

## EFFECTOS DEL SISTEMA DE PEDALEO NO CIRCULAR Q-RING SOBRE EL RENDIMIENTO EN EL SPRINT DE LA DISCIPLINA CICLISTA BMX

Mateo, M. <sup>1</sup>; Blasco-Lafarga, C. <sup>2</sup>; Fernández-Peña, E. <sup>3</sup>; Zabala, M. <sup>4</sup>

1. Federación Española de Ciclismo, Madrid
2. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Universidad de Valencia
3. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Universidad del País Vasco
4. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Universidad de Granada

---

### RESUMEN

El objetivo de este estudio ha sido evaluar los efectos de un sistema de plato no circular de desarrollo variable Q-Ring (Q) frente a uno convencional (NQ) sobre el rendimiento en el sprint ciclista de Bicicleta de Moto Cross (BMX). Catorce deportistas pertenecientes a la Selección Nacional Española han realizado un test de sprint, desde la rampa de salida, en una pista de BMX (3.95 s de duración; orden randomizado y contrabalanceado). El análisis de contraste prueba T para muestras relacionadas no muestra diferencias estadísticamente significativas para las variables Velocidad media ( $V_{media}$ ) y Tiempo en 31m ( $T_{31m}$ ) entre Q y NQ cuando considera al grupo en su conjunto. Sin embargo, al dividir la muestra entre deportistas Expertos y Noveles, encontramos diferencias a favor de Q respecto de NQ entre los Expertos ( $V_{media}$ :  $5.91 \pm 0.03$  vs  $5.81 \pm 0.05$  m/s;  $T_{31m}$ :  $3.21 \pm 0.02$  vs  $3.23 \pm 0.02$  s;  $P < 0.05$ ), diferencias que se traducen hasta en 40 cm de ganancia en los 3.95 primeros segundos de carrera. Estos resultados sugieren que el sistema Q mejora el rendimiento en el sprint de la especialidad ciclista BMX siempre que el deportista posea la capacidad de mover adecuadamente su desarrollo.

**Palabras clave:** Eficiencia mecánica, plato no circular, pedaleo, rendimiento, sprint, BMX

### ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the possible benefits of using a non-circular chain-wheel system Q-Ring (Q) versus a conventional one (NQ) on the performance in the Bicycle Moto Cross (BMX) sprint cycling discipline. Fourteen riders belonging to the Spanish National Team performed a sprint test (3.95 s of duration, randomized and counterbalanced), from the starting gate ramp in a BMX track. The T-Test contrast analysis for related samples showed no statistically significant differences for the variables Average Speed ( $V_{mean}$ ) and Time in 31m ( $T_{31m}$ ) between Q and NQ, when considering the group as a whole. However, when the analysis considered two groups separately: Experts vs Novice, we found significant differences for Q vs NQ within the Experts ( $V_{mean}$ :  $5.91 \pm 0.03$  vs  $5.81 \pm 0.05$  m/s;  $T_{31m}$ :  $3.21 \pm 0.02$  vs  $3.23 \pm 0.02$  s;  $P < 0.05$ ); what meant an improvement up to 40 cm in the distance covered within this first 3.95 seconds. Hence, our results suggest that the non-circular chain-wheel system Q-Ring improves sprint performance in BMX, provided the riders have a conditional level enough to ensure the capacity to develop the pedaling properly, despite of the strength needed.

**Key Words:** Mechanical efficiency, non-circular, pedaling, performance, sprint, BMX

---

### Correspondencia:

Manuel Mateo March

C/ Espronceda 14, bajo F. San Vicente del Raspeig. 03690 Alicante

manuel.mateo@ymail.com

Fecha de recepción: 28/05/2010

Fecha de aceptación: 02/10/2010

## INTRODUCCIÓN

La velocidad es un factor determinante en la mayoría de las competiciones ciclistas (Martin, Davidson, & Pardyjak, 2007). El 25% del total de las pruebas disputadas en los Campeonatos Mundiales (UCI) se consideran disciplinas de sprint (Martin, et al., 2007), y este porcentaje aumenta hasta el 44% cuando nos referimos a los JJ.OO. De las 18 pruebas disputadas en estos últimos, 6 corresponden a modalidades altamente dependientes de la velocidad (Sprint individual y BMX, en ambos casos con prueba femenina y masculina; y las modalidades del Sprint por Equipos y el Keirin, ya solamente masculinas); otras 2 están basadas en carreras cortas de esprines repetidos (la carrera de Puntuación; femenina y masculina); y respecto al resto, no es extraño que el resultado de la prueba se decida en el sprint final, sobre la línea de meta. Encontramos así que la mejora de la velocidad y la optimización de la técnica de pedaleo que le sigue se convierten en uno de los objetivos más importantes del entrenamiento en cualquiera de estas disciplinas, constituyéndose en objeto central de estudio para sus entrenadores.

En el caso concreto del BMX (*Bicycle Moto-Cross*), los deportistas compiten enfrentándose en tandas de un máximo de 8 corredores, pasando eliminatorias hasta disputar la final, también con 8 plazas. La duración de la prueba no es estándar. Los tiempos medios se sitúan en torno a los 30 y los 45 segundos en función de las características y el diseño de las pistas; más concretamente en función de las características y distribución de una serie de obstáculos, curvas y peraltes que están distribuidos estratégicamente sobre un terreno plano, con longitudes que oscilan entre los 300 y los 400 m. Por ejemplo, en el año 2008 el tiempo medio en los campeonatos oficiales se estableció en  $34.66 \pm 2.39$  s (Zabala, et al., 2008; Zabala, Sánchez-Muñoz, & Gutiérrez, 2009; Zabala, Sánchez-Muñoz, & Mateo, 2009). Con el fin de permitir que el deportista alcance la máxima aceleración, se sitúe en cabeza y consiga la mejor posición para afrontar los obstáculos y curvas que se suceden a lo largo del circuito, con garantías para seguir incrementando la velocidad en cada uno de ellos, los deportistas se mantienen inicialmente dentro un carril individual de 10 metros en el que no está permitido invadir las líneas que lo delimitan. Tanto la disposición de la salida, en pendiente descendente, como este primer tramo de recta con calles, han sido diseñados para favorecer al máximo las posibilidades de aceleración de los mejores, pues conseguir las primeras posiciones al final de la recta asegura en gran parte el buen desempeño en la clasificación final. Así pues, la capacidad de acelerar la bicicleta en estos primeros metros tiene una gran importancia en BMX (W. Bertucci, Hourde, Manolova, & Vettoretti, 2007; M Mateo, Blasco-Lafarga, & Zabala, 2010; M. Mateo, Zabala, & Blasco-Lafarga, 2009; Zabala, Sánchez-Muñoz, & Mateo, 2009), y prueba de ello la encontramos en que la mayoría de la literatura científica

referida a esta disciplina ciclista se centra en la mejora del rendimiento en esta aceleración inicial (W. Bertucci, et al., 2007; Campillo, Doremus, & Hespel, 2007; Herman, McGregor, Allen, & Boltt, 2009; M. Mateo & Zabala, 2007; Slyter, et al., 2001; Zabala, Sánchez-Muñoz, & Mateo, 2009).

