

**TÍTULO:** “Influencia del nivel competitivo y de la potencia sobre la eficiencia mecánica y el patrón cinemático de pedaleo”.

**AUTORES:** Diez-Leal S, García-López J, Rodríguez-Marroyo JA, Larrazabal J, de Galdeano IG, Villa JG

**ACTO:** XXXIII Congreso de la Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales.

**REF. CD-ROM:** “XXXIII Congreso de la Sociedad Ibérica de biomecánica y Biomateriales BioValencia’10”. Ed. Vicerrectorado de Investigación y Política Científica. Universitat de Valencia. ISBN: 978-84-936128-2-5. 2010.

**LUGAR/AÑO:** Valencia, 11-13 de noviembre de 2010.



# INFLUENCIA DEL NIVEL COMPETITIVO Y DE LA POTENCIA SOBRE LA EFICIENCIA MECÁNICA Y EL PATRÓN CINEMÁTICO DE PEDALEO

Diez-Leal S<sup>1</sup>, García-López J<sup>1</sup>, Rodríguez-Marroyo JA<sup>1</sup>, Larrazabal J<sup>2</sup>, de Galdeano IG<sup>2</sup>, Villa JG<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Instituto de Biomedicina. Universidad de León. <sup>2</sup> Fundación Ciclista de Euskadi (Euskadiko Txirrindularitza Fundazioa).

## RESUMEN

La biomecánica es uno de los múltiples factores que inciden en el rendimiento en ciclismo. Los objetivos del presente trabajo son: (a) analizar y comparar la eficiencia mecánica y el patrón cinemático de pedaleo en ciclistas de diferente nivel competitivo, distinguiendo entre profesionales, semiprofesionales y aficionados; (b) analizar la influencia de la potencia sobre la eficiencia mecánica y el patrón cinemático de pedaleo. En el estudio participaron 11 ciclistas profesionales, 23 ciclistas semi-profesionales y 13 ciclistas aficionados sin diferencias significativas tanto en las medidas antropométricas como en las medidas de la bicicleta. Realizaron pruebas a 200, 250 y 300 W de potencia a una cadencia fija (90 rpm) recogiendo la fuerza y los impulsos mecánicos (positivo y negativo) durante el pedaleo, así como las variables cinemáticas 2D de la pierna derecha. Los resultados muestran que la eficiencia mecánica es mayor en profesionales que en semi-profesionales y aficionados, fundamentalmente a 250 y 300 W, por la menor fuerza e impulso negativos. La eficiencia mecánica también mejora con el aumento de potencia. El nivel competitivo afecta a la flexo-extensión de cadera y al rango de movimiento del tobillo, siendo además los profesionales capaces de adelantar el momento de máxima flexión del mismo. Cinemáticamente el incremento de la potencia afecta fundamentalmente a las articulaciones de cadera y tobillo. La eficiencia mecánica de pedaleo es un factor determinante del nivel de rendimiento deportivo en ciclismo. Un mayor rango de movimiento de tobillo junto con la capacidad para adelantar el punto de máxima flexión de éste pudieran ser los factores técnicos determinantes. El incremento de potencia aumenta la eficiencia mecánica de pedaleo y produce pequeños ajustes en la técnica.

**PALABRAS CLAVE.** Ciclismo de ruta, biomecánica, técnica de pedaleo.

## INTRODUCCIÓN

Algunos estudios sobre biomecánica del ciclismo han analizado la eficiencia mecánica del pedaleo en ciclistas de diferente nivel competitivo. Las conclusiones de estos trabajos son muy dispares, y solo uno de ellos ha conseguido demostrar una mayor eficiencia mecánica en ciclistas de mayor nivel (García-López et al., 2009). Sin embargo, este último trabajo sólo analizó a ciclistas de muy alto nivel (profesional y semiprofesional), profundizando poco en el patrón cinemático de la pedalada. Por lo tanto, los objetivos de este trabajo son: (a) analizar y comparar la eficiencia mecánica y el patrón cinemático de pedaleo en ciclistas de diferente nivel competitivo, distinguiendo entre profesionales, semiprofesionales y aficionados; (b) analizar la influencia de la potencia sobre la eficiencia mecánica y el patrón cinemático de pedaleo.

## MATERIAL Y MÉTODO

En el estudio participaron un total de 47 ciclistas, 11 pertenecían al Equipo Ciclista Profesional UCI Pro Tour Euskaltel-Euskadi (26.7±2.6 años; 67.7±4.9 kg y 178.2±6.4 cm), 23 ciclistas (20.8±1.5 años; 68.9±5.5 kg y 180.4±4.8 cm) al Equipo Ciclista UCI Continental Orbea (n=13) y al Equipo Amateur Sub-23 Naturgas Energía (n=10), y los 13 sujetos restantes (27.8±2 años; 70.0±1.6 kg y 177.1±1.6 cm) eran ciclistas aficionados. Se registraron dos medidas antropométricas de los ciclistas (alturas trocantérea y del

isquion/entrepiera) y seis medidas de sus bicicletas de ruta (longitud de la biela, altura y retroceso del sillín, longitud y diferencia de alturas sillín-manillar). Estas últimas fueron trasladadas a un cicloergómetro capaz de registrar la fuerza efectiva aplicada (máxima y mínima) en cada una de las bielas (Lode Excalibur Sport, Lode BV, Groninger, Netherlands). Tras un calentamiento estandarizado, todos los participantes realizaron 3 series de pedaleo a potencias (200, 250 y 300 W) y cadencia (90 rpm) fijas, con un descanso mínimo de 5 minutos entre cada una de ellas. El registro de las variables cinemáticas y cinéticas se llevó a cabo según el procedimiento descrito en García-López et al. (2009). A partir del registro de la fuerza efectiva se obtuvieron los impulsos positivos y negativos de fuerza, así como la eficiencia de pedaleo. También se analizó la cinemática 2D (Kinescan-IBV, IBV, Valencia) mediante grabaciones a 200 Hz (Sony Handycam HDR-HC7, Sony Inc) de la pierna derecha. Se analizaron las variables descritas por García-López et al. (2009): ángulos máximos y mínimos y rangos de movimiento de la cadera, rodilla y tobillo. Adicionalmente se analizaron los ángulos del ciclo de pedaleo en los que se producían la máxima extensión y flexión de las citadas articulaciones. El efecto del nivel competitivo y de la potencia en las variables cinemáticas y cinéticas se analizó mediante un ANOVA para medidas repetidas, utilizando una prueba post-hoc de Newman-Keuls.

## RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran las características de los ciclistas analizados y las dimensiones de sus bicicletas. El ANOVA no mostró diferencias significativas en las características antropométricas, ni en las alturas absolutas y relativas del sillín. Sí se encontraron diferencias significativas en la edad ( $F= 14.6$  y  $P<0.01$ ) y años de práctica de ciclismo ( $F= 10.7$  y  $P<0.01$ ).

	PROFESIONALES (n= 11)		SEMI-PROFESIONALES (n= 23)		AFICIONADOS (n= 13)	
	Media±EEM	Rango	Media±EEM	Rango	Media±EEM	Rango
<b>Edad (años)</b>	26.7 ± 0.8	22.0 - 31.0	20.8 ± 0.3*#	19.0 - 24.0	27.8 ± 2.0	20.0 - 39.0
<b>Práctica (años)</b>	14.9 ± 0.8	10.2 - 19.2	9.0 ± 0.3*	7.2 - 12.2	8.3 ± 1.9*	1.0 - 21.0
<b>Masa (kg)</b>	67.7 ± 1.5	59.5 - 76.0	68.9 ± 1.1	61.0 - 80.0	70.0 ± 1.6	62.0 - 81.0
<b>Talla (cm)</b>	178.2 ± 1.9	171.0 - 187.0	180.4 ± 1.0	172.0 - 189.0	177.1 ± 1.6	169.0 - 188.0
<b>hE (cm)</b>	86.5 ± 1.3	79.5 - 94.0	87.3 ± 0.7	80.5 - 94.0	85.1 ± 1.3	78.0 - 94.0
<b>hT (cm)</b>	93.4 ± 1.4	86.5 - 100.0	95.0 ± 0.7	88.5 - 101.5	91.8 ± 1.3	84.0 - 100.0
<b>Hsillín (cm)</b>	76.2 ± 1.4	70.0 - 83.0	77.4 ± 0.6	71.0 - 83.7	75.0 ± 1.0	69.5 - 82.3
<b>%HsE</b>	108.3 ± 0.7	105.8 - 113.6	108.7 ± 0.6	104.6 - 115.5	108.5 ± 0.6	103.5 - 112.8
<b>%HsT</b>	100.2 ± 0.5	97.0 - 103.7	99.8 ± 0.4	97.4 - 104.7	100.6 ± 0.5	96.6 - 103.5

Tabla 1. Características de los ciclistas y dimensiones de sus bicicletas. hE= Altura de la entrepierna; hT= Altura del trocater; Hsillín= Altura del sillín; %HsE= altura relativa del sillín respecto a hE; %HsT= altura relativa del sillín respecto a hT. Diferencias significativas ( $p<0.05$ ): \* = Respecto a los ciclistas profesionales. # = entre ciclistas semiprofesionales y aficionados.

El nivel competitivo afectó a la eficiencia mecánica ( $F= 3.7$  y  $p<0.05$ ), siendo mayor en los ciclistas profesionales que en los semiprofesionales y aficionados, fundamentalmente a 250 y 300 W (Figura 1A). Esto se debió a los menores torque mínimo ( $F= 10.2$  y  $p<0.001$ ) e impulso negativo ( $F=6.8$  y  $p<0.01$ ) (Figura 1B). La eficiencia mecánica aumentó con el incremento de potencia ( $F= 982$  y  $p<0.001$ ), porque disminuyeron el impulso negativo ( $F= 272$  y  $p<0.001$ ) y el torque mínimo ( $F= 13.3$  y  $p<0.001$ ), mientras aumentaron el impulso positivo ( $F= 2070$  y  $p<0.001$ ) y el torque máximo ( $F= 123.6$  y  $p<0.001$ ).

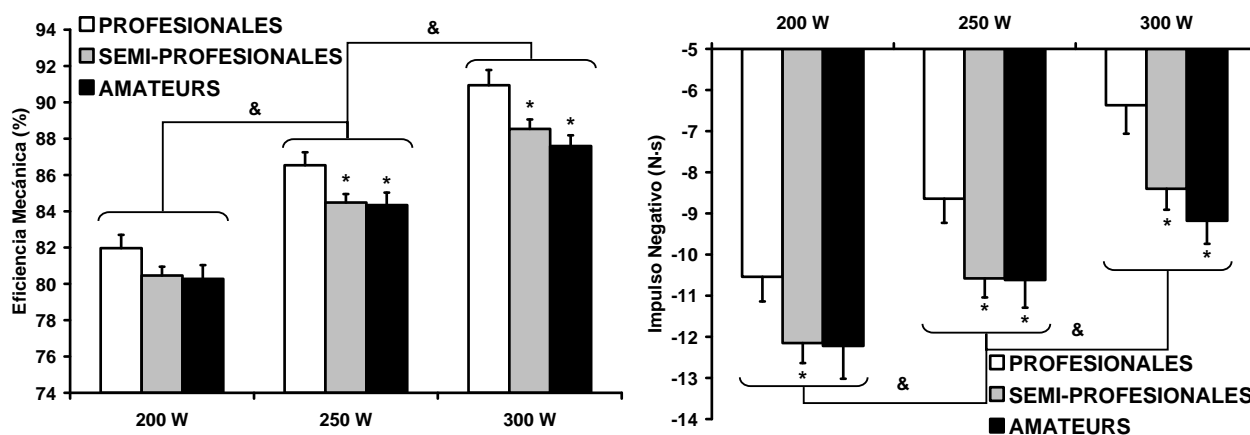


Figura 1A.-Eficiencia mecánica de pedaleo en los tres grupos de ciclistas analizados a 200, 250 y 300 W. Figura 1B.-Impulso negativo de pedaleo en los tres grupos de ciclistas analizados a 200, 250 y 300 W. Diferencias significativas ( $p < 0.05$ ): \* = con los ciclistas profesionales; & = respecto a la potencia anterior.

El nivel competitivo afectó a la cinemática de pedaleo. En la rodilla, al momento de máxima extensión ( $F = 3.4$  y  $p < 0.05$ ). En la cadera, a la extensión ( $F = 6.5$  y  $p < 0.01$ ) y flexión ( $F = 7.3$  y  $p < 0.001$ ). En el tobillo, a la extensión ( $F = 2.6$  y  $p = 0.07$ ), ángulo de biela en la máxima flexión ( $F = 3.2$  y  $p < 0.05$ ) y al rango de movimiento ( $F = 4.6$  y  $p < 0.05$ ) (Figura 2A). La potencia también afectó a la cinemática de pedaleo. Se adelanta el momento de mayor extensión de rodilla ( $F = 15.3$  y  $p < 0.001$ ). La cadera extiende más ( $F = 3.2$  y  $p < 0.05$ ) y flexiona menos ( $F = 4.3$  y  $p < 0.05$ ), adelantándose los momentos en los que estas se producen ( $F = 20.1$  y  $p < 0.001$ ; y  $F = 5.6$  y  $p < 0.01$ , respectivamente). En el tobillo (Figura 2B) se produce una mayor flexión ( $F = 4.9$  y  $p < 0.01$ ) y un mayor rango de movimiento ( $F = 2.8$  y  $p = 0.065$ ), retrasándose su máxima extensión ( $F = 4.96$  y  $p < 0.01$ ) y su máxima flexión ( $F = 3.0$  y  $p = 0.056$ ).

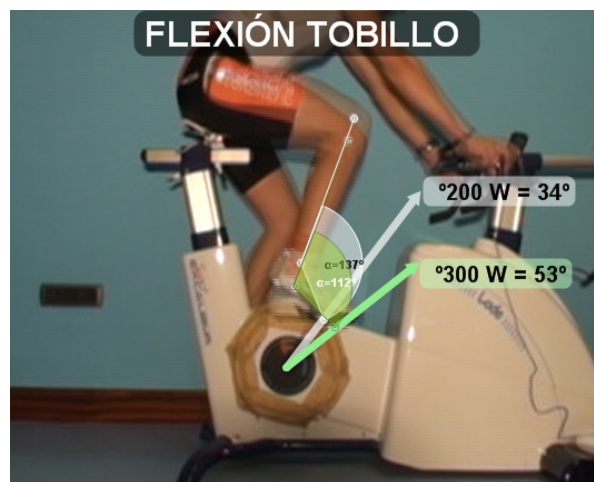
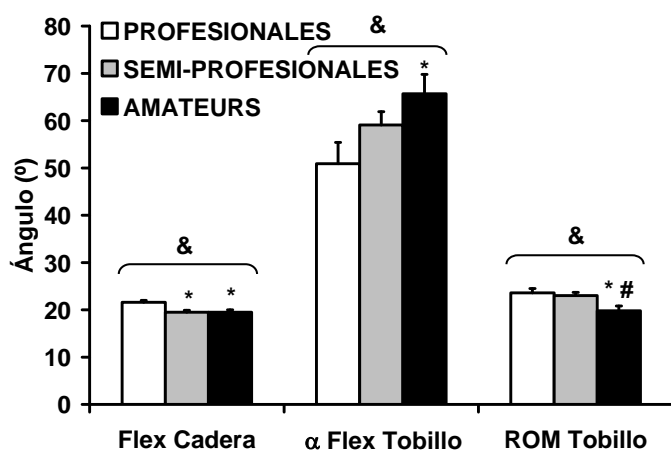


Figura 2A.-Variables cinemáticas de la cadera y el tobillo de los diferentes grupos de ciclistas analizados. Figura 2B.-Representación, utilizando un sujeto de ejemplo, del ángulo de biela en el que se consiguió la máxima flexión de tobillo ( $\alpha$  Flex Tobillo) a 200 y 300 W de pedaleo ( $^{\circ}200$  y  $^{\circ}300$  W, respectivamente).  $\alpha$  = ángulo de flexión de tobillo a 200 y 300 W.

## DISCUSIÓN

Lo más novedoso de este trabajo ha sido el hecho de demostrar que tanto el nivel competitivo como la potencia de pedaleo afectan a las variables cinéticas y cinemáticas del pedaleo. En consonancia con los hallazgos de estudios previos (García-López et al., 2009), observamos que la eficiencia mecánica es mayor en los ciclistas de más nivel competitivo (Figura 1A), porque tienen una mayor capacidad para disminuir la

fuerza negativa y el impulso negativo durante la pedalada (Figura 1 B), lo que ha sido comentado previamente (Sanderson, 2000; Stapelfeldt et al., 2007) y parece ser una estrategia para disminuir la necesidad de impulso positivo al incrementar la potencia. Nuestros resultados, sin embargo, son contrarios a los obtenidos por Coyle et al. (1991) y Sanderson (1991), donde los ciclistas de menor nivel parecían tener mejor eficiencia mecánica. Esto podría haberse debido a que la masa de los ciclistas profesionales era significativamente mayor que en los amateurs (Sanderson, 1991), y a que la potencia de pedaleo de los primeros fue muy superior a estos últimos (Coyle et al., 1991), cuestiones que afectan gravemente a la interpretación de las fuerzas durante el pedaleo (García-López et al., 2009). En este trabajo, con igual potencia de pedaleo y con grupos de similares características antropométricas (Tabla 1), podemos descartar estos factores como causa de las diferencias encontradas. Las diferencias cinéticas entre ciclistas de diferente nivel del presente estudio podrían estar relacionadas, además de con los años de práctica, con la cinemática o diferente patrón técnico de pedaleo. Estudios anteriores destacan la importancia del tobillo en la mecánica del pedaleo (Shan, 2008; Stapelfeldt et al., 2007), y nosotros observamos que esta articulación es sensible tanto al nivel de práctica como al incremento de la potencia. El resto de modificaciones cinemáticas encontradas con el incremento de potencia no pueden ser comparadas con otros estudios, por lo que son necesarios posteriores trabajos que confirmen o rechacen los hallazgos que hemos obtenido. El hecho de que los momentos de máxima extensión de cadera y rodilla se adelanten puede ser justificado por la necesidad de implicar en mayor medida la articulación del tobillo, permitiendo un mayor rango de movimiento y provocando un retraso en el momento de máxima extensión del mismo.

## CONCLUSIONES

Además de otros factores ya conocidos (ej. eficiencia energética o metabólica), la eficiencia mecánica de pedaleo es un factor determinante del nivel de rendimiento deportivo en ciclismo. Un mayor rango de movimiento de tobillo junto con la capacidad para adelantar el punto de máxima flexión de éste pudieran ser los factores técnicos determinantes. El incremento de potencia aumenta la eficiencia mecánica de pedaleo y produce pequeños ajustes en la técnica, fundamentalmente en las articulaciones del tobillo y la cadera.

## BIBLIOGRAFÍA

- Coyle EF, Feltner ME, Kautz SA, Hamilton MT, Montain SJ, Baylo AM, Abraham LD, Petrek GW. (1991) Physiological and biomechanical factor associated with elite endurance cycling performance. *Med Sci Sports Exerc.* 23 (1): 93-107.
- García-López J, Díez-Leal S, Rodríguez-Marroyo JA, Larrazabal J, de Galdeano IG, Villa JG (2009). Eficiencia mecánica de pedaleo en ciclistas de diferente nivel competitivo. *Biomecánica*, 17, 2: 9-20.
- Sanderson DJ, Henning Em, Black AH. (2000). The influence of cadence and power output on force application and in shoe pressure distribution during cycling by competitive and recreational cyclist. *J Sports Sci.* 18 (3): 173-181.
- Sanderson DJ. (1991). The influence of cadence and power output on the biomechanics of force application during steady-rate cycling in competitive and recreational cyclist. *Sports Sci.* 9 (2): 191-203.
- Shan G. (2008). Biomechanical evaluation of bike power saber. *Appl Ergon.* 39 (1): 37-45.
- Stapelfeldt B, Mornieux G, Oberheim R, Belli A, Gollhofer A. (2007). Development and evaluation of a new bicycle instrument for measurements of pedal forces and power output in cycling. *Int J Sports Med* 28 (4): 326-332.