

EFICIENCIA DE PEDALEO UTILIZANDO EL SISTEMA DE BIELAS ROTOR®; EFECTOS DE VARIACIONES EN LA CARGA INERCIAL

CYCLING EFFICIENCY USING THE ROTOR® CRANK-SET; EFFECTS OF VARYING INERTIAL LOAD

RESUMEN

Objetivo: Estudiar si el sistema de bielas Rotor® mejora la eficiencia de pedaleo y si esta mejora depende de la carga inercial.

Métodos: Ocho ciclistas sanos y entrenados realizaron dos pruebas (bielas normales (N) o con Rotor® (R)) en días separados y en orden aleatorio. En cada día los ciclistas pedalearon durante 4 estadios incrementales de 6 minutos de duración usando un plato de 60 o uno de 40 dientes que producía una carga inercial de 8,7 y 3,8 kgm² respectivamente. Durante el último minuto de cada estadio se midió el consumo de oxígeno (VO₂), ventilación (V_E) y concentración de lactato en sangre ([La]). Se calculó la eficiencia mecánica gruesa (EG) y la eficiencia delta (ED) con cada sistema de bielas (N y R) y cargas inerciales. Resultados: Con el aumento de la carga de trabajo incrementó el VO₂, V_E, [La], y EG sin obtenerse diferencias entre sistema de bielas o cargas inerciales. ED mejoró (25,1% vs 23,3%; p<0,05) con la carga inercial menor (3,8 kgm²; plato de 40 dientes) en comparación con la mayor (8,7 kgm²; plato de 60 dientes) en ambos sistemas de bielas.

Discusión: El principal hallazgo es que Rotor® no mejora la eficiencia de pedaleo (EG o ED). Sin embargo, reducir la carga inercial (plato de 40 dientes) mejora ED debido a una mejor eficiencia a altas cargas (261 y 290 vatios). Los resultados sugieren que durante el pedaleo de alta intensidad (subida de puertos) reducir la carga inercial (uso de un plato pequeño) mejora la eficiencia de pedaleo y puede beneficiar el rendimiento.

Palabras clave: Ciclismo. Eficiencia de pedaleo. Eficiencia delta. Carga inercial.

SUMMARY

Purpose: To study if the crank-set Rotor® improves cycling efficiency and if this improvement depends on the inertial load. **Methods:** Eight healthy-trained cyclists underwent two experimental trials (Normal crank-set (N) o Rotor crank-set (R)) in separated days in a randomized order. Each day cyclists pedalled during 4 incremental stages of 6 min using either a 60 tooth crank or a 40 tooth crank that elicited an inertial load (IL) of 8.7 and 3.8 kgm², respectively. Oxygen consumption (VO₂), ventilation (V_E) and blood lactate concentration ([La]) were measured during the last minute of each stage. Gross efficiency (GE) and delta efficiency (DE) were calculated for each crank-set (N and R) and for each inertial load. **Results:** With the increase in workrate, VO₂, V_E, [La] and GE increased without differences between N and R. DE improved (25.1% vs 23.3%; p<0.05) with the low inertial load (3.8 kgm²; 40 tooth crank) in comparison with the high inertial load (8.7 kgm², 60 tooth crank) in both crank-sets.

Discussion: The main finding is that Rotor does not improve cycling efficiency (GE or DE). However, a reduction in inertial load (40 tooth crank) improves DE due to a better efficiency at the high workrates (261 and 290 W). The results suggest that when pedaling at high workrates (climbing mountains) a reduction in the inertial load (by using a small crank) improves pedaling efficiency and could benefit performance.

Key words: Cyclist. Pedaling efficiency. Delta Efficiency, Inertial Load.