Por otro lado, por lo que se refiere a la optimización de la técnica del pedaleo como sustento para una mejora de la velocidad, los análisis cinéticos sobre los sistemas de pedaleo tradicionales muestran que la fuerza aplicada no es constante durante el ciclo completo del pedaleo (Coyle, et al., 1991; Ericson & Nisell, 1988; Patterson & Moreno, 1990), encontrando que la fuerza tangencial es máxima cuando las bielas están aproximadamente en horizontal (Ericson & Nisell, 1988). En el extremo opuesto, estos análisis reconocen la existencia de dos puntos críticos en la evolución de la fuerza tangencial que corresponden a los puntos muertos superior (PMS) e inferior (PMI) cuando las bielas se posicionan verticalmente. Frente a estos sistemas mecánicos tradicionales, los sistemas de pedaleo no circulares, disponibles en ciclismo desde 1890's (Malfait, et al., 2006), se presentan como estrategias mecánicas alternativas, diseñadas para corregir estas deficiencias de carácter cinético. De hecho, se encuentran estudios científicos que encontrando estudios científicos que tratan de mostrar sus efectos en los últimos 40 años (Henderson, Ellis, Klimovitch, & Brooks, 1977).

Los sistemas no circulares han ido evolucionando y en la actualidad los encontramos de diferentes tipos. Entre ellos, y atendiendo a las especificaciones técnicas de sus fabricantes, destacan: 1) Platos elípticos con el eje mayor paralelo a la biela para incrementar el diámetro del plato durante los pasos por los puntos muertos («Biopace», Shimano, Osaka, Japan) (Cullen, Andrew, Lair, Widger, & Timson, 1992; Hull, Williams, Williams, & Kautz, 1992); 2) Platos elípticos con el eje mayor perpendicular a la biela para incrementar el diámetro del plato durante el dowstroke («Harmonic Chainring», Somovedi S.A.M., Monaco; «Hull oval», California, Davis, USA; o «Rasmussen oval», John Rasmussen, Univ of Aalborg, Denmark) (Horvais, Samozino, Zameziati, Hautier, & Hintzy, 2007; Hull, et al., 1992; Malfait, et al., 2006; Ratel, Duche, Hautier, Williams, & Bedu, 2004); 3) Diseños de platos no circulares que buscan parámetros mecánicos intermedios entre los dos modelos anteriores, posicionando el eje mayor en diagonal («Ogival oval», Bernard Rosset, France; o «Polchlopek oval», Edmond Polchlopek, France) (Malfait, et al., 2006); y finalmente, 4) otros sistemas más complejos que persiguen la mejora de la eficiencia en el pedaleo (Belen, Habrard, Micallef, & Le Gallais, 2007; Belen, Habrard, Micallef, Perrey, & Le Gallais, 2007; Hue, Galy, Hertogh, Casties, & Préfaut, 2001; Santalla, Manzano, Perez, & Lucia, 2002; Shan, 2008; Zamparo, Minetti, & di Prampero, 2002). La revisión de los trabajos que han analizado sus

aportaciones muestra que, pese a su fuerte sustento teórico, muchos estudios no encuentran efectos positivos en aspectos como la eficiencia energética (Hue, et al., 2001; Jobson, Hopker, Galbraith, Coleman, & Nevill, 2009; Lucia, et al., 2004; Martin, Lamb, & Brown, 2002), o el descenso en las variables de gasto metabólico para esfuerzos aeróbicos (Cullen, et al., 1992; Henderson, et al., 1977; Ratel, et al., 2004; Santalla, et al., 2002). Mientras otros trabajos sí apuntan hacia mejoras de carácter mecánico en la producción de potencia a corto plazo (Hintzy, Belli, Rouillon, & Grappe, 2000; Horvais, et al., 2007; Hue, et al., 2001; Martin, et al., 2002; Martinez, Vicente, Calvo, & Zudaire, 2006; Rankin & Neptune, 2008), o mejoras de tipo cinemático, como la disminución de las deceleraciones angulares en la articulación de la rodilla, y la mejora del rango de movimiento en la articulación del tobillo (Carpes, Dagnese, & Mota, 2009; García-López, Rodríguez-Marroyo, & Villa, 2006). Los resultados positivos en este segundo grupo de estudios parece concluir que estos sistemas de pedaleo no circular pueden mejorar el rendimiento ciclista en las disciplinas de corta duración y altas sollicitaciones de potencia, como son la mayoría de las modalidades de Ciclismo en Pista (Craig & Norton, 2001), y más concretamente el BMX.

En la actualidad encontramos un nuevo sistema de platos ovales llamado «platos Q de desarrollo variable (Q-Rings)» (Rotor Bike Components, Madrid, Spain). Durante la bajada del pedal, cuando el rango articular es óptimo y el ciclista genera mayor potencia, el plato Q mueve de forma progresiva un desarrollo mayor porque aumenta el diámetro a medida que el ciclista aumenta la fuerza sobre el pedal en esta fase de máxima posibilidad de desarrollar potencia. Por el contrario, en el paso por los puntos muertos, el plato Q reduce el diámetro y, por tanto, el desarrollo, comportándose prácticamente como un plato circular pero de menor diámetro (menos dientes). El diseño de otros sistemas anteriores de similares características implicaba un cambio brusco de velocidades precisamente en dicho punto de máxima flexión para las rodillas (PMS y PMI) (Cullen, et al., 1992; Horvais, et al., 2007; Hull, et al., 1992; Ratel, et al., 2004). Por otra parte el plato Q tiene la particularidad de que permite su anclaje a las bielas con diferentes orientaciones, incorporando un sistema de regulación múltiple OCP (Optimum Chainring Position), de forma que permite ajustar el citado ángulo de desfase, y que cada ciclista aplique la fuerza en un momento óptimo, concreto e individual de su ciclo de pedaleo (punto de par máximo —MPP—) adaptando así la tracción del plato variable a la biomecánica de cada ciclista (Córdova, Villa, Seco, & Latasa, 2009; Martinez, et al., 2006), o a las características del tipo de pedaleo que requiere su esfuerzo (sprint sentado, de pie, escalada, etc.). De nuevo encontramos que los sistemas anteriores no permiten el citado ajuste de la perpendicularidad de la biela respecto al eje ma-

yor en función de la biomecánica del ciclista, o su tipo de pedaleo (Cullen, et al., 1992; Horvais, et al., 2007; Hull, et al., 1992; Ratel, et al., 2004).

Así pues, el presente trabajo tiene por objetivo analizar las posibles ventajas de estos nuevos platos ovalados Q-Ring frente al sistema de plato convencional, comparando los resultados sobre las variables dependientes velocidad, tiempo, y por ende, aceleración. De la misma forma se ha preguntado a los deportistas sobre su percepción subjetiva del esfuerzo y del rendimiento, en un intento por acercarse a la mayor o menor comodidad que implican estos nuevos platos en deportistas habituados a otros sistemas, entendiendo que esta percepción subjetiva y la falta de hábito puedan ser un elemento contaminante para la consecución de unos mejores resultados. Dado que, de forma habitual, encontramos diferencias significativas entre el rendimiento de los más expertos frente a los noveles (Cleary & Zimmerman, 2001; McPherson & Thomas, 1989), el grupo se ha considerado tanto de forma global como de forma comparada entre estos dos grupos de nivel. La hipótesis de partida establece que los platos no circulares deben mejorar el rendimiento en la modalidad de BMX, con independencia del nivel deportivo de los sujetos y siempre que la falta de habituación no afecte excesivamente a la técnica de pedaleo de los deportistas.

