

POTENCIA MECÁNICA Y SISTEMA ROTOR

^aRodríguez-Marroyo, J.A., ¹García-López, ¹Avila Ordas, C., ¹Peleteiro, J., ²Jiménez, F., ³Cordova, A., ¹Villa Vicente, G.

¹Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de Castilla y León. ²Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de Castilla la Mancha. ³Escuela Universitaria de Fisioterapia, Soria.

INTRODUCCIÓN

En el ciclismo el metabolismo anaeróbico al contrario que el aeróbico ha sido muy poco estudiado debido a que hasta hace poco no se existía ningún test específico para su valoración (16). Se pensaba que era una cualidad poco desarrollada (17) y que determinaba el rendimiento en un grupo de ciclistas aeróbicamente homogéneo (4).

La cualidad anaeróbica en el ciclismo va a estar asociada con acciones decisivas que determinan en la mayoría de los casos el desenlace de las carreras (sprintar, demarrajajes, últimos kilómetros,...), además va a condicionar el rendimiento del ciclista en pruebas contrareloj de una duración inferior a 30 min. (11) y el rendimiento del ciclista en las subidas (5, 8). En definitiva los ciclistas de alto nivel tienen exigencias de producción de energía que se sitúan en todas las fuentes energéticas, tanto aeróbicas como anaeróbicas (15, 17), adquiriendo mayor importancia o relevancia el metabolismo anaeróbico a la hora de determinar el rendimiento o resultado final de una prueba.

Los test más utilizados a la hora de valorar el metabolismo anaeróbico en el ciclista han sido los test de Wingate (15) y el déficit de oxígeno acumulado (16), también se ha usado el salto vertical para determinar la fuerza explosiva de la extremidad inferior en los ciclistas pero poco utilizado por lo inespecífico del mismo (19).

El test de Wingate se diseñó para ser realizado fácilmente de una manera no invasiva midiendo el rendimiento muscular en vez de variables indirectas (fisiológicas o biomecánicas) (1). Los índices de rendimiento que se pueden determinar con el test son los siguientes: a) la potencia pico, desarrollada que comúnmente aparece en los 5 primeros segundos del test. b) potencia media ejercida durante los 30 segundos que dura el test, y c) índice de fatiga o velocidad de fatiga, que determina el grado de caída de la potencia durante el test, (1).

El objetivo de este trabajo ha sido analizar la influencia que puede tener un nuevo sistema de bielas (Rotor System) en la producción de potencia mecánica en un test supramáximo en ciclistas profesionales.

MATERIAL Y MÉTODO

Sujetos

Los sujetos que realizaron este estudio fueron 4 ciclistas profesionales del Equipo Colchones Relax-Fuenlabrada. Acudieron al Laboratorio de Fisiología Aplicada del ICAFD de Castilla y León al inicio de la temporada 2002, en el mes de diciembre. Las características de los sujetos analizados se muestran en la Tabla 1.

Sistema Rotor

El sistema rotor se trata de un sistema de bielas independientes, que sustituye al sistema de bielas tradicionales donde las bielas se encuentran enfrentadas. Este nuevo sistema favorece que las bielas se muevan de manera más lenta durante la fase de bajada del pedal que durante la fase de subida del pedal. De esta forma se consigue que las bielas nunca coincidan en el punto superior e inferior de la fase de pedaleo (Figura 1 y 2)

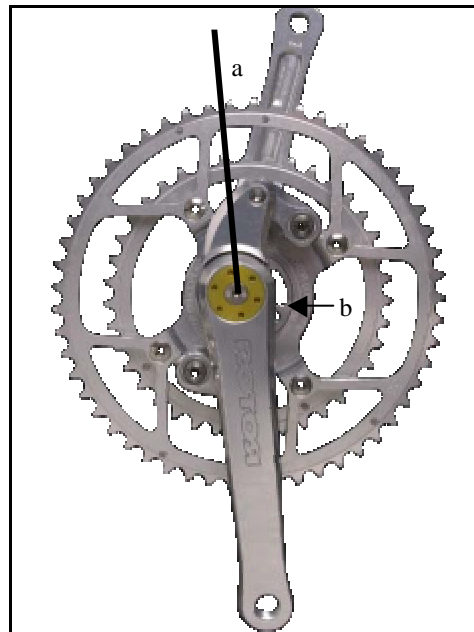


Figura 1. Sistema Rotor.