Rubén Lozano

Juan Del Coso

Ricardo Mora Rodríguez

Laboratorio Fisiología del Ejercicio Facultad Ciencias del Deporte Universidad de Castilla La Mancha

CORRESPONDENCIA:

Rubén Lozano. Universidad de Castilla La Mancha. Facultad de Ciencias del Deporte. Campus Tecnológico Antigua Fábrica de Armas. Avda. Carlos III, s/n. 45071 Toledo

Aceptado: 16-03-2006 / Original nº 516

INTRODUCCIÓN

El rendimiento en ciclismo depende de variables fisiológicas^{1,2} y biomecánicas^{2,3}. La eficiencia del pedaleo (trabajo realizado por unidad de energía consumida) es una de las variables que se han relacionado con el rendimiento en la prueba de contrarreloj de 60 minutos². La eficiencia se ha tratado de mejorar mediante el uso de sistemas de bielas o platos modificados⁴⁻⁸. El propósito de estas modificaciones ha sido el de obtener el máximo rendimiento mecánico en la fase positiva de la pedalada (0°-180°) e intentando reducir el gasto energético durante la fase negativa de la misma (180°-360°). Durante la pedalada, el mayor par de fuerzas se consigue cuando las bielas están paralelas al suelo, ya que toda la fuerza aplicada al pedal es efectiva, esto es, tangencial al arco de giro del pedal². Para reducir este pico de potencia se han utilizado platos elípticos (Shimano® Biopace) colocados de manera que se reduce el par máximo cuando los pedales están en la horizontal repartiendo así mejor los requerimientos energéticos de la pedalada. Esta modificación biomecánica no tiene un reflejo en las variables fisiológicas de frecuencia cardiaca o acumulación de lactato en sangre durante el pedaleo⁶. Sin embargo, Hue, *et al*, variando la biomecánica con el uso de platos excéntricos encontraron mejoras en el rendimiento en la prueba de 1 kilómetro (altamente explosiva y dependiente del metabolismo anaeróbico).

Está pues en tela de juicio si las modificaciones biomecánicas en el sistema de bielas y platos tienen como consecuencia un ahorro energético durante el pedaleo. Recientemente, se ha desarrollado en España un nuevo sistema de bielas (Rotor®; www.rotorbike.com) que reduce los puntos muertos de la pedalada, ya que el ángulo entre ellas no es fijo^{7,8}. En el sistema de bielas Normal, las bielas se encuentran en oposición (180° una respecto de la otra) durante todo el ciclo de pedaleo. Esto provoca que cuando las bielas están perpendiculares al suelo, la mayoría de la fuerza aplicada por el ciclista en los pedales no se transforme en fuerza efectiva^{9,10} existiendo un "punto muerto" donde la energía

se gasta sin producir trabajo. El sistema Rotor® permite que antes que un pedal finalice su fase de empuje (0°-180°), el otro haya terminado el recobro y esté situado por delante de la perpendicular (18° en la versión utilizada), preparado para producir par.

Gracias a estas ventajas biomecánicas del sistema Rotor®, Córdova, *et al*,⁸ encontraron reducciones de los valores de lactato y frecuencia cardiaca en ciclistas que pedalearon con ambos sistemas. Lucía, *et al*,⁷ hallaron aumentos de la eficiencia delta en sujetos que no eran ciclistas. En contraste a los datos de Córdova, *et al*, Lucia, *et al*, no encuentran que los consumos de oxígeno, lactato en sangre o frecuencia cardiaca sean menores con el sistema Rotor®. Recientemente nuestro laboratorio no ha encontrado diferencias en el pico de potencia máximo que se puede obtener con Rotor® en comparación a un sistema tradicional de bielas⁵. Este resultado nos hace pensar que quizás Rotor® sea ventajoso en una situación de pedaleo continuado más que en un sprint.

Los estudios publicados de Cordova y colaboradores y Lucía y colaboradores han analizado los efectos fisiológicos de Rotor® utilizado un sistema de rodillo acoplado a la rueda posterior de la bicicleta del ciclista. En estos rodillos la carga inercial es pequeña debido a que la masa del volante a vencer (rodillo) es poca y por lo tanto la resistencia por fricción es la principal fuente de resistencia al pedaleo. Sin embargo, en el ciclismo real (no en un ergómetro) vencer la carga inercial puede requerir gran parte de la potencia ejercida en los pedales. Esto sobre todo sucede durante el ascenso a puertos donde la carga inercial cobra una mayor importancia puesto que dentro de cada pedalada existe aceleración y desaceleración y se han de satisfacer las variaciones producidas en energía cinética.