## MÉTODO

### *Participantes*

La muestra estuvo formada por 14 deportistas masculinos pertenecientes a la Selección Nacional Española, todos ellos voluntarios y de las categorías Elite, Junior y Cadete (>23, 17-18; y 15-16 años respectivamente; tabla 1). Estos deportistas, semi-profesionales, tenían una experiencia de  $6 \pm 2$  años, con un entrenamiento de  $3.5 \pm 0.5$  h/día. Tanto las muestras de lactato recogidas como el resto de los datos registrados durante los test se realizaron en cumplimiento de la Declaración de Helsinki, con la aprobación previa del Comité de Ética de la Universidad de Granada, y con el consentimiento informado por escrito de todos los participantes. Dado que los registros se realizaron dentro de una concentración de la Selección, todos los deportistas siguieron una alimentación y un descanso similar, adecuado y controlado, previamente a la realización de las pruebas.

TABLA 1  
Valores descriptivos (media  $\pm$  SD) de las características antropométricas de la muestra

	Élite & Júnior (E-J) n=7	Cadete (C) n=7	Media n=14
Edad (años)	23.25 $\pm$ 0.85	15.83 $\pm$ 0.16	19.54 $\pm$ 3.71
Masa (kg)	77.74 $\pm$ 0.63	56.38 $\pm$ 0.45	67.06 $\pm$ 10.68
Estatura (m)	175.5 $\pm$ 0.43	165.83 $\pm$ 0.32	170.67 $\pm$ 4.84
Masa magra (Martin) (kg/m <sup>2</sup> )	48.23 $\pm$ 0.12	44.75 $\pm$ 0.16	46.49 $\pm$ 1.74
% grasa (Faulkner)	11.3 $\pm$ 0.13	14.06 $\pm$ 0.21	12.68 $\pm$ 1.38

### *Plato Q-Ring*

El plato Q es un sistema de plato no circular aprobado por la Unión Ciclista Internacional (UCI), cuyos desarrollos variables Q pretenden mejorar la eficacia mecánica en el pedaleo sin incrementar el peso de la bicicleta. Tanto el máximo crecimiento como la disminución de su desarrollo son proporcionales y progresivos. En este estudio se utilizó un plato Q de 38 dientes, diseñado específicamente para su uso con una sola velocidad en bicicletas de BMX, pista o descenso. El desarrollo varía progresivamente el diámetro del plato, de forma que, según la biela va bajando y va creciendo la componente tangencial de la fuerza aplicada sobre el pedal, se pasa del equivalente a un plato circular de 36 dientes en las zonas de PMS y PMI, al equivalente de un plato circular de 40 dientes en la zona de máxima potencia teórica de la pedalada, todo ello gracias a que el diámetro del plato Q se incrementa en esa fase del pedaleo, propiciando la máxima ovalidad del plato. De la misma forma, el plato posiciona el ángulo de desfase de la biela en diferentes grados respecto a la horizontal en función de su anclaje OCP cuando este alcanza la máxima ovalidad (OCP-0 = 103°, OCP-1 = 111°, OCP-2 = 119°, OCP-3 = 127° y OCP-4 = 135°) dando lugar al mayor desarrollo y diámetro posible respecto al eje, con un aumento o reducción progresiva de ovalidad entre dientes de 8° (figura 1).

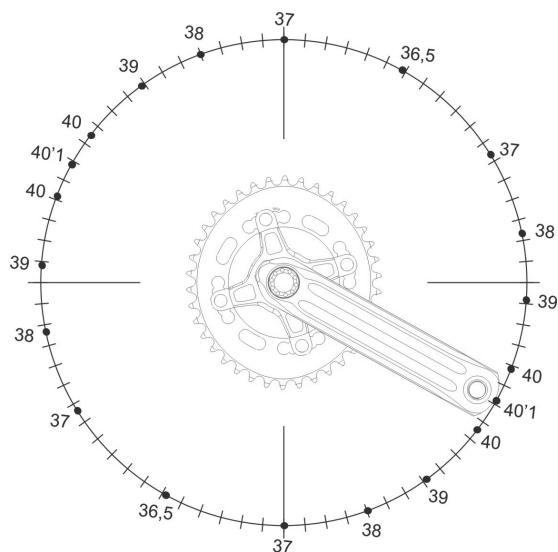


FIGURA 1. Desarrollo variable que genera el plato Q de 38 dientes en el ciclo de pedaleo en su punto de anclaje OCP-2; 119°.

### *Protocolo experimental*

La figura 2 recoge el diseño del protocolo realizado. Tras un calentamiento estandarizado de 35 min, consistente en el aumento progresivo de la intensidad hasta terminar realizando 2 esprines de prueba con cada tipo de plato (Q y NQ), los ciclistas realizaron dos pruebas en dos días consecutivos utilizando una bicicleta convencional de BMX (Redline Proline, Redline, Seattle, USA) en un circuito de BMX estándar homologado de características tipo Campeonato de Europa (M Mateo, et al., 2010), en el que habitualmente se realizan competiciones de carácter nacional.

En cada uno de los días, los ciclistas realizaron dos bloques de tres esprines maximales cada uno: cada bloque consistía en tres esprines con un tipo diferente de platos (Q o NQ). A todos los sujetos se les dio la instrucción de esprintar al máximo de sus posibilidades desde el punto de salida, hasta el segundo obstáculo de la pista, con un tiempo de recuperación de 7 min entre esprines. El primer día, el orden de los bloques con Q y NQ fue randomizado para cada ciclista, mientras que el segundo día el orden fue contrabalanceado (los que hicieron Q y luego NQ cambiaron el orden, y viceversa). Con objeto de no acumular fatiga, el tiempo de recuperación entre bloques fue de 15 min (figura 2). Tanto entre esprines como entre bloques, los ciclistas realizaron reposo total. El sistema fue programado para una grabación de datos de 3.95 s, porque este tiempo permitía que los mejores sujetos llegasen justo antes del inicio del segundo obstáculo de la pista sin iniciar su subida,

lo que aseguraba abarcar toda la fase de la aceleración inicial en esta pista de BMX. Durante los test, a los atletas se les permitió beber agua, pero no ingerir alimentos sólidos. Los bloques de tres series para cada tipo de test y día Q y NQ se realizaron a la misma hora (por la mañana, 09:00-14:00 h), y bajo las mismas condiciones ambientales (15-19°C, 80% de humedad relativa). El protocolo experimental se llevó a cabo en una semana previa al inicio de la temporada competitiva, encontrándose los atletas en una concentración de seguimiento y evaluación del Equipo Nacional, por lo que tanto las ingestas de comida, como la utilización de suplementos, la actividad física y las horas de sueño fueron controlados con precisión.

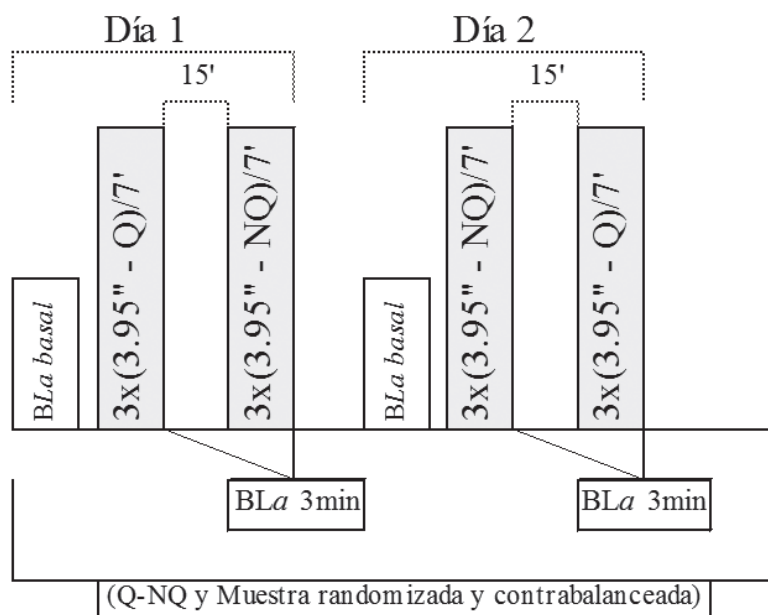


FIGURA 2. Protocolo experimental

### Material

A la rueda trasera se le instaló un sistema de medición G-Cog (Rennen Design Group, Middleboro, Massachusetts, USA) dotado de 2 acelerómetros angulares, 2 acelerómetros centrípetos y 2 acelerómetros laterales capaces de medir la distancia recorrida y la velocidad lineal y angular con una sensibilidad de 250 Hz. El sistema de medición G-Cog, sistema con un peso total de 92 gr, capaz de medir con una sensibilidad de 250 Hz y transmitir los datos al PC vía Bluetooth, permite la programación desde su software del número de series a realizar, tiempo de recuperación entre ellas, tiempo de grabación de los datos y tipo de secuencia sonora que acciona el inicio del test. Mediante un altavoz, avisa al atleta cuando faltan 25" para iniciar



la repetición, y además, es capaz de reproducir la señal sonora de salida oficial UCI de las competiciones internacionales para accionar la grabación de datos o la de otros campeonatos no oficiales. La señal sonora que accionaba la grabación de valores fue la oficial UCI. Todos los esprints se realizaron desde la rampa de salida en una pista de BMX homologada para tal efecto. Para garantizar la veracidad de los resultados, dada la novedad del sistema de medición, se instaló entre la valla de salida y el inicio del segundo obstáculo de la pista una fotocélula con barrera de 2 cortes SportMetrics (sensibilidad: 0.001 s) conectada a un cronometro ChronoMaster, con una distancia entre ellas de 31 m (SportMetrics, Picaña, Valencia, España).

La longitud de la biela utilizada fue la misma para todos los sujetos (175 mm), y para los diferentes test se le montó una corona de plato circular convencional (NQ) y no circular Q-Ring (Q) de 38 dientes y un piñón estándar de 14 dientes. Para solucionar el problema de tensión de la cadena de los platos ovales, se instaló un tensor Yess ETR/H (Yesspro, British Columbia, Canadá). Este tensor se utilizó tanto en los esprints con el sistema Q, como con el convencional NQ. Todos los atletas utilizaron los pedales de clip habituales en competición (SPD DX, Shimano Corp., Japón) y la presión de los neumáticos fue siempre la misma (50 psi).

Previo al test y a los 3 min de finalizar la tercera de las series de cada bloque se tomaron muestras de lactato sanguíneo con el analizador Lactate Pro™ (Arkray, KDK Corporation, Minami-Ku, Kyoto, Japon), y se les preguntó por la percepción del esfuerzo con la escala de Borg CR-10. Durante todo el test, se monitoreó la frecuencia cardiaca con un cadiofrecuenciómetro Polar RS800 (Polar Electro OY, Kempele, Finland). Por último, tras finalizar las mediciones se les pasó un cuestionario de percepción del rendimiento donde los atletas puntuaban de 1 a 10 en una escala tipo Likert esta percepción (Q-1<sub>test</sub> a Q-5<sub>test</sub>, Anexo I).

### *Variables medidas*

Para conocer el rendimiento global de ambos sistemas de pedaleo (Q contra NQ) para los 3.95 primeros segundos de la carrera, hemos obtenido las variables velocidades máxima y media ( $V_{pico}$  &  $V_{media}$ ). Para confirmar la fiabilidad del sistema hemos establecido un corte de 31 m en el sprint con una barrera de fotocélulas, obteniendo la variable Tiempo en 31 m (T31<sub>m</sub>). Para observar si las posibles diferencias de rendimiento se reflejaban de forma significativa a nivel fisiológico hemos obtenido la concentración de lactato tras 3 min de haber finalizado el sprint ( $BLa$ ), el porcentaje de incremento de lactato respecto del dato basal ( $\% iBLa$ ) y la frecuencia cardiaca máxima ( $FC_{máx}$ ). La percepción subjetiva en ambos sistemas se ha evaluado mediante el Esfuerzo Percibido (EP) y el citado cuestionario de percepción del rendimiento.

### *Análisis estadístico*

Los resultados se expresan como media y nivel de error de la media (SEM). El análisis estadístico se llevó a cabo con el software SPSS versión 15.0 (Chicago, IL, EE.UU.). Tras el análisis de normalidad, Test de Kolmogorov-Smirnov, un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas permitió comprobar que no había habido diferencias entre las series, y que, por tanto, los tiempos de recuperación habían sido suficientes. Finalmente se realizó una prueba T para muestras relacionadas (ANOVA) con el análisis de todas las series como casos entre Q y NQ. El análisis estadístico se realizó tomando primero a todos los sujetos y posteriormente diferenciando por razones de rendimiento el grupo experto (categorías Élite y Júnior) vs el grupo novel (Cadete). La fiabilidad del sistema se ha comprobado mediante un análisis de Correlación Intraclase (CCI) entre las variables de  $V_{media}$  y  $T_{31m}$ . Por último, para comprobar el grado de acuerdo entre los dos instrumentos se ha realizado un gráfico de Bland-Altman (software estadístico MedCalc v 11.4.3). El nivel de significación se ha establecido en una alfa de  $p < 0.05$ .

## RESULTADOS

### *—Análisis cuantitativo del rendimiento*

#### *Variables de rendimiento*

El análisis global (sin distinguir categorías) no encuentra diferencias estadísticamente significativas para ninguna de las variables analizadas. Por el contrario, al comparar los valores entre los dos grupos de nivel respecto a los dos sistemas de pedaleo (Q vs NQ), encontramos diferencias significativas a favor de Q tanto para la  $V_{media}$  como para  $T_{31m}$  ( $V_{media}$ : mejora de 0.1 m/s<sup>2</sup>, 1.69%,  $p=0.02$ ) lo que se ha traducido en una mejora media de 40cm y una reducción del tiempo de 0.02 ms (0.62%;  $p=0.03$ ). Sin embargo, no existen diferencias significativas para C a favor de ningún tipo de sistema de pedaleo, tabla 2. El elevado coeficiente de correlación intraclase entre  $V_{media}$  y  $T_{31m}$  ( $r=0.99$ ) coincide con el grado de acuerdo mostrado mediante el gráfico de Bland-Altman, figura 3.

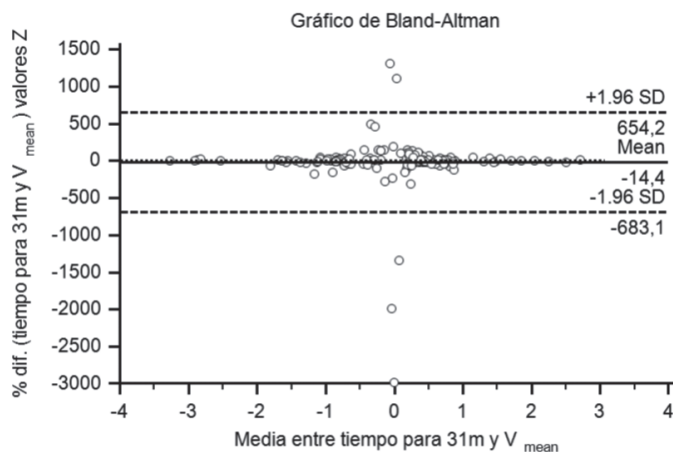


FIGURA 3. Grado de acuerdo entre los dos instrumentos de medida

### Variables fisiológicas

No hemos encontrado ninguna diferencia estadísticamente significativa en ninguna variable entre Q y NQ, aunque sí se observa un menor porcentaje de incremento de lactato tras los test Q para E-J (*%iBLa*  $32.41 \pm 14.42\%$ ) respecto de NQ (*%iBLa*  $51.31 \pm 8.39\%$ ). Siguiendo la misma dinámica, pero de forma inversa, encontramos un menor porcentaje de incremento relativo tras los test NQ para C (*%iBLa*  $38.54 \pm 6.28\%$ ) respecto de Q (*%iBLa*  $51.04 \pm 4.54\%$ ), tabla 2.

### —Análisis cualitativo del rendimiento

#### Esfuerzo percibido (EP)

No existen diferencias significativas en los valores de EP entre Q y NQ, a pesar de que se observan valores mayores entre E-J y C, siendo el grupo C el que más alto ha percibido el esfuerzo ( $C \sim 3.5$ ;  $E-J \sim 2,6$ ).

#### Percepción de rendimiento (Test Anexo I)

Los resultados muestran valores mayores en las puntuaciones otorgadas por los sujetos en función de sus posibilidades de rendimiento. Aunque sin diferencias significativas, los sujetos E-J puntúan más alto el rendimiento obtenido con Q ( $Q-1_{\text{test}}$   $7.00 \pm 0.45$ ) respecto de NQ ( $Q-1_{\text{test}}$   $6.50 \pm 0.43$ ), mientras que los atletas C siguen la misma dinámica, pero de forma inversa: Q ( $Q-1_{\text{test}}$   $6.50 \pm 0.56$ ), NQ ( $Q-1_{\text{test}}$   $7.33 \pm 0.42$ ). Sin embargo, al preguntar con cual competirían ( $Q-5_{\text{test}}$ ) tanto E-J como C se han decantado por el plato NQ, aunque sólo C alcanza la significación estadística a favor de NQ ( $Q-5_{\text{test}}$ ,  $p=0.04$ ).

TABLA 2  
Resultados de rendimiento, metabólicos y psicológicos (media  $\pm$ SEM) entre Élite & Júnior y Cadetes durante el test de sprint con Q (OCP-2) contra NQ

	Élite & Júnior (E-J) $n=7$		Cadete (C) $n=7$	
	Q	NQ	Q	NQ
<b>Valores de Rendimiento</b>				
$V_{pico}$ (m/s)	9.04 $\pm$ 0.02	9.03 $\pm$ 0.02	8.79 $\pm$ 0.04	8.79 $\pm$ 0.05
$V_{media}$ (m/s)	5.91 $\pm$ 0.03*	5.81 $\pm$ 0.05	5.24 $\pm$ 0.10	5.25 $\pm$ 0.11
$T_{31m}$ (s)	3.21 $\pm$ 0.02*	3.23 $\pm$ 0.02	3.53 $\pm$ 0.03	3.52 $\pm$ 0.03
<b>Valores Metabólicos</b>				
$FC_{m\acute{a}x}$ (ppm)	155.07 $\pm$ 1.23	155.59 $\pm$ 1.61	164.20 $\pm$ 1.67	162.60 $\pm$ 2.06
$BLa$ (mMol)	3.48 $\pm$ 0.30	4.05 $\pm$ 0.42	3.54 $\pm$ 0.28	3.41 $\pm$ 0.31
% $iBLa$	32.41 $\pm$ 14.42	51.31 $\pm$ 8.39	51.04 $\pm$ 4.54	38.54 $\pm$ 6.28
<b>Valores Psicológicos</b>				
EP	2.60 $\pm$ 0.24	2.64 $\pm$ 0.22	3.51 $\pm$ 0.42	3.68 $\pm$ 0.42
Q-1 <sub>test</sub>	7.00 $\pm$ 0.45	6.50 $\pm$ 0.43	6.50 $\pm$ 0.56	7.33 $\pm$ 0.42
Q-2 <sub>test</sub>	7.33 $\pm$ 0.61	6.83 $\pm$ 0.48	6.83 $\pm$ 0.48	7.00 $\pm$ 0.68
Q-3 <sub>test</sub>	7.00 $\pm$ 0.82	8.00 $\pm$ 0.73	6.83 $\pm$ 0.70	7.67 $\pm$ 0.42
Q-4 <sub>test</sub>	7.83 $\pm$ 0.75	7.33 $\pm$ 0.76	6.67 $\pm$ 0.56	6.67 $\pm$ 0.42
Q-5 <sub>test</sub>	7.83 $\pm$ 0.79	8.17 $\pm$ 0.79	7.17 $\pm$ 0.60	8.00 $\pm$ 0.52*

(Q) sistema no circular; (NQ) Q-Ring, sistema de pedaleo circular convencional;  $V_{pico}$  y  $V_{media}$ : velocidad pico y media;  $T_{31m}$ : tiempo empleado en cubrir el corte de fotocélulas de 31 m;  $FC_{m\acute{a}x}$ : frecuencia cardiaca máxima tras cada sprint;  $BLa$ : concentración máxima de lactato a los 3 min de haber finalizado cada sprint, %  $iBLa$ : porcentaje de incremento de lactato respecto al basal;  $EP$ : esfuerzo percibido escala Borg CR-10; Q-1<sub>test</sub> a Q-5<sub>test</sub>: evaluación de percepción de rendimiento en cada prueba.

\* Diferencias significativas entre Q y NQ ( $p < 0.05$ )

## DISCUSIÓN

El principal hallazgo de nuestro estudio radica en que el sistema de pedaleo no circular de desarrollo variable Q mejora el rendimiento durante el sprint en la disciplina ciclista BMX sólo entre los deportistas más expertos. Parece que su posibilidad de mejora sobre los sistemas tradicionales está limitada por las características y posibilidades, probablemente condicionales, de cada sujeto. Así pues, cuando los sujetos tienen la capacidad de mover estos mayores desarrollos, se cumple la hipótesis inicial sobre la mejora en el rendimiento; hipótesis basada en la mejora de las características mecánicas del sprint, en línea con los hallazgos que otros autores han presentado sobre los sistemas de pedaleo no circulares (Córdova, et al., 2009; García-López, et al., 2006; Rodríguez-Marroyo, et al., 2009).

Aunque encontramos trabajos previos que achacan esta mejora a la posibilidad de modificar el brazo de palanca sobre el que ejercemos la fuerza en la bicicleta (biela) (Hue, et al., 2001; Martin, et al., 2002; Rodríguez-Marroyo, et al., 2009), estos trabajos siempre se han realizado en situaciones experimentales de laboratorio, con el riesgo de encontrar resultados diferentes en situaciones de campo. Además, di-

chas modificaciones pueden ir en contra del rendimiento, si además de esprintar tenemos que ser capaces de alcanzar la máxima velocidad y mantenerla durante un cierto tiempo, como sucede en la disciplina ciclista BMX. En este sentido hay que señalar que los estudios de campo han sido muy limitados en esfuerzos de sprint en cualquier modalidad ciclista, posiblemente por la dificultad que presentaba su medición, y que los avances tecnológicos de estos últimos años han provisto de nuevos dispositivos y facilitado este tipo de estudios. Los resultados aquí presentados cobran importancia porque entran en juego variables que en laboratorio no son reproducibles, como las oscilaciones laterales que los atletas aplican a la bicicleta en el sprint (W. Bertucci, Duc, Villerius, Pernin, & Grappe, 2005) o la resistencia aerodinámica (Martin, et al., 2007). Y a pesar de que algunos autores no encontraron diferencias entre test de campo en velódromo y los resultados de laboratorio (Gardner, Martin, Martin, Barras, & Jenkins, 2007), otros trabajos han encontrado diferencias, por ejemplo, en el perfil del torque en condiciones de campo y laboratorio (W Bertucci, Grappe, & Gros Lambert, 2007). Así pues, conociendo que las condiciones en las que se aplica la fuerza en el sprint de BMX (con una salida descendente y obstáculos a superar de diferentes magnitudes) difieren enormemente de las de un velódromo, o un laboratorio (Rodríguez-Marroyo, et al., 2009), parece necesario estudiar estas posibles mejoras in situ.

En cuanto al sistema de pedaleo, el plato Q no modifica el brazo de palanca sino que juega con un desarrollo variable que posibilita una mayor carga en los ángulos donde mecánicamente es posible desarrollar una mayor eficiencia de pedaleo, reduciendo la carga en los PMS y PMI. La mejora encontrada en los sujetos de mayor nivel (E-J) y el empeoramiento en los de menor nivel (C) apunta a que, o bien el desarrollo utilizado, o bien la regulación de la máxima ovalidad (OCP2) escogida en este trabajo en la entrega de fuerza tangencial, no ha sido el aconsejable para todos los sujetos, aunque a ningún atleta le pareció desaconsejado el uso de la relación utilizada en el test: 38x14T (desarrollo comúnmente utilizado). Se pone así de manifiesto la necesidad de adaptar la carga a las características condicionales y biomecánicas de cada sujeto, acción no acostumbrada entre los atletas de BMX, ya que habitualmente no modifican los desarrollos en función de aspectos como su estado de forma, el porcentaje de inclinación de la rampa de salida, o las condiciones ambientales de la competición. Nuestros resultados indican que los atletas más potentes han sido capaces de movilizar con solvencia el punto crítico del incremento de carga que genera el plato Q. Sin embargo, parece que hay que prestar especial atención al incremento de desarrollo que genera este plato en la fase de máxima producción de fuerza tangencial, ya que puede existir un punto crítico en el que, atletas que sí pueden movilizar un plato convencional con un número determinado de dien-

tes, no lo consiguen con el sistema Q. Puede darse el caso de que ciclistas con un menor número de fibras de contracción rápida puedan encontrar mayores mejoras en la potencia de salida, y consecuentemente sobre el rendimiento final del sprint, con porcentajes de ovalidad menores, mientras que por el contrario, atletas más rápidos pueden encontrar mayores mejoras con porcentajes de ovalidad algo mayores (Hautier, Linossier, Belli, Lacour, & Arsac, 1996).

Por lo que respecta al análisis de los resultados obtenidos para las variables de control metabólicas, encontramos que no existe ninguna diferencia estadísticamente significativa, lo cual parece razonable, debido al corto tiempo registrado. A pesar de no ser significativo, llama la atención el registro de un menor porcentaje de incremento de lactato tras los test Q para E-J ( $\%iBLa\ 32.41 \pm 14.42\%$ ) respecto de NQ ( $\%iBLa\ 51.31 \pm 8.39\%$ ). Y que, siguiendo la misma dinámica, pero de forma inversa, encontremos un menor porcentaje de incremento relativo tras los test NQ para C ( $\%iBLa\ 38.54 \pm 6.28\%$ ) respecto de Q ( $\%iBLa\ 51.04 \pm 4.54\%$ ). Estos valores relativos parecen indicar que el sistema metabólico ha sido capaz de trabajar de forma más eficiente con aquel sistema de pedaleo que mejor rendimiento le ha proporcionado en cada caso, y abre la posibilidad de realizar nuevos trabajos comparativos Q vs NQ en esta modalidad, pero con registros de tiempo completos.

Por otro lado, en cuanto al análisis cualitativo sobre la percepción del esfuerzo en el test, esta variable no ha mostrado diferencias significativas entre ambos sistemas de pedaleo. Sin embargo, sí ha mostrado valores mayores para los sujetos de menor nivel (C) respecto a los mejores (E-J), coincidiendo con la idea de que la condición física de los atletas incide sobre el esfuerzo percibido (Skinner, Hutsler, Bergsteinova, & Buskirk, 1973). Y en cuanto a los resultados obtenidos en el cuestionario sobre percepción de rendimiento con ambos sistemas de pedaleo, tan solo encontramos significación estadística en Q-5<sub>test</sub>, cuestión que evalúa la decisión final sobre la utilización de uno u otro sistema en competición. Los sujetos C se manifiestan a favor del sistema convencional NQ, con el que han registrado mejores resultados. Sin embargo, pese a que el sistema no circular es el que mejores resultados ha proporcionado a los sujetos expertos (E-J), y con el que mejor han valorado su percepción sobre el rendimiento general (Q-1<sub>test</sub>, Q-2<sub>test</sub> y Q-4<sub>test</sub>), este grupo también se decanta finalmente por el sistema convencional NQ para competir (Q-5<sub>test</sub>). Todo parece indicar que el cambio en el sistema de transmisión (Q) produce inicialmente desconfianza entre los atletas, posiblemente debido a la modificación de la tensión de la cadena. Este problema se solventa con el tensor utilizado en la prueba, pero es posible que haga falta más tiempo de práctica para cambiar la inseguridad que aporta en una posible salida de la cadena al esprintar, lo que puede producir una

fuerte caída. Los ciclistas que participaron en este estudio no habían utilizado el sistema Q con anterioridad, y se podría argumentar que ello pudo condicionar nuestro resultado. Sin embargo, no se ha considerado necesario establecer un periodo de práctica con Q dado que otros trabajos, entre ellos, Hull et al., (1992) señalan que sus sujetos entrenaron 20 min con los platos elípticos ENG90 y ENG10 antes de realizar los test submaximales, y que este tiempo parece ser suficiente, dado que los sujetos dijeron sentirse adaptados a ellos en ese tiempo. Neptune & Herzog (2000) demostraron que la adaptación de la coordinación muscular de los sujetos a mecánicas de pedaleo no tradicionales se produjo durante los primeros 10-20 ciclos de pedaleo después de cambiar a la corona no circular. Y en cualquier caso, si la falta de hábito pudiera influir de alguna forma en los resultados, se esperaría una mejora aún mayor con los platos Q, aunque esto deberá ser estudiado en futuras investigaciones

Por último, hay que mencionar que como recomendado por el fabricante para ciclistas no habituados, todos los ciclistas utilizaron la misma regulación OCP-2, así como el mismo desarrollo. Está por ver qué tipo de test se podría realizar para determinar la ovalidad óptima para cada corredor, y sobre todo si ello revierte positivamente en los resultados de los esprints. Por ello parece muy interesante que futuras investigaciones estudien el rendimiento en el sprint con diferentes desarrollos y porcentajes de ovalidad en los sistemas no circulares Q en función de las características condicionales y biomecánicas de cada atleta. De la misma forma, parecen necesarios nuevos estudios completando los registros completos de la carrera, y ampliando la muestra de deportistas evaluados.

En resumen, la diferencia de rendimiento obtenida por el sistema no circular es determinante en este tipo de pruebas ciclistas, donde en los primeros 20 metros los atletas luchan por la mejor posición de cara a poder desarrollar toda su capacidad de sprint, y no verse frenados por otros rivales que han cogido la delantera. Por lo tanto, a pesar de la aparente escasa mejora del 1.71% en la distancia total conseguida desde la salida en los primeros 3.95 s, ello supone 40cm de mejora en el avance que son decisivos en el rendimiento final de la prueba. Se trata de una diferencia estadística que también supone una importante diferencia práctica (Atkinson, 2003), diferencia que se presenta determinante a la hora de poder situarnos delante de los rivales en los primeros metros, y poder afrontar el paso de la primera curva en posiciones interiores más privilegiadas a la hora de elegir la trazada. Estas pequeñas diferencias ganan en importancia conforme aumenta el nivel de la competición y la categoría, pues la igualdad entre el nivel técnico de los corredores es mayor, los errores técnicos son poco frecuentes, y la capacidad de acelerar en los primeros metros de la pista mediatiza las posibilidades de éxito en el resto de la carrera.

## CONCLUSIONES

El sistema de pedaleo no circular de desarrollo variable Q puede mejorar el rendimiento mecánico durante el sprint en la disciplina ciclista BMX en aquellos deportistas que condicionalmente están en disposición de mover y manejar adecuadamente los desarrollos más grandes. Se cumple así nuestra hipótesis, poniéndose de manifiesto la mejora del rendimiento con el sistema Q respecto del convencional NQ en esfuerzos de sprint, de acuerdo con los hallazgos de trabajos anteriores.

## REFERENCIAS

- Atkinson, G. (2003). Does size matter for sports performance researchers? *Journal of sports sciences*, 21(2), 73-74.
- Belen, L., Habrard, M., Micallef, J., & Le Gallais, D. (2007). The performance and efficiency of cycling with a carbon fiber eccentric chainring during incremental exercise. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 47(1), 40.
- Belen, L., Habrard, M., Micallef, J., Perrey, S., & Le Gallais, D. (2007). Cycling performance and mechanical variables using a new prototype chainring. *European Journal of Applied Physiology*, 101(6), 721-726.
- Bertucci, W., Duc, S., Villerius, V., Pernin, J. N., & Grappe, F. (2005). Validity and reliability of the PowerTap mobile cycling powermeter when compared with the SRM Device. *International Journal of Sports Medicine*, 26(10), 868-873.
- Bertucci, W., Grappe, F., & Gros Lambert, A. (2007). Laboratory versus outdoor cycling conditions: differences in pedaling biomechanics. *Journal of applied biomechanics*, 23(2), 87.
- Bertucci, W., Hourde, C., Manolova, A., & Vettoretti, F. (2007). Mechanical performance factors of the BMX acceleration phase in trained riders. *Science & Sports*, 22(3-4), 179-181.
- Campillo, P., Doremus, T., & Hespel, J. M. (2007). Pedaling analysis in BMX by telemetric collection of mechanic variables. *Brazilian Journal of Biomotricity*, 17-27.
- Carpes, F. P., Dagnese, F., & Mota, C. B. (2009). Cycling with noncircular chainring system changes the three-dimensional kinematics of the lower limbs. *Sports Biomechanics*, 8(4), 275-283.
- Cleary, T., & Zimmerman, B. (2001). Self-regulation differences during athletic practice by experts, non-experts, and novices. *Journal of Applied Sport Psychology*, 13(2), 185-206.
- Córdova, A., Villa, G., Seco, J., & Latasa, I. (2009). Preliminary report on Q-Rings. *Analysis of physiological and biomechanical effects of oval variable geared chainrings (Q-Rings) in comparison to conventional circular chainrings*. University of Valladolid, Spain.
- Coyle, E., Feltner, M., Kautz, S., Hamilton, M., Montain, S., Baylor, A., et al. (1991). Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 23(1), 93.
- Craig, N., & Norton, K. (2001). Characteristics of track cycling. *Sports Medicine*, 31(7), 457-468.



- Cullen, L., Andrew, K., Lair, K., Widger, M., & Timson, B. (1992). Efficiency of trained cyclists using circular and noncircular chainrings. *Int J Sports Med*, 13, 264-269.
- Ericson, M., & Nisell, R. (1988). Efficiency of pedal forces during ergometer cycling. *Int J Sports Med*, 9(2), 118-122.
- García-López, J., Rodríguez-Marroyo, J., & Villa, G. (2006). Análisis del pedaleo ciclista con sistemas convencionales VS no circulares en pruebas submáximas y supramáximas. *Biomecánica: Órgano de la Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales*, 14(2).
- Gardner, A. S., Martin, J. C., Martin, D. T., Barras, M., & Jenkins, D. G. (2007). Maximal torque- and power-peddalling rate relationships for elite sprint cyclists in laboratory and field tests. *European Journal of Applied Physiology* (101), 287-292.
- Hautier, C., Linossier, M., Belli, A., Lacour, J., & Arzac, L. (1996). Optimal velocity for maximal power production in non-isokinetic cycling is related to muscle fibre type composition. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 74(1), 114-118.
- Henderson, S., Ellis, R., Klimovitch, G., & Brooks, G. (1977). The effects of circular and elliptical chainwheels on steady-rate cycle ergometer work efficiency. *Medicine and science in sports*, 9(4), 202.
- Herman, C., McGregor, S., Allen, H., & Bollt, E. (2009). Power Capabilities Of Elite Bicycle Motocross (BMX) Racers During Field Testing In Preparation For 2008 Olympics.: 2321: Board# 209 May 28 3: 30 PM-5: 00 PM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(5), 306.
- Hintzy, F., Belli, A., Rouillon, J., & Grappe, F. (2000). Effects of noncircular chainwheel on forcevelocity relationship during sprinting on a cycle ergometer (in French). *Science Motricite*, 40, 42-47.
- Horvais, N., Samozino, P., Zameziati, K., Hautier, C., & Hintzy, F. (2007). Effects of a non circular chainring on muscular, mechanical and physiological parameters during cycle ergometer tests. *Isokinetics and Exercise Science*, 15(4), 271-279.
- Hue, O., Galy, O., Hertogh, C., Casties, J., & Préfaut, C. (2001). Enhancing cycling performance using an eccentric chainring. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(6), 1006.
- Hull, M. L., Williams, M., Williams, K., & Kautz, S. (1992). Physiological response to cycling with both circular and noncircular chainrings. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 24(10), 1114-1122.
- Jobson, S., Hopker, J., Galbraith, A., Coleman, D., & Nevill, A. (2009). Effect of the Rotor crank system on cycling performance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 8(3), 463-467.
- Lucia, A., Balmer, J., Davison, R., Pérez, M., Santalla, A., & Smith, P. (2004). Effects of the rotor pedalling system on the performance of trained cyclists during incremental and constant-load cycle-ergometer tests. *International journal of sports medicine*, 25(7), 479-485.
- Malfait, L., Eng, M., Storme, G., Derdeyn, M., Eng, M., & Math, A. (2006). Comparative biomechanical study of circular and non-circular chainrings for endurance cycling at constant speed. available at: <http://www.noncircularchainring.be/>.

- Martin, J. C., Davidson, C. J., & Pardyjak, E. R. (2007). Understanding sprint-cycling performance: the integration of muscle power, resistance, and modeling. *International journal of sports physiology and performance*, 2(1), 5-21.
- Martin, J. C., Lamb, S. M., & Brown, N. A. (2002). Pedal trajectory alters maximal single-leg cycling power. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(8), 1332-1336.
- Martinez, A. C., Vicente, G. V., Calvo, J. S., & Zudaire, I. L. (2006). *Preliminary Report on Q-Rings*. University of Valladolid, Spain.
- Mateo, M., Blasco-Lafarga, C., & Zabala, M. (2010). Pedalling power and speed production versus technical factors and track difficulty in BMX cycling. *Journal of Strength and Conditioning Research*, In Press.
- Mateo, M., & Zabala, M. (2007). Optimizacion del rendimiento en la salida ciclista de BMX mediante la tecnica slingshot [Improvement of performance of BMX cycling gate start by using slingshot technique]. *Lecturas: EF y Deportes*, 111(Available from URL: <http://www.efdeportes.com/efd111/optimizaciondel-rendimiento-en-la-salida-ciclista-de-bmx.htm>). (In Spanish:English abstract).
- Mateo, M., Zabala, M., & Blasco-Lafarga, C. (2009). Comparative study of the technical requirements of a Continental, World and Olympic BMX track in the BMX cycling discipline. *Submitted*.
- McPherson, S., & Thomas, J. (1989). Relation of knowledge and performance in boys' tennis: Age and expertise. *Journal of Experimental Child Psychology*, 48(2), 190-211.
- Neptune, R., & Herzog, W. (2000). Adaptation of muscle coordination to altered task mechanics during steady-state cycling. *Journal of biomechanics*, 33(2), 165-172.
- Patterson, R. P., & Moreno, M. I. (1990). Bicycle pedalling forces as a function of pedalling rate and power output. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 22(4), 512.
- Rankin, J. W., & Neptune, R. R. (2008). A theoretical analysis of an optimal chainring shape to maximize crank power during isokinetic pedaling. *Journal of Biomechanics*, 41(7), 1494-1502.
- Ratel, S., Duche, P., Hautier, C., Williams, C., & Bedu, M. (2004). Physiological responses during cycling with noncircular» Harmonic» and circular chainrings. *European Journal of Applied Physiology*, 91(1), 100-104.
- Rodríguez-Marroyo, J., García-López, J., Chamari, K., Córdova, A., Hue, O., & Villa, J. (2009). The rotor pedaling system improves anaerobic but not aerobic cycling performance in professional cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 106(1), 87-94.
- Santalla, A., Manzano, J. M., Perez, M., & Lucia, A. (2002). A new pedaling design: the Rotor-effects on cycling performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* (11), 1854-1858.
- Shan, G. (2008). Biomechanical evaluation of bike power saver. *Appl Ergon*, 39(1), 37-45.
- Skinner, J., Hutsler, R., Bergsteinova, V., & Buskirk, E. (1973). Perception of effort during different types of exercise and under different environmental conditions. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 5(2), 110.
- Slyter, M., Pinkham, K., Adams, K., Durham, M., Moss, C., & Wenger, T. (2001). Comparison of lower body power output between expert and professional bicycle motor cross racers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(5), S157.

- Zabala, M., Requena, B., Sanchez-Munoz, C., Gonzalez-Badillo, J. J., Garcia, I., Oopik, V., et al. (2008). Effects of sodium bicarbonate ingestion on performance and perceptual responses in a laboratory-simulated BMX cycling qualification series. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(5), 1645-1653.
- Zabala, M., Sánchez-Muñoz, C., & Gutiérrez, A. (2009). [BMX cycling discipline] La especialidad ciclista de BMX. In: *Nexus Médica, Madrid: FEMEDE Spanish Federation of Sports Medicine*.
- Zabala, M., Sánchez-Muñoz, C., & Mateo, M. (2009). Effects of the administration of feedback on performance of the BMX cycling start. *Journal of Sports Sciences and Medicine*(8), 393-400.
- Zamparo, P., Minetti, A., & di Prampero, P. (2002). Mechanical efficiency of cycling with a new developed pedal-crank. *Journal of biomechanics*, 35(10), 1387-1398.

## ANEXO I

*Análisis cualitativo «Plato Q» Vs «Plato Convencional»*

Nombre y apellidos: .....

En las siguientes líneas debes responder con total sinceridad valorando para cada plato utilizado:

1. Valora de 1 a 10 (rodea con un círculo). Mejor rendimiento en general:

PLATO REDONDO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PLATO Q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

2. Valora de 1 a 10 (rodea con un círculo). Aceleración en los primeros metros:

PLATO REDONDO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PLATO Q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

3. Valora de 1 a 10 (rodea con un círculo). Velocidad al final del sprint:

PLATO REDONDO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PLATO Q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

4. Valora de 1 a 10 (rodea con un círculo). Coordinación en las pedaladas en la aceleración:

PLATO REDONDO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PLATO Q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

5. Valora de 1 a 10 (rodea con un círculo). Nota final para decidir con cuál competir:

PLATO REDONDO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PLATO Q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

¿Sientes alguna diferencia al pedalear con un plato Q respecto al redondo convencional?

Sí No 

¿Cuál?

Observaciones / sugerencias (también por detrás de la hoja):