

## **Análisis cinemático y diferencias bilaterales en la técnica de pedaleo de ciclistas profesionales**

### **Kinematic analysis and bilateral differences in pedaling technique of professional cyclists**

Dr. Javier Yanci Irigoyen

Universidad del País Vasco, UPV/EHU, Vitoria-Gasteiz, España

Envío original: 22/06/2015

Reenviado: 28/08/2015, 04/09/2015, 10/09/2015

Aceptado: 10/09/2015

Publicado: 20/10/2015

## Resumen

Los objetivos de este estudio fueron, por un lado, describir la máxima flexión y extensión de la rodilla y el tobillo alcanzadas en la fase de pedaleo por ciclistas profesionales, y por otro, comparar las diferencias en estas angulaciones entre la extremidad inferior derecha e izquierda. En este estudio participaron 13 ciclistas pertenecientes a un equipo profesional que asiduamente participaba en la Vuelta Ciclista a España. Todos los participantes tenían una experiencia superior a 10 años en el ciclismo. En el presente estudio se realizó la medición de la longitud de las bielas, la altura y el retroceso del sillín de las bicicletas de los ciclistas. De la misma forma se realizó el análisis cinemático en 2D de la pedalada con el fin de evaluar las angulaciones de la rodilla y del tobillo. No se encontraron diferencias significativas entre la pierna derecha e izquierda en la angulación de la flexión ni extensión de la rodilla ni tampoco en la flexión del tobillo en el pedaleo de los ciclistas. Sin embargo, contrariamente a otros estudios, si se encontraron diferencias en la angulación de la extensión del tobillo ( $p < 0,05$ , diferencia medias = 14,53 %,  $d = 0,37$ , bajo) entre las dos piernas. En futuras investigaciones podría resultar interesante complementar el análisis cinemático con el cinético con el fin de observar si las diferencias en las angulaciones se acompañan de diferencias en la fuerza aplicada por cada una de las piernas.

**Palabras clave:** ciclismo, cinemática de pedaleo, posición, biomecánica.

## Abstract

The objectives of this study were to describe the maximal angulations of knee and ankle in the flexions and extensions in pedaling performed by professional cyclists and to compare the differences in these angulations between the right and left legs. Thirteen cyclists, all members of a professional team, which regularly competed in the “Vuelta Ciclista a España”, took part in this study. Measurements were taken of the length of the crank arms, height and saddle height of the cyclists’ bicycles. A 2D kinematic analysis was also performed of their pedaling to study the angulations of knee and ankle. No significant differences were found between the right and the left leg with regard to the angulations of flexion or extension of the knees or the flexion of the ankles. However, contrary to other studies, differences were found in the ankle angulation of extension ( $p < 0.05$ , difference between means = 14.53%,  $d = 0.37$ , small) between the two legs. In future research it would be interesting to complement the kinematic analysis with a kinetic study to observe if the differences in the angulations are accompanied by differences in the force applied by each leg.

**Key words:** cycling, pedaling kinematics, position, biomechanics.

## Introducción

Asiduamente la temporada de carreras o competiciones para un ciclista profesional de ruta se inicia a finales del invierno (mediados de febrero) y termina a finales de verano (septiembre). A pesar de que varía en función del equipo, el nivel competitivo o la planificación individual del corredor, la temporada para un ciclista puede constar de un total de 90 a 100 días de competición, incluso con las pruebas de un solo día (~250 km), carreras de una semana (4 o 5 etapas consecutivas de 150 a 200 km y alguna contrarreloj individual) o incluso carreras de 2 o 3 semanas de duración (Giro de Italia, Tour de Francia y Vuelta a España). Estas últimas pruebas incluyen 21 etapas (~200 km por etapa) con solo 1 o 2 días de descanso, donde los ciclistas deben recorrer en torno a 3.300 - 3.700 km ([Rodríguez-Marroyo, 2009](#), [García-López, Juneau, y Villa, 2009](#)). Asimismo, además de la competición (~12.000 km), los corredores deben realizar una gran cantidad de kilómetros de entrenamiento (~23.000 km) ([Rodríguez-Marroyo et al., 2009](#)) con pedaleo constantemente para lograr una condición física adecuada.

