermedio y alto

Algunos estudios han reportado una relación significativa entre el  $VO_2$  y la velocidad de la cinética del  $VO_2$  (Powers et al., 1985; Gurd et al., 2005). A pesar de los coeficientes de correlación significativos entre el  $VO_{2max}$  y el MRT a ambas intensidades de ejercicio, cuando ambos grupos fueron considerados conjuntamente (Figuras 1 y 2), los  $R^2$  calculados son bajos y las diferencias en el  $VO_{2max}$  conjuntamente con una diferencia no asociada en el MRT entre los grupos de aptitud física intermedia y alta (Tabla 2), sugieren una pérdida de asociación entre estas variables. Las correlaciones significativas probablemente se debieron a la heterogeneidad y a la inclusión de sujetos con bajo nivel de aptitud aeróbica cuya cinética del  $VO_2$  parece ser aun sensible a los cambios en el nivel de aptitud aeróbica.



## CONCLUSIONES

---

En conclusión, hemos demostrado que la cinética del VO<sub>2</sub> mejora con el incremento en el nivel de aptitud física, desde bajo a intermedio, pero que no mejora adicionalmente con el incremento en el nivel de aptitud aeróbica, desde intermedio a alto, el cual es característico de los atletas de elite. Además, dicha respuesta parece ser independiente de la intensidad de ejercicio (moderada vs máxima)

### Puntos Clave

- Actualmente, es razonable creer que el paso-tasa limitante de la cinética del VO<sub>2</sub> depende de la intensidad de ejercicio.
- Las bien conocidas adaptaciones fisiológicas inducidas por el entrenamiento de la resistencia probablemente sean los medios más extremos para superar los pasos-tasa limitantes que determinan la cinética del VO<sub>2</sub> en diversas intensidades de ejercicio.
- Sin embargo, las adaptaciones al ejercicio que hacen que los individuos sean incluidos en el extremo superior del rango de aptitud aeróbica (VO<sub>2</sub>máx > 65 mL/kg/min) no son capaces de mejorar adicionalmente la cinética del VO<sub>2</sub> durante la realización de ejercicios de intensidad moderada y máxima.

### Agradecimientos

Quisiéramos agradecer a la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP y a la Fundação para o Desenvolvimento da UNESP -FUNDUNESP por su respaldo económico.

## REFERENCIAS

---

1. Billat, V. and Koralsztein, J.P (1996). Significance of the velocity at vVO<sub>2</sub>max and time to exhaustion at this velocity. *Sports Medicine* 22, 90-108
2. Caputo, F. and Denadai, B.S (2004). Effects of aerobic endurance training status and specificity on oxygen uptake kinetics during maximal exercise. *European Journal of Applied Physiology* 93, 87-95
3. Carter, H., Jones, A.M., Barstow, T.J., Burnley, M., Williams, C. and Doust, J.H (2000). Effect of endurance training on oxygen uptake kinetics during treadmill running. *Journal of Applied Physiology* 89, 1744-1752
4. Fukuoka, Y., Grassi, B., Conti, M., Guiducci, D., Sutti, M., Marconi, C. and Cerretelli, P (2002). Early effects of exercise training on VO<sub>2</sub> on- and off-kinetics in 50-year-old subjects. *Pflugers Archives* 443, 690-697
5. Grassi, B (2001). Regulation of oxygen consumption at exercise onset: is it really controversial?. *Exercise Sports Science Review* 3, 134-138
6. Grassi, B., Gladen, L.B., Stary, C.M, Wagner, P.D. and Hogan MC (1998). Peripheral O<sub>2</sub> diffusion does not affect VO<sub>2</sub> on-kinetics in isolated in situ canine muscle. *Journal of Applied Physiology* 85,1404-1412
7. Gurd, B.J., Scheuermann, B.W., Paterson, D.H. and Kowalchuk J.M (2005). Prior heavy-intensity exercise speeds VO<sub>2</sub> kinetics during moderate-intensity exercise in young adults. *Journal of Applied Physiology* 98, 1371-1378
8. Hughson, R.L., Tschakovsky, M.E. and Houston, M.E (2001). Regulation of oxygen consumption at the onset of exercise. *Exercise Sports Science Review* 29, 129-1233
9. Jeukendrup, A.E., Craig, N.P. and Hawley, J.A (2000). The bioenergetics of world class cycling. *Journal of Science Medicine in Sport* 3, 414-433
10. Jones, A.M., Wilkerson, D.P., Burnley, M. and Koppo, K (2003). Prior heavy exercise enhances performance during subsequent perimaximal exercise. *Medicine and Science in Sports Exercise* 35, 2085-2092
11. Kilding, A.E., Fysh, M. and Winter, E.M (2007). Relationships between pulmonary oxygen uptake kinetics and other measures of aerobic fitness in middle- and long-distance runners. *European Journal of Applied Physiology* 100, 105-114
12. Koppo, K., Wilkerson, D.P., Bouchaert, J., Wilmshurst, S., Campbell, I.T. and Jones, A.M (2004). Influence of DCA on pulmonary VO<sub>2</sub> kinetics during moderate-intensity cycle exercise. *Medicine and Science in Sports Exercise* 36, 1159-1164
13. Krstrup, P., Hellsten, Y. and Bangsbo, J (2004). Intense interval training enhances human skeletal muscle oxygen uptake in the initial phase of dynamic exercise at high but not at low intensities. *Journal of Physiology* 559, 335-345
14. Lamarra, N., Whipp, B.J., Ward, S.A. and Wasserman, K (1987). Effect of interbreath fluctuations on characterizing exercise gas exchange kinetics. *Journal of Applied Physiology* 62, 2003-2012
15. MacDonald, M., Pedersen, P.K. and Hugson, R.L (1997). Acceleration of VO<sub>2</sub> kinetics in heavy submaximal exercise by hyperoxia and prior high-intensity exercise. *Journal of Applied Physiology* 83, 1318-1325
16. McLaughlin, J.E., King, G.A., Howley, E.T., Bassett, D.R. and Ainsworth, B.F (2001). Validation of the Cosmed K4b2 portable metabolic system. *International Journal of Sports Medicine* 31, 280-284
17. Phillips, S.M., Green, H.J., Macdonald, M.J., Hughson, R.L (1995). Progressive effect of endurance training on VO<sub>2</sub> kinetics at the

- onset of submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology* 79, 1914-1920
18. Powers, S.K., Dodd, S. and Beadle, R.E (1985). Oxygen uptake kinetics in trained athletes differing in VO<sub>2</sub>max. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 54, 306-308
  19. Taylor, H.L., Buskirk, E.R., Henschel, A (1955). Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *J Appl Physiol* 8, 73-80
  20. Xu, F. and Rhodes, E.C (1999). Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sports Medicine* 27, 313-27
  21. Yoshida, T., Udo, M., Ohmori, T., Matsumoto, Y., Uramoto, T. and Yamamoto, K (1992). Day-to-day changes in oxygen uptake kinetics at the onset of exercise during strenuous endurance training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 64, 78-83

### **Cita Original**

Tiago R. Figueira, Fabrizio Caputo, Carlos E.P. Machado and Benedito S. Denadai. Aerobic Fitness Level Typical Of Elite Athletes Is Not Associated With Even Faster VO<sub>2</sub> Kinetics During Cycling Exercise. *Journal of Sports Science and Medicine* (2008) 7, 132 - 138