El ángulo mínimo que existe entre bielas es de 15° (Figura 1a). El sistema rotor está montado sobre una excéntrica (Figura 1b) que permite fijar diferentes puntos de regulación (R1, R2, R3 y R4). Siendo la posición 1 la más alta y la posición 4 la más baja. Entre cada posición hay un desfase de 6° .

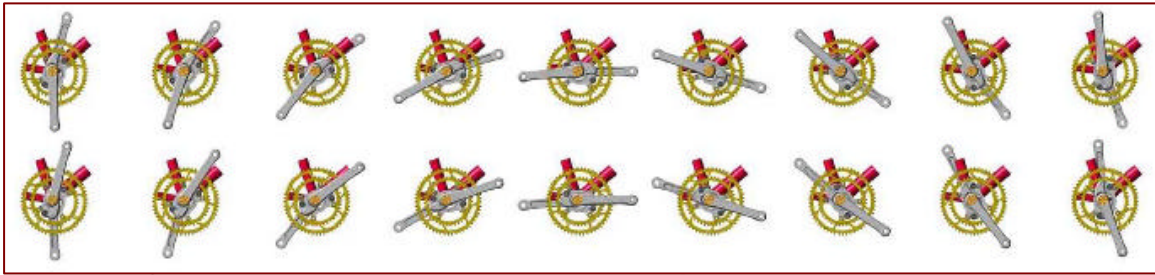


Figura 2. Secuencia donde se observa la cinemática de las bielas con el sistema Rotor.

Pruebas de Laboratorio

Los corredores fueron sometidos durante 2 días a una valoración de su estado de forma para lo cual se les realizó una valoración cineantropométrica, de la cualidad aeróbica y anaeróbica.

Uno de los test a los que fueron sometidos los ciclistas fue el test de Wingate. Cada corredor realizó 5 test de Wingate, 4 de ellos con el sistema Rotor y 1 con un sistema de bielas convencionales. Los 5 test se realizaron de manera aleatoria.

Tras un calentamiento estandarizado de 10 minutos y después de realizar una serie de sprints en su propia bicicleta situada en un ciclosimulador Cateye cs-1000, los ciclistas pasaban a realizar 5 minutos de pedaleo sobre un cicloergómetro de freno mecánico donde iban a realizar el test (Monark 818). La fuerza de frenado a vencer durante los 30 segundos que duraba el test, fue la óptima para cada uno de los sujetos. No se permitió a los ciclistas que se pusieran de pie, sobre los pedales de la bicicleta, teniendo que permanecer sentados sobre el sillín durante toda la prueba.

La fuerza de frenado para cada ciclista fue establecida según el procedimiento de Vandewalle y cols. (1987) (18). Para determinarla se realizó una serie de sprints de 6-7 segundos lo más rápido posible sin levantarse del sillín. La fuerza inicial con la que se realizaron los sprints fue de 30N y se fue incrementando en 10N cada intento. Los sujetos descansaban entre cada intento 4 minutos. Posteriormente se determinó la potencia máxima alcanzada con cada uno de los sprints, de esta manera la fuerza de frenado que se puso a cada ciclista en el test de Wingate fue con la que se obtuvieron los mayores valores de potencia.

La velocidad de pedaleo se midió a través de un sistema de imanes colocados en las bielas del ergómetro, que a la vez estaban conectados a un contador de tiempo SportSPEED2.0® (DSD SL.), con una precisión de 1000Hz.

Análisis estadístico

Los resultados se expresan como media \pm error estándar de la media (EEM). Para determinar las diferencias existentes entre los parámetros analizados se realizó el test de Wilcoxon para datos no paramétricos. Valores para $p < 0.05$

fueron considerados estadísticamente significativos. Para este análisis se usó el software SPSS+ vers.4.0 statistical software (Chicago, IL).

RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran las características de los ciclistas que intervinieron en el estudio.

Tabla 1. Características de los ciclistas analizados.

Peso (kg)	71.9±2.5
Talla (cm)	181.1±3.5
Porcentaje graso	7.3±0.2
VO₂máx (ml· kg⁻¹ min⁻¹)	77.3±1.1

No se obtuvieron diferencias significativas en las potencias máximas encontradas cuando los ciclistas realizaron el test con rotor (893.8±47W) y sin rotor (885±36.5W). De la misma manera tampoco se hallaron diferencias significativas en la potencia media (767.1±20.9 y 751.4±29.4W en las pruebas realizadas con y sin rotor respectivamente). A pesar de no existir diferencias significativas en las potencias máximas y medias se puede observar una tendencia a ser mayores los valores cuando los ciclistas llevaban el rotor (Figura 3).

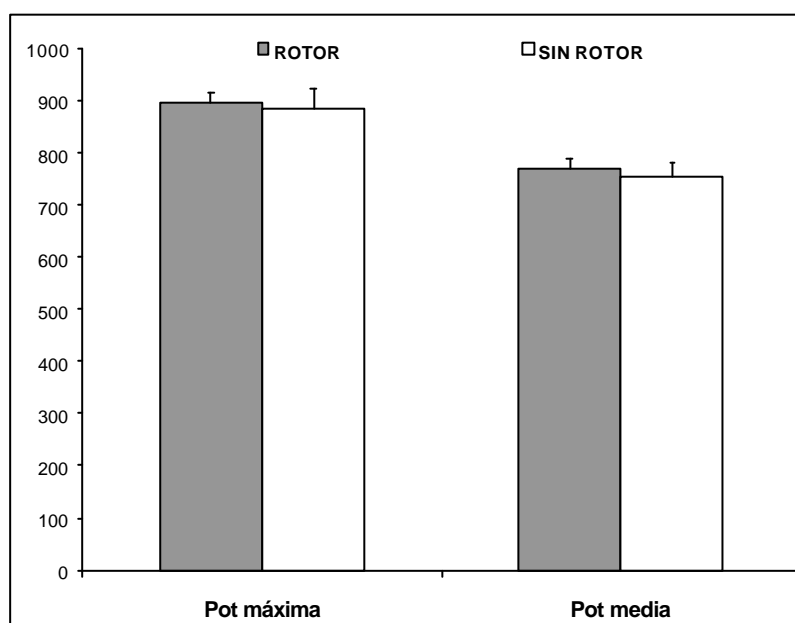


Figura 3. Potencias absolutas con rotor y sin rotor

Cuando se analizaron las potencias relativas los valores obtenidos con y sin rotor fueron similares. Lo mismo sucede con el tiempo que tardaron los ciclistas en alcanzar su potencia máxima durante el test (Tabla 2). El índice de fatiga hallado con rotor (33.3±2.5) es menor que el hallado sin rotor (35.3±3.4) aunque no se encontraron diferencias significativas entre ambos valores.

Tabla 2. Potencias relativas halladas con y sin rotor.

	ROTOR	SIN ROTOR
Potencia máx/Kg (W/Kg)	12.5±0.3	12.3±0.7
Potencia media/Kg (W/Kg)	10.7±0.3	10.5±0.5
T° pot máx (seg)	5.1±0.2	5.4±0.3
Ind fatiga	33.3±2.5	35.3±3.4

T° pot máx, tiempo en alcanzar la potencia máxima (s.);
Ind fatiga, índice de fatiga.

Cuando se analizaron los resultados en función de las diferentes posiciones que permite el sistema rotor, no se hallaron diferencias entre ninguna de ellas ni entre éstas y las potencias absolutas encontradas en el test realizado sin rotor (Tabla 3), a pesar de ello los mayores valores se encontraron con la posición 4 de rotor (942.2±43 y 807.3±43.5W para la potencia máxima y media respectivamente). El mismo comportamiento se observó cuando se analizaron las potencias en función del peso (Figura 4).