Las inconsistencias encontradas en la literatura en cuanto a los posibles beneficios de Rotor® en la eficiencia de pedaleo (mejora en la eficiencia delta pero no en la gruesa;⁷ y solamente en sujetos que no son ciclistas¹⁴) sugieren que qui-

zás la carga inercial sea un factor importante para permitir ver u ocultar los hipotéticos efectos de Rotor® en la eficiencia de pedaleo. El diseño de Rotor® hace pensar que el ahorro mayor de energía se produciría en una situación donde la carga inercial es grande y por lo tanto en cada pedalada hubiese que acelerar la rueda (similar al efecto al subir un puerto).

El propósito de este estudio es comparar las respuestas fisiológicas cuando se pedalea a varias intensidades comparando el sistema de bielas normal (N) y el Rotor® (R) cuando se varía la carga inercial pero se mantiene la cadencia de pedaleo. Nuestra hipótesis es que reduciendo la carga inercial se podría aumentar la energía utilizada en acelerar la rueda (similar a ascender un puerto) y así maximizar los posibles beneficios de Rotor® en la eficiencia durante el pedaleo (reducir la energía utilizada en cada pedalada).

MÉTODOS

Sujetos

Para la realización del estudio contamos con 8 ciclistas de carretera sanos y entrenados que regularmente realizan ejercicio de pedaleo en bicicleta. Las características físicas de los sujetos se muestran en la Tabla 1. Todos los sujetos firmaron una hoja de consentimiento para la realización de este estudio. El estudio fue aprobado por el comité de ética local.

Material

Las mediciones se realizaron en un ciclo ergómetro con ajuste de carga por fricción, con un volante con momento de inercia de 0,95 kgm² (Monark® 818; Varberg, Suecia) modificado con manillar y sillín ajustables, bielas de 170 mm, pedales automáticos y dos platos uno de 60 dientes y otro de 40 dientes. El ciclo ergómetro Monark® fue equipado con un el sistema de bielas normales (N) o Rotor® (R; con un avance de biela de 18° por delante de la horizontal) según correspondiese la prueba a

Edad (años)	25,8±6
Peso (kg)	68,0±9
Estatura (cm)	175,3±7
VO ₂ max (mL*kg ⁻¹ *min ⁻¹)	66,6±8
Carga en VT ₂ (vatios)	272±31

TABLA 1.
Características físicas de los sujetos (promedio ± desviación estándar)

realizar. La medición de los parámetros metabólicos (VO₂, VCO₂, V_E) se hizo con un analizador de gases (Quark b²; Cosmed®, Milán), la sangre recogida, tras punción en la yema del dedo, fue inmediatamente analizada en un analizador de lactato (1500 Sport; YSI, USA) y la frecuencia cardiaca fue recogida con un pulsímetro con transmisión de los datos por telemetría (Polar Electro OY, Kempele, Finlandia).

Cálculo de la carga inercial

El ciclo ergómetro Monark® está diseñado para producir por cada pedalada por minuto y con 1 kilopondio (kp) de resistencia 1 vatio de potencia (Vatios = rpm * kp), con un plato de 52 dientes y un piñón de 14 dientes. Con esta configuración original la carga inercial (CI) del ciclo ergómetro es de 6,55 kgm².

$$CI = I * G^2 / 2 = 0,95 \text{ kgm}^2 * (3,7143)^2 / 2$$

En donde I es el momento de inercia de la rueda del ciclo ergómetro Monark® (0,95 kgm²) y G es el "gear ratio" o relación plato-piñón¹¹. Al cambiar el plato de 52 por uno de 40 o de 60 dientes (según el caso), G varía, y por lo tanto también la carga inercial (CI), siendo de 3,8 kgm² para el plato de 40 dientes y de 8,7 kgm² para el plato de 60 dientes.