El rendimiento en ciclistas profesionales de carretera depende en gran medida de factores antropométricos ([Lucia, Hoyos, y Chicharro, 2001a](#)), fisiológicos ([Lucia et al., 2001a](#), [Lucia, San Juan, Montilla, Cañete, Santalla, Earnest, y Pérez, 2004](#), [Passfield y Doust, 2000](#)), y otros factores como las condiciones climáticas, la altitud o las acciones tácticas de equipo ([Lucia et al., 2001a](#)). Además, varios estudios recientes muestran que las alteraciones biomecánicas también son un factor importante en el rendimiento ([Faria, Parker, y Faria, 2005](#), [Ferrer-Roca, Roig, Galilea, y García-López, 2012](#), [García-López, Rodríguez-Marroyo, Juneau, Peleteiro, Martínez, y Villa, 2008](#)). En la última década son varios los estudios que se centran en el análisis de la posición en la bicicleta ([Bini, Hume, y Croft, 2011](#), [Korff, Fletcher, Brown, y Romer, 2011](#)) tanto desde el punto de vista de la cinética como de la cinemática ([Ferrer-Roca, Bescós, Roig, Galilea, Valero, y García-López, 2014](#), [García-López, Díez-Leal, Rodríguez-Marroyo, Larrazabal, De Galdeano, y Villa, 2009](#)) de la pedalada, acción técnica más común y repetida en el ciclismo. Sin embargo, no existe un acuerdo dentro de la comunidad científica con respecto a la configuración óptima de la posición en la bicicleta ([Burke y Pruitt, 2003](#)). En este sentido, el aspecto más controvertido en esta configuración, y en consecuencia el que más atención ha tenido en las investigaciones, es la altura del sillín ([Peveler, 2008](#), [Price y Donne, 1997](#)). La mayor parte de las investigaciones coinciden en que un mal posicionamiento en la bicicleta puede reducir el rendimiento deportivo en ciclistas profesionales ([Bini et al., 2011](#), [Faria et al., 2005](#), [García-López et al., 2008](#)), además una mala posición puede ser el resultado de distintos tipos de lesiones por sobreuso ([Bini et al., 2011](#), [Burke y Pruitt, 2003](#)). Sin embargo, se desconocen concretamente cuales son los mecanismos cinemáticos que influyen en estos aspectos, por lo que puede resultar interesante realizar más estudios con el fin de conocer la cinemática de la pedalada y poder construir argumentos sólidos basados en evidencias científicas de cara a la mejora del rendimiento y la prevención de lesiones.

Otro de los aspectos que ha recibido especial atención son las diferencias asimétricas durante el pedaleo ([Bini y Hume, 2014](#), [Carpes, Mota, y Faria, 2010](#), [Carpes, Diefenthaler, Bini, Stefanyshyn, Faria, y Mota, 2011](#)). A pesar de que la mayoría de los estudios asumen que la fuerza realizada por las extremidades inferiores en la fase de pedaleo es similar en ambas piernas ([Carpes et al. 2010](#), [Ferrer-Roca et al., 2014](#), [Heil, Derrick, y Whittlesey, 1997](#)), varios estudios muestran que puede existir algún grado de asimetría ([Daly y Cavanagh, 1976](#); [Sargeant y Davies, 1977](#)). Los estudios sugieren que algunos factores como la velocidad de movimiento y la carga de trabajo externa parecen influir en la asimetría bilateral, por lo que se llega a encontrar desde un 5 % a un 20 %

de diferencia asimétrica en la fuerza producida en la fase de pedaleo ([Carpes et al. 2007](#), [Daly y Cavanagh, 1976](#); [Sargeant y Davies, 1977](#)). Sin embargo, son menos los estudios realizados desde el punto de vista de las asimetrías cinemáticas ([Edeline, Polin, Tourny-Chollet, y Weber, 2004](#)) por lo que son necesarios más estudios al respecto que nos ayuden a comprender las diferencias asimétricas especialmente en ciclistas profesionales.