Tabla 3. Resultados de potencia absoluta obtenidos en el test de Wingate para las diferentes posiciones del rotor analizadas.

	Potencia máxima	Potencia media	T° pot máx	Ind fatiga
ROTOR 1	897±138	781.5±42.9	5±0.2	31.4±2.9
ROTOR 2	902.7±41.3	750.8±40	4.7±0.2	43.5±3.4
ROTOR 3	833±47	728.6±47.4	5.4±0.7	24.3±5.6
ROTOR 4	942.2±43	807.3±43.5	5.4±0.4	34.1±3.2
SIN ROTOR	884±36.5	751±29.4	5.4±0.3	35.3±3.4

T° pot máx, tiempo en alcanzar la potencia máxima (s.); Ind fatiga, índice de fatiga.

No se hallaron diferencias significativas en el tiempo que tardaron los ciclistas en alcanzar la potencia máxima con ninguna de las posiciones, aunque se alcanzó antes con la posición 2 de rotor (4.7±0.2s.). El menor índice de fatiga encontrado pertenece a la posición 3 de rotor (24.3±5.6), aunque al igual que sucedía con los demás parámetros analizados no se obtuvieron ningún tipo de diferencias significativas entre las diferentes posiciones analizadas.

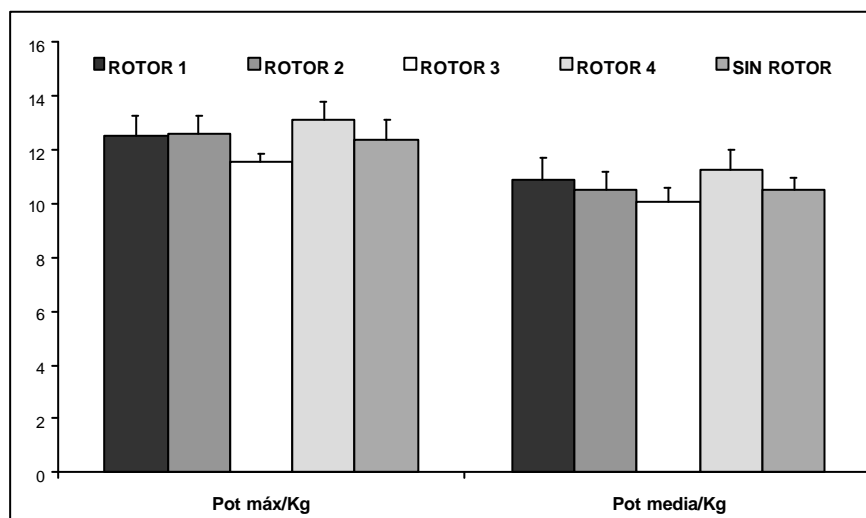


Figura 4. Potencias relativas obtenidas en las diferentes posiciones de rotor y sin rotor

DISCUSIÓN

El desarrollo de pedales dinamométricos ha permitido el estudio de patrones de aplicación de fuerza en distintas condiciones y cadencias de pedaleo (2, 3, 12, 14). Las fuerzas aplicadas sobre el pedal han sido estudiadas por varios investigadores (3, 10, 12, 13), consensuándose que a una potencia estable las mayores fuerzas tangenciales a la biela se registran en el rango de los 90-110° (2, 3, 6, 7, 10). También se ha observado cómo tras los primeros 180° de rotación de la biela, los segundos 180° de rotación o fase de recuperación se caracterizan por la aplicación de fuerza que no contribuye al impulso positivo, a menos que las demandas de potencia sean muy altas (14). También es sabido que dependiendo de la cadencia de pedaleo escogida por el ciclista para una misma potencia, el patrón de fuerzas aplicadas sobre el pedal va a variar (13).

Los estudios describen dos posiciones donde la aplicación de fuerza sobre el pedal sería poco efectiva para producir avance en la bicicleta, estas dos posiciones denominadas punto muerto superior y punto muerto inferior, aparecen cuando las bielas están situadas en posición perpendicular al suelo (14). Lo que provocan es una falta de propulsión que disminuye la energía cinética del sistema ciclista-bicicleta, y que posteriormente tiene que ser recuperada para mantener una velocidad más o menos estable (13). Con el fin de evitar los puntos muertos en los cuales no se genera movimiento o éste es escaso, en otros deportes han sido utilizadas algunas estrategias, como es el ejemplo de la natación, donde ha existido una tendencia en la evolución de la técnica para evitar estos vacíos de propulsión (9). Por tanto, la introducción de un sistema de pedaleo sin puntos muertos superior e inferior pudiera ser, a priori, beneficiosa.

A pesar de la escasa muestra del estudio (n=4), todos los corredores obtuvieron mejores registros de potencia máxima y potencia media con el sistema rotor frente al sistema de bielas convencionales, sin llegar a obtenerse diferencias estadísticamente significativas. Esto puede deberse a que, como se observa en la Figura 2, el trayecto descrito por las bielas es más largo para la biela que asciende que para la biela que desciende, y como lo realizan en el mismo tiempo, esto quiere decir que la biela descendente lo hace de una manera más lenta. Para una misma potencia mecánica se ha descrito que una menor velocidad angular facilita la mejor aplicación de fuerza durante la fase de descenso (13).

Como ya hemos mencionado anteriormente la fase de descenso de las bielas es donde se va a aplicar la mayor potencia en la pedalada (2, 3, 6, 10, 12, 13, 14), y la fase de ascenso donde la producción de potencia que favorece la propulsión de la bicicleta es nula o muy pequeña (10, 14). El sistema rotor va a favorecer estas fases de tal manera que minimiza la fase de ascenso recobrando la biela a una mayor velocidad poniéndola de esta manera en disposición de ejercer fuerza, antes que las bielas convencionales.

Por todo lo comentado anteriormente el efecto conseguido es que la curva de potencia abarque una mayor área obteniendo de esta manera unos valores de potencia media mayores que los obtenidos con las bielas normales.

También son menores los índices de fatiga con rotor, lo que puede deberse al hecho de solapar los puntos muertos de una biela con fases propulsivas de la biela contraria. Esta estrategia permite que no haya una pérdida de inercia en el eje de pedaliar que provoque volver a acelerar el sistema con un detrimento en la uniformidad de las fuerzas ejercidas, lo cual puede provocar un mayor cansancio.

Cuando se han analizado los valores de potencia en función de las diferentes posiciones de rotor se observa que, a pesar de la inexistencia de diferencias significativas, existe una tendencia al aumento de la potencia a medida que se varía la posición de rotor de la 1 a la 4. Esto puede ser debido a las grandes cadencias de pedaleo que se obtienen en el test, lo que va hacer modificar el patrón de aplicación de la fuerza sobre el pedal (2, 13, 14), desplazándose las mayores fuerzas tangenciales hasta pasados los 90-110°. De esta forma pondría más rápidamente en disposición al ciclista de ejercer fuerza en una posición de biela idónea ya que la posición 4 es la que más tarde va encontrar la aplicación de fuerza sobre el pedal en la fase descendente de la biela. Además esto favorecería que ante grandes resistencias a vencer con la posición 4 halla una mayor inercia que facilite la propulsión.

Esta tendencia a ejercer mayores potencias máximas y medias con posiciones más altas se rompe y no se cumple con la posición 3, donde se obtienen los menores valores, incluso menores que los obtenidos con las bielas tradicionales. Analizando los sujetos uno por uno observamos que este comportamiento se debe al comportamiento de uno de los sujetos de la muestra, lo cual hace que la media descienda. Posiblemente este resultado sea debido a que no se realizó el test con esta posición a las máximas posibilidades del sujeto, lo cual se puede refrendar por el poco índice de fatiga obtenido y que también se incluye en la Tabla 3.

En conclusión es necesario realizar un estudio con mayor número de sujetos para determinar si el sistema Rotor mejora de manera significativa los valores de potencia mecánica obtenidos en el test de Wingate. A pesar del escaso número de sujetos de este estudio la reducción de los puntos muertos durante el pedaleo a través del sistema Rotor de bielas independientes pudiera mejorar el rendimiento del ciclista en acciones de corta duración y de muy alta intensidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. BAR OR, O. (1987). "The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity." *Sports Med.* 4: 381-394.
2. CALDWELL, G.; LI, L.; McCOLE, S.; HAGBERG, J. (1998). "Pedal and crank kinetics in uphill cycling." *J. Appl. Biomechanics.* 14: 245-259.
3. COYLE, E.F.; FELTNER, M.E.; KAUTZ, S.A. y cols. (1991). "Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance." *Med. Sci. Sports Exerc.* 23: 117-121.
4. FARIA, I. (1992). "Energy expenditure, aerodynamics and medical problems in cycling." *Sports Med.* 14: 43-63.

5. FERNÁNDEZ, B.; PÉREZ, J.; RODRÍGUEZ, M.; TERRADOS, N. (2000). "Intensity of exercise during road race pro-cycling competition." *Med. Sci. Sports Exerc.* 32: 1002-1006.
6. HULL, M.; GONZALEZ, H.; REDFIELD, R. (1988). "Optimization of pedaling rate in cycling using a muscle stress based objective function." *Int. J. Sports Biomechanics.* 4:1-20.
7. HULL, M.; JORGE, M. (1985). "A method for biomechanical analysis of bicycle pedaling." *J. Biomechanics.* 18: 631-644.
8. LUCÍA, A.; HOYOS, J.; CARVAJAL, A.; CHICHARRO, J.L. (1999). "Heart rate response to professional road cycling: the Tour de France." *Int. J. Sports Med.* 20: 167-172.
9. MAGLISCHO, C.W. y cols. (1986) "Abiomechanical analysis of the 1984 U.S. Olympic swimming team." *Journal of Swimming Research.* 2: 12-16.
10. NEPTUNE R.R.; HERZOG, W. (1999). "The association between negative muscle work and pedaling rate." *J. Biomechanics.* 32: 1021-1026.
11. PADILLA, S.; MÚJICA, I.; ORBAÑANOS, J.; ANGULO, F. (2000). "Exercise intensity during competition time trials in professional road cycling." *Med. Sci. Sports Exerc.* 32: 850-856.
12. REDFIELD, R.; HULL, M.L. (1986). "On the relation between joint moments and pedalling rates at constant power in bicycling." *J. Biomechanics.* 19: 317-329.
13. SANDERSON, D.J. (1991). "The influence of cadence and power output on the biomechanics of force application during steady-rate cycling in competitive and recreational cyclist." *J. Sports Sci.* 9: 191-203.
14. SANDERSON, D.J.; HENNING, E.M.; BLACK, A.H. (2000). "The influence of cadence and power output on force application and in shoe pressure distribution during cycling by competitive and recreational cyclists." *J. Sports Sci.* 18: 173-181.
15. TANAKA, H.; BASSETT, DR.; SWENSEN, TC.; SAMPEDRO, RM. (1993). "Aerobic and anaerobic power characteristics of competitive cyclists in the United States Cycling Federation." *Int. J. Sports Med.* 14: 334-338.
16. TERRADOS, N. (1991). "Capacidad anaeróbica en el ciclismo: Nuevas consideraciones." I Congreso Internacional sobre Ciencia y Técnica en el Ciclismo. Torremolinos.
17. TERREROS BLANCO, J.L. (1991). "Abordaje científico del entrenamiento deportivo. Ciclismo en carretera." *Archivos de Medicina del Deporte.* 8: 51-60.
18. VANDEWALLE, H.; PERES, G.; MONOD, H. (1987). "Standart anaerobic exercise test." *Sports Med.* 4: 268-289.
19. WHITE, JA.; AL-DAWALIBI, MA. (1986). "Assessment of the power performance of racing cyclists." *J. Sports Sci.* 4: 117-122.