Cálculo de las cargas de trabajo

El ciclo ergómetro Monark® consta de una rueda de 1.6154 metros de perímetro, la cual esta sometida a una fricción que genera resistencia al avance en el pedaleo. Dicha fricción esta controlada por un péndulo el cual ejerce una carga (kp) aumentando o disminuyendo la resistencia. Teniendo en cuenta el perímetro de la rueda

y el desarrollo que utiliza (52 * 14) por cada pedalada en un minuto la rueda recorre 6 metros y genera 1 vatio (6 kpm . min⁻¹ es igual a 1 vatio de potencia). Sin embargo al cambiar el plato de 52 por uno de 40 o de 60 la rueda recorre por cada pedalada 4,6 y 6,9 metros respectivamente, variando así la carga desarrollada (vatios). Para el cálculo de la potencia impuesta con cada plato se han utilizado las siguientes fórmulas:

$$\text{Plato 40; Vatios (w)} = [\text{kp} * (\text{revolución} \cdot \text{min}^{-1}) * (4.6 \text{ m} \cdot \text{revolución}^{-1})] / 6$$

$$\text{Plato 60; Vatios (w)} = [\text{kp} * (\text{revolución} \cdot \text{min}^{-1}) * (6.9 \text{ m} \cdot \text{revolución}^{-1})] / 6$$

Cálculo de la eficiencia gruesa y delta

La eficiencia mecánica gruesa (EG) de cada carga era calculada como el cociente entre el trabajo realizado (vatios convertidos en kcal . min⁻¹) y la energía consumida (promedio del VO₂ de los 2 últimos minutos de cada carga, en kcal . min⁻¹). La eficiencia delta (ED), era determinada como la inversa de la pendiente (1/m) que genera la relación carga de trabajo/VO₂ (en kcal . min⁻¹) durante las 4 cargas de trabajo⁷.

Test Preliminares y Familiarización

Dos días antes del inicio de las pruebas, los sujetos realizaron un test de consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) donde se analizaba también su umbral anaeróbico (VT₂) siguiendo la metodología descrita por Lucía y colaboradores^{12,13}

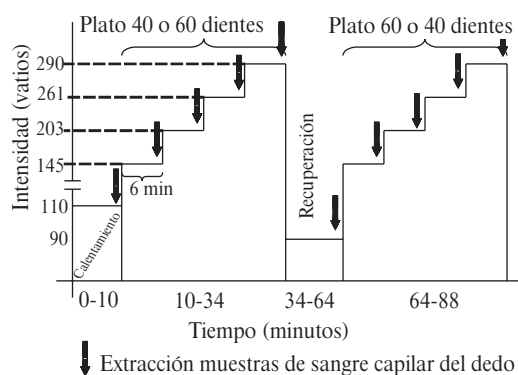


FIGURA 1.
Test experimental que se repitió en 2 ocasiones, una usando el sistema de bielas Normal y otra usando Rotor (el orden fue aleatorio)

en un ciclo ergómetro Monark® (818; Varberg, Suecia). Tras un calentamiento de 10 minutos a 140 vatios se incrementó la carga 25 vatios cada minuto en el test de VO_{2max}. El test de VO_{2max} se dio por concluido cuando el ciclista debido al agotamiento disminuyó la cadencia de pedaleo 20 rpm por debajo de la cadencia inicial. Además, la frecuencia cardiaca alcanzada era igual o un 95% de la máxima predicha en función a su edad, el cociente respiratorio (CR = VCO₂ / VO₂) superó 1.15 y se obtuvo un equilibrio en las lecturas de VO₂ (< 150 mL/min) a pesar de incrementar la carga de trabajo.