Por lo tanto, los objetivos de este estudio fueron: 1) describir la máxima flexión y extensión de la rodilla y el tobillo alcanzadas en la fase de pedaleo por ciclistas profesionales y 2) comparar las diferencias en estas angulaciones entre la extremidad inferior derecha e izquierda.

## Método

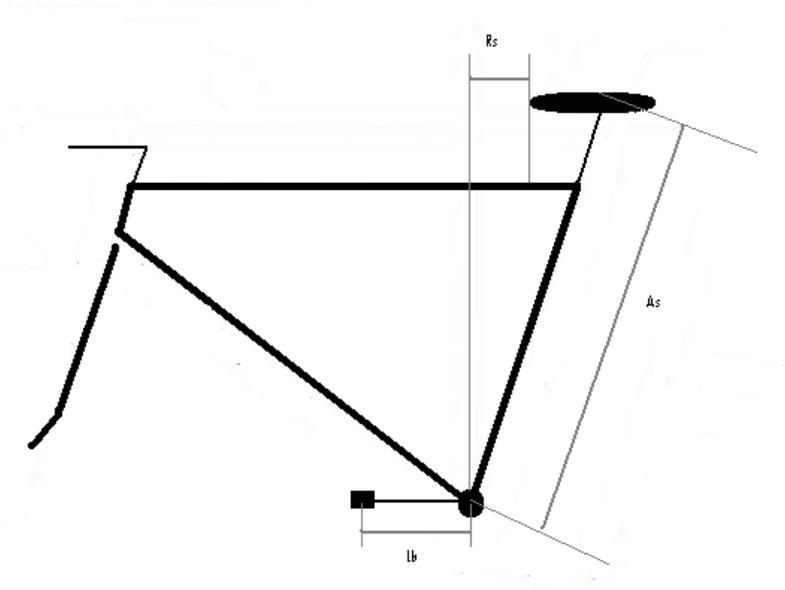
### *Participantes*

En este estudio participaron 13 ciclistas ( $26,23 \pm 4,80$  años) pertenecientes a un equipo profesional que asiduamente participaba en la Vuelta Ciclista a España. Todos los participantes tenían una experiencia superior a 10 años en el ciclismo. En el momento de realización de los test, el equipo estaba en la fase de preparación de la temporada. Todos los ciclistas entrenaban entre 6 y 7 sesiones semanales con una duración media de 3-4 horas de entrenamiento y durante las mediciones no tenían ninguna lesión que les impidiese pedalear de forma habitual. El estudio se realizó bajo el consentimiento del equipo al que pertenecían. Todos los participantes fueron informados de los objetivos de la investigación, participaron voluntariamente en el estudio, pudieron retirarse del mismo en cualquier momento y firmaron el consentimiento informado. Los procedimientos siguieron las pautas marcadas por la Declaración de Helsinki (2013) y la Ley de Protección de Datos (LPD).

### *Procedimiento*

El estudio se realizó en el mes de enero, durante la fase de preparación para la temporada. Todos los participantes acudieron una vez al laboratorio de biomecánica donde se realizó el protocolo de medición. En primer lugar, se pasó un cuestionario de datos generales y se realizó la medición antropométrica individual (masa y talla) de los ciclistas. Posteriormente, se efectuó la medición de la longitud de las bielas, la altura y el retroceso del sillín de cada una de las bicicletas de los ciclistas. Todos los participantes tenían el mismo modelo de bicicleta, ya que se trataba de la bicicleta oficial del equipo. Únicamente existía la diferencia en cuanto a la talla del cuadro y en las variables mencionadas anteriormente de la longitud de las bielas, la altura y el retroceso del sillín de cada una de las bicicletas. Todos los participantes estaban familiarizados con la correcta ejecución de la prueba, puesto que se trataba de una prueba habitual del equipo. Antes de la toma de datos, todos los participantes realizaron un calentamiento que consistió en 10 min de pedaleo a baja intensidad (70 rpm).

*Medidas de los elementos de la bicicleta:* un investigador experto en biomecánica del ciclismo midió el retroceso del sillín (Rs), la longitud de las bielas (Lb) y la altura del sillín (As) (figura 1) de tal manera que se atendió a las consideraciones realizadas por [García-López et al. \(2009\)](#), utilizando una plomada y un metro.