Test experimentales

Tras un calentamiento estandarizado (10 minutos a 110 vatios) los sujetos procedían a realizar 2 pruebas (una con plato de 40 dientes y otra con plato de 60 dientes, en orden aleatorio) de 4 estadios de carga incremental (53%, 74%, 95% y 106% de su VT₂) de 6 minutos de duración cada carga sin recuperación entre carga y carga. Al término de la primera prueba se realizaba un descanso activo (90-100 vatios) de 30 minutos de duración, asegurándonos la total recuperación del ciclista (lactato ± 1mM de los valores iniciales) para la realización de la segunda prueba (Figura 1). En otra ocasión se realizó el mismo procedimiento pero con el sistemas de bielas (Rotor® o Normal) restante. El día anterior a la realización de la prueba con el sistema Rotor® los sujetos realizaron un test de adaptación donde pedalearon con este sistema durante 30-40 minutos.

La cadencia de pedaleo durante el experimento fue la observada como habitual para el ciclista en las pruebas preliminares. La altura del sillín fue la misma para cada sujeto en todas las pruebas, igual que la distancia entre el sillín y el manillar. Durante cada prueba se registró cada minuto el consumo de oxígeno (VO₂), producción de dióxido de carbono (VCO₂), la ventilación (V_E) y la frecuencia cardiaca (FC). Se extrajeron muestras de sangre capilar del dedo índice (mediante punción con lanceta) en los 30 últimos segundos de cada carga para determinar la concentración de lactato.

Análisis Estadístico

los resultados se analizaron con tratamiento estadístico de T de Student aplicando el ajuste de Bonferroni para múltiples comparaciones. Las comparaciones se realizaron tomando como variable independiente el sistema de bielas (Normal o Rotor®) y el plato (40 y 60) en cada una de las cargas (53%,74%,95% y 106% de su VT₂) y como variables dependientes el VO₂, VCO₂, [La], FC, ED, EG y V_E. Se determinó como nivel de significancia estadística P < 0.05. Los resultados se presentan como promedio ± error estándar de la media (EEM).

RESULTADOS

El VO₂, la FC, [La], la EG aumentaron acorde con el aumento de la carga de trabajo, observándose un comportamiento similar entre ambos sistemas de bielas o platos, sin existir diferencias significativas entre ambos (Figuras 2, 3 y 5). ED no fue diferente cuando se comparó el sistema de bielas Normal con el Rotor®. Sin embargo, ED fue significativamente mayor con el plato de 40 que con el plato de 60 dientes en el sistema Normal (24,8%±1,2% vs 23,3%±1,0%, respectivamente) y en el sistema Rotor® (25,2% 0,4% vs 23,2%±1,2%, respectivamente) (Figura 6).

La mayor ED con el plato de menor carga inercial (3,8 kgm²) en ambos sistemas de bielas (25,1% vs 23,3%) fue debida a una menor eficiencia mecánica gruesa con el plato de 40 dientes en el estadio de menor carga (145 vatios) y a una mayor eficiencia gruesa durante los dos estadios de mayor carga de trabajo (261 y 290 vatios) (Figura 7) aunque estas diferencias no alcanzaron diferencia estadística.

DISCUSIÓN

La principal conclusión de este estudio es que el sistema de bielas Rotor® en comparación al Normal no mejora la eficiencia de pedaleo en ciclistas entrenados en intensidades cercanas al umbral anaeróbico. En contra de nuestra hipó-

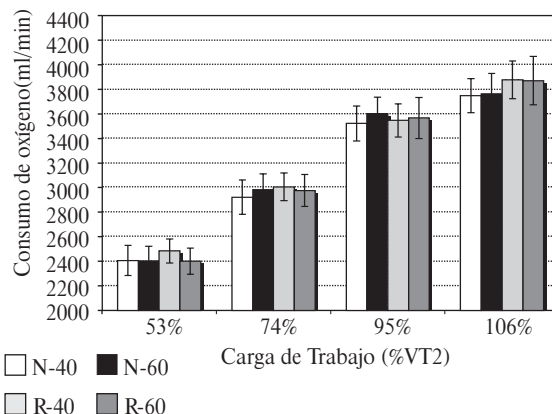


FIGURA 2. VO₂ en las diferentes cargas de trabajo con Normal (N) o Rotor (R) y con platos de 40 dientes o 60 dientes. Los valores son la media de los 8 sujetos ± EEM

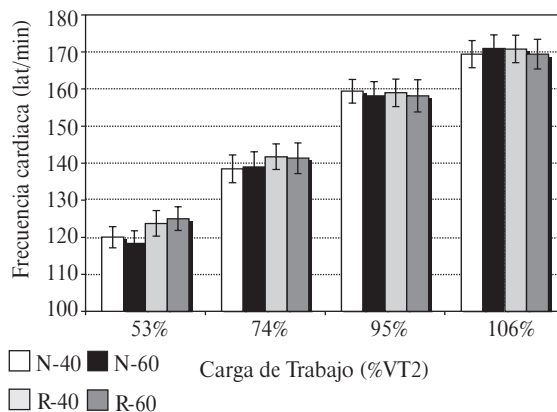


FIGURA 3. Frecuencia cardiaca en las diferentes cargas de trabajo con Normal (N) o Rotor (R) y con platos de 40 dientes o 60 dientes. Los valores son la media de los 8 sujetos ± EEM

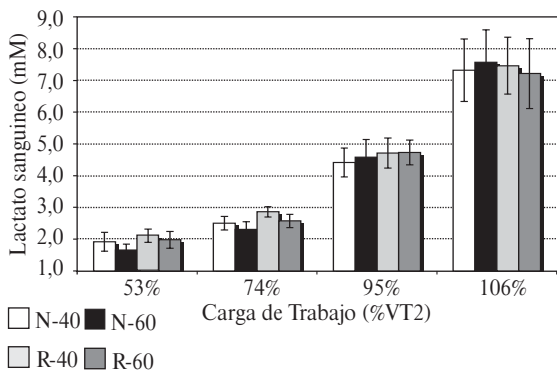


FIGURA 4. Lactato sanguíneo en las diferentes cargas de trabajo con Normal (N) o Rotor (R) y con platos de 40 dientes o 60 dientes. Los valores son la media de los 8 sujetos ± EEM

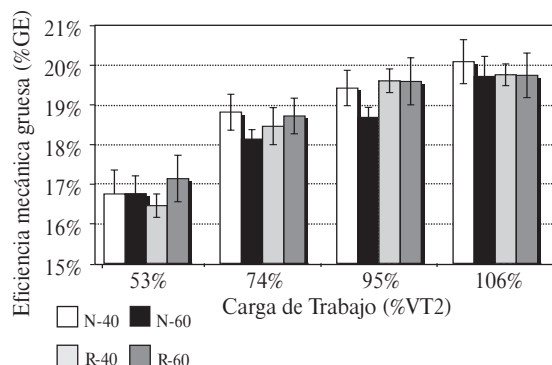


FIGURA 5. Eficiencia gruesa (EG) con bielas Normal (N) o Rotor (R) y con platos de 40 dientes o 60 dientes. Los valores son la media de los 8 sujetos ± EEM

FIGURA 6.
Eficiencia delta (ED)
con bielas Normal
(N) o Rotor (R) y con
platos de 40 dientes
o 60 dientes. Los
valores son la media
de los 8 sujetos \pm
EEM. (*) Diferencia
entre platos ($P < 0.05$)

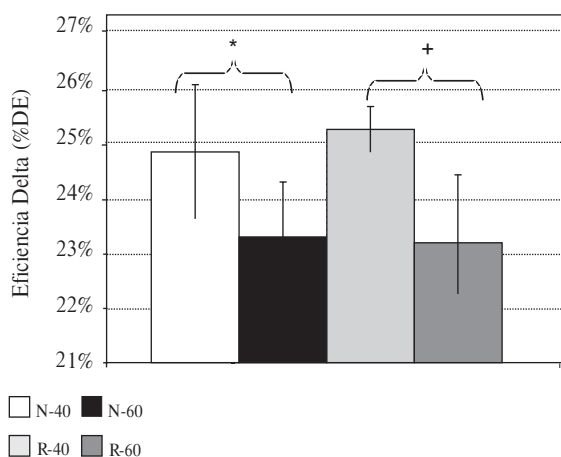
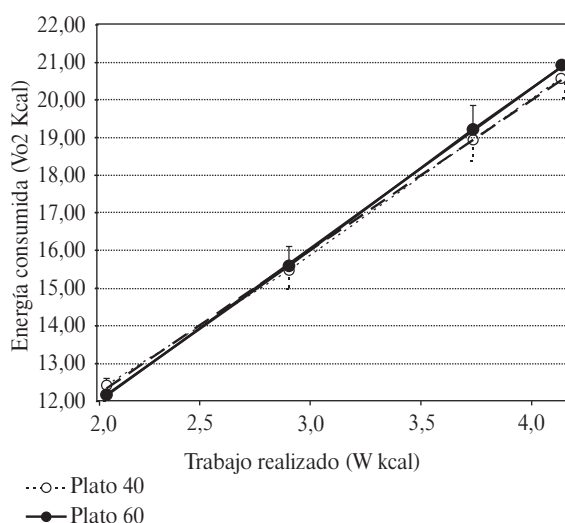


FIGURA 7.
Eficiencia delta (ED
inversa de la
pendiente que forma
el trabajo realizado y
la energía
consumida) entre
platos de 40 dientes y
60 dientes cuando los
datos de ambas bielas
se unen. Los valores
son la media de los 8
sujetos \pm EEM



tesis inicial, reducir la carga inercial a 3,8 kgm² no mejora la eficiencia metabólica (menor gasto energético) con el sistema de bielas Rotor®. Nuestros resultados son contrarios a los hallazgos iniciales de Lucía, *et al*⁷, el cuál encontró mejoras significativas en la eficiencia delta utilizando las bielas Rotor® en sujetos sanos que no estaban acostumbrados al ciclismo. Lucía y colaboradores inicialmente sugirieron que los cambios biomecánicos producidos en el sistema Rotor® podría demorar la fatiga en el reclutamiento de las fibras musculares. En el presente experimento no hemos medido ningún

índice de fatiga o rendimiento pero la falta de mejora en la eficiencia metabólica (supuestamente obtenida con la mejora mecánica del Rotor) nos sugiere que el rendimiento en ciclismo no mejoraría con la utilización del sistema de bielas Rotor®. Además, recientemente utilizando ciclistas entrenados, Lucía y colaboradores¹⁴ no han encontrado diferencia en la eficiencia metabólica entre los sistemas de bielas al igual que nuestros resultados. Los ciclistas entrenados parecen pues no obtener un beneficio energético por evitar el punto muerto de la pedalada. Posiblemente, los años de entrenamiento hayan minimizado al aplicación de la fuerza cuando la biela se encuentra en 180° (punto muerto para producir par).

Uno de los factores relacionados con la eficiencia mecánica del pedaleo es el gasto energético denominado carga interna. Esto es la energía consumida en procesos que no producen directamente par de fuerza en los pedales. Rotor® trata pues de reducir la carga interna reduciendo el punto "muerto" de aplicación de fuerzas en el sistema de bielas. Según Kautz⁹, los sistemas de bielas que modifican la biomecánica de la pedalada intentando incrementar la efectividad de la fase positiva y reduciendo la fase negativa no son eficaces, ya que el descenso de la carga interna no conlleva un menor coste en el trabajo mecánico del pedaleo. Según Kautz, acelerar y decelerar algún eslabón de la cadena mecánica que componen los distintos segmentos de la pierna conectados al pedal, no tiene una repercusión en reducir el trabajo interno si consideramos todo el movimiento durante una pedalada completa. Esto puede explicar que, aunque con Rotor® consigamos reducir las deceleraciones del pie en la zona de punto muerto gracias al avance de 18°, esto no tenga un efecto en el gasto energético.

Las mejoras en la eficiencia delta observadas con la carga inercial menor (plato 40) respecto a la mayor (plato 60) en ambos sistemas de bielas (Figura 6) es una consecuencia de un menor gasto energético durante las cargas de trabajo mas altas (Figura 7). Es durante las cargas de trabajo altas (260 - 290 vatios) donde

la resistencia de fricción sobre la rueda es mayor y quizás por esto la carga inercial es una componente importante de la resistencia en los pedales. Como consecuencia de esta mayor fricción en cada pedalada la rueda se acelera y desacelera variando pues su velocidad angular y la energía cinética ($EC = \frac{1}{2} I \cdot \omega^2$) del sistema, siendo aquí donde distintas cargas inerciales tienen una consecuencia en el gasto energético. Nuestros datos corroboran que vencer la carga inercial es un factor que tiene un reflejo en la energía aeróbica consumida a altas cargas de pedaleo. La energía necesaria para sacar del reposo (en nuestro caso para vencer el frenado de la banda de fricción en la rueda) es mayor a mayor carga inercial y en nuestro caso con el plato de 60 dientes que con el de 40. Esto sucede a pesar de mantener la misma frecuencia de pedalada y de tener una mayor fuerza de

fricción durante el pedaleo con el plato de 40 dientes.

En conclusión, nuestros datos sugieren que la carga inercial es un factor influyente en la eficiencia metabólica durante el pedaleo en donde la intensidad del ejercicio (resistencia en los pedales) es elevada (por encima del umbral anaeróbico de los ciclistas). Quizás, este factor junto con la necesidad de mantener una frecuencia de pedaleo alta sean las causas por las cuales los ciclistas eligen subir un puerto con un plato pequeño (39 dientes) y no con un plato grande (53 dientes) a pesar de que su potencia se lo permitiría. Además, este estudio cuestiona la universalidad de la medición de eficiencia metabólica cuando se utilizan distintos ergómetros con distinto desarrollo (relación plato - piñón).

B I B L I O G R A F Í A

1. **Lucia A, et al.** Physiological differences between professional and elite road cyclists. *Int J Sports Med* 1998;19:342-8.
2. **Coyle E, et al.** Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Med Sc Sports Exer* 1991;23:93-107.
3. **Hull ML, M Jorge.** A method for biomechanical analysis of bicycle pedalling. *J Biomech* 1985;18:631-44.
4. **Hue O, et al.** Enhancing cycling performance using an eccentric chairing. *Med Sc Sports Exer* 2001;33(6):1006-10.
5. **del Coso J, Aguado R, Mora R.** Mejora la biomecánica en el sprint en ciclismo: Sistema bielas Rotor vs. sistema tradicional. *Arch Med Dep* 2004;21(101):207-14.
6. **Hull ML, et al.** Physiological response to cycling with both circular and non circular chainrings. *Med Sc Sports Exer* 1992;4(10):1114-22.
7. **Lucia A, et al.** A new pedaling design: the Rotor - effects on cycling performance. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(11):1854-8.
8. **Córdova A, et al.** Estudio de la eficiencia metabólica del sistema rotor frente a una bicicleta convencional. *Arch Med Dep* 1998;15(63):29-35.
9. **Kautz SA, Neptune RR.** Biomechanical determinants of pedaling energetics: Internal and external work are not independent. *Exerc Sport Sci Rev* 2002;30(4):159-65.
10. **Patterson R, Moreno M.** Bicycle pedaling forces as a function of pedaling rate and power output. *Med Sc Sports Exer* 1990;22:5125-516.
11. **Martin J, Wagner B, Coyle E.** Inertial - load method determines maximal cycling power in a single exercise bout. *Med Sc Sports Exer* 1997;29(11):1505-12.
12. **Lucia A, et al.** Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(10):1777-82.
13. **Davis J.** Anaerobic threshold: a review of the concept and directions for future research. *Med Sc Sports Exer* 1985; 17:6-18.
14. **Lucia A, Balmer J, Davison RC, Perez M, Santalla A, Smith PM.** Effects of the rotor pedalling system on the performance of trained cyclists during incremental and constant-load cycle-ergometer tests. *Int J Sports Med* 2004;25(7):479-85.