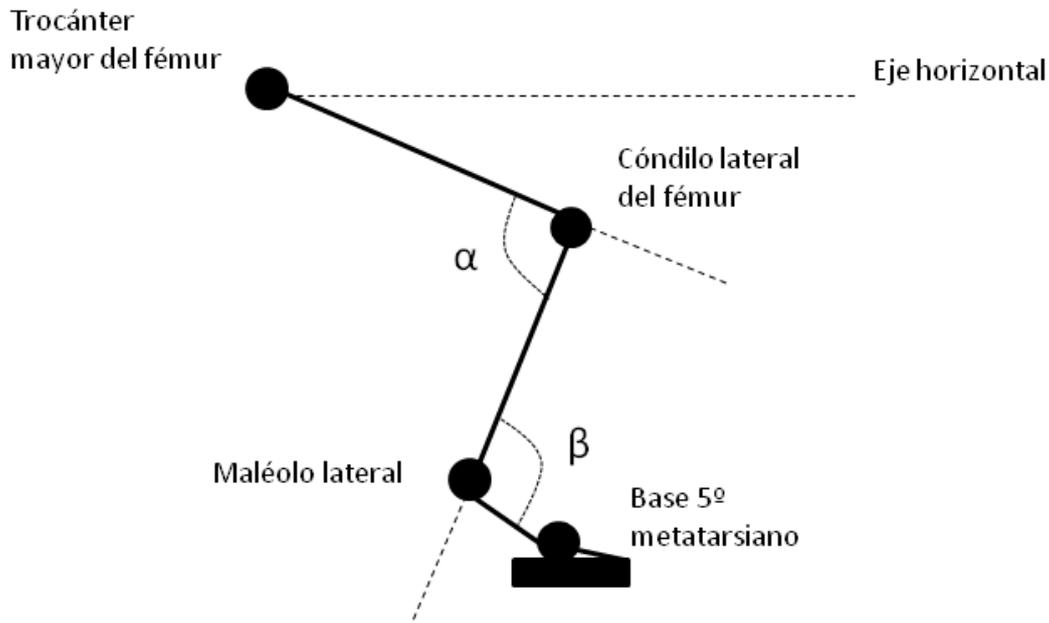


**Figura 1.** Medidas básicas analizadas en este estudio que configuran la bicicleta.

Rs = retroceso del sillín, Lb = longitud de la biela, As = altura del sillín.

Fuente: elaboración propia.

*Análisis cinemático 2D:* las angulaciones de la rodilla y del tobillo fueron analizadas mediante fotogrametría 3D, si bien únicamente se registraron los ángulos proyectados en el plano sagital (2D). A todos los participantes, el mismo investigador, les colocó unos adhesivos reflectantes de 10 mm de diámetro en el trocánter mayor del fémur, el cóndilo lateral del fémur, el maléolo lateral y a la altura de la base del quinto metatarsiano, con la utilización de un protocolo adaptado de investigaciones anteriores ([García-López et al., 2009](#), [Hull y González, 1988](#), [Savelberg, Van de Port, y Willems, 2003](#)), con la modificación de que los estudios anteriores colocaban un marcador en el pedal de la bicicleta y en el presente estudio se colocó en la base del quinto metatarsiano. Los ciclistas durante 10 min pedaleaban sobre su propia bicicleta montada en un rodillo (Tacx T-2780 Bushido Smart) a una cadencia de 90-100 rpm ([Lucia Hoyos, y Chicharro, 2001b](#)). A través de un sistema de dos cámaras (EDDO Captor, STT, San Sebastián, España, velocidad de captura 120 FPS, tamaño de pixel  $6 \mu\text{m} \times 6 \mu\text{m}$ , tamaño de imagen  $4,5 \text{ mm} \times 2,88 \text{ mm}$ , resolución de imagen  $640 \times 480$ ) colocado perpendicularmente al plano sagital en el lateral derecho o izquierdo del ciclista, se recogían 3 secuencias de video (en los minutos 3, 6 y 9, igual para todos los ciclistas) de una duración de 10 s cada una. El coeficiente de variación (CV) de las tres mediciones realizadas fue inferior a 3,45 %. El sistema EDDO Captor había sido previamente calibrado por los fabricantes. Estos marcadores permitían un análisis automático del pedaleo mediante un *software* específico (EDDO, STT, San Sebastián, España). El sistema identificaba los adhesivos reflectantes en el espacio y calculaba los ángulos relativos entre el segmento muslo-pierna (angulación de la rodilla) y el segmento pierna-pie (tobillo). Las variables obtenidas fueron la máxima angulación de flexión y extensión tanto del tobillo como de la rodilla, de forma independiente para la extremidad inferior derecha e izquierda (figura 2). Para el análisis estadístico se utilizó la media de cada uno de los valores máximos obtenidos en las filmaciones.



**Figura 2.** Variables cinemáticas analizadas en el presente estudio.  
 $\alpha$  = ángulo de flexión de la rodilla,  $\beta$  = ángulo de flexión del tobillo.

Fuente: elaboración propia.

### **Análisis estadístico de los datos**

Los resultados se presentan como media  $\pm$  desviación típica de la media (DT). Todas las variables mostraron una distribución normal según el test de Shapiro-Wilk. El coeficiente de variación (CV) entre las tres medidas registradas en cada variable (máxima angulación en flexión y extensión de la rodilla y del tobillo) se calculó mediante la fórmula propuesta por [Atkinson y Nevill \(1998\)](#):  $(CV) = (SD/Promedio) \times 100$ . Para analizar las diferencias en las distintas variables analizadas (angulaciones de la rodilla y del tobillo) entre las distintas extremidades inferiores (derecha e izquierda) se utilizó una prueba T de muestras relacionadas. La significatividad práctica se calculó mediante el tamaño del efecto (d) de Cohen ([Cohen, 1988](#)). Tamaños de efecto mayores a 0,8, entre 0,8 y 0,5, entre 0,5 y 0,2 y menores a 0,2 fueron considerados altos, moderados, bajos y triviales, respectivamente ([Cohen, 1988](#)). El análisis estadístico se realizó con el programa Statistical Package for Social Sciences (SPSS Inc, versión 20,0 Chicago, IL, EE.UU.). La significatividad estadística fue de  $p < 0,05$ .

### **Resultados**

La tabla 1 muestra los resultados obtenidos en cuanto a las características antropométricas, la longitud de las bielas, la altura y el retroceso del sillín en las bicicletas de competición del conjunto de los ciclistas.

**Tabla 1.** Características antropométricas, longitud de bielas, altura y retroceso del sillín de las bicicletas de competición de los ciclistas (n = 13).

Parámetro	Mínimo	Máximo	Media	DT
Masa (kg)	60,30	72,70	66,36	4,09
Talla (cm)	174,10	186,10	178,25	3,77
IMC (kg.m <sup>-2</sup> )	19,96	21,70	20,94	0,48
Longitud de bielas (mm)	170,00	175,00	173,85	1,65
Altura del sillín (cm)	72,30	80,70	75,62	2,46
Retroceso del sillín (cm)	6,40	8,60	7,40	0,78

DT = desviación típica, IMC = índice de masa corporal.

Fuente: elaboración propia.

Respecto a las angulaciones máximas de flexión y extensión de la rodilla registradas por los ciclistas en la fase de pedaleo no se encontraron diferencias significativas entre la extremidad inferior derecha y la izquierda (tabla 2). En relación con la angulación en la flexión del tobillo no se encontraron diferencias significativas entre la pierna derecha e izquierda en el pedaleo de los ciclistas. Sin embargo, tal y como se muestra en la tabla 2, sí se encontraron diferencias en la angulación de la máxima extensión del tobillo en la fase de pedaleo ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 2.** Angulaciones máximas de flexión y extensión de la rodilla y tobillo derecho e izquierdo en la fase de pedaleo.

	Derecha	Izquierda	Dif. (%)	d
<b>Rodilla</b>				
Máxima extensión ( $\alpha^\circ$ )	157,52 ± 4,08	160,03 ± 7,14	-1,59	0,24
Máxima flexión ( $\alpha^\circ$ )	88,84 ± 3,63	88,82 ± 4,21	-0,03	0,01
<b>Tobillo</b>				
Máxima extensión ( $\beta^\circ$ )	108,48 ± 41,85	92,71 ± 28,61*	14,53	0,37
Máxima flexión ( $\beta^\circ$ )	58,24 ± 8,64	58,57 ± 8,58	1,79	0,12

Dif. = diferencia entre pierna derecha e izquierda, d = tamaño del efecto. \* Diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre el tobillo derecho e izquierdo.

Fuente: elaboración propia.

## Discusión

Este estudio fue diseñado para analizar desde un punto de vista cinemático las angulaciones máximas de flexión y extensión de la rodilla y el tobillo, así como para

evaluar las asimetrías bilaterales de la pedalada a 90 rpm en ciclistas profesionales. Los resultados obtenidos en la longitud de las bielas, la altura y el retroceso del sillín fueron similares a los aportados en otros estudios realizados con ciclistas profesionales. Sin embargo, las angulaciones de la rodilla y tobillo difieren considerablemente. La técnica de pedaleo utilizada puede ser distinta en los ciclistas a pesar de tener un posicionamiento similar en la bicicleta. De la misma forma, las diferencias asimétricas encontradas en la extensión del tobillo concuerdan con algunos estudios publicados en la literatura científica.

Los componentes elegidos para la bicicleta pueden ser un factor importante en el rendimiento y en la técnica de pedaleo. La longitud de biela es una variable que influye en la eficiencia mecánica de pedaleo, y se ha descrito que debe ser mayor en los ciclistas de mayor talla ([Faria, 1992](#), [Hull y González, 1988](#)). La longitud de las bielas utilizadas por los participantes en nuestro estudio es similar a la reportada por [García-López et al. \(2009\)](#) (173,8 vs. 173,7 mm). Atendiendo a estos datos, los ciclistas profesionales seleccionan principalmente bielas con una longitud de 172,5 y 175 cm. De la misma forma, los resultados para la altura y retroceso del sillín obtenidos en nuestro estudio fueron similares a los encontrados en un estudio anterior realizado con ciclistas profesionales ([García-López et al., 2009](#)). La altura del sillín de los ciclistas profesionales osciló entre 70 y 80 cm y el retroceso entre 6 y 8 cm.

La angulación de máxima extensión de la rodilla durante el pedaleo ha sido una variable utilizada para determinar el posicionamiento en la bicicleta ([Peveler, 2008](#)). Asiduamente, los profesionales de la biomecánica determinan esta angulación con el objetivo de estimar la altura adecuada del sillín. Algunos estudios anteriores afirman que una posición más baja, y por tanto menores angulaciones en la máxima extensión de la rodilla, son menos eficientes en el pedaleo ([Faria, 1992](#), [Price y Donne, 1997](#)). Los resultados obtenidos en nuestro estudio muestran un mayor ángulo de flexión de 88° vs. 71° y una mayor extensión de 157° vs. 137° de la rodilla en comparación con los datos aportados por [García-López et al. \(2009\)](#), también con ciclistas profesionales. Contrariamente, los ciclistas participantes en nuestro estudio mostraron una similar flexión de 120° vs. 112°, pero una menor extensión de 108° vs. 136° del tobillo. A pesar de que el posicionamiento en la bicicleta (longitud de bielas, altura y retroceso del sillín), así como la altura de los deportistas son similares en los dos estudios, las angulaciones obtenidas difieren considerablemente. Los ciclistas de nuestro estudio tienen un mayor rango en la angulación de la rodilla, aspecto que parece ser compensado por el mayor rango en la angulación del tobillo en el estudio de [García-López et al. \(2009\)](#). Sin embargo, otros estudios ([Ferrer-Roca et al., 2014](#), [Bini et al., 2014](#)) a pesar de que obtienen también valores inferiores a los obtenidos en nuestro estudio, las diferencias en el ángulo de extensión de la rodilla en comparación con nuestros resultados son menores (hasta 151-155° vs. 157°). Las diferencias encontradas con estudios precedentes podrían ser debidas a la distinta metodología empleada, especialmente en la colocación de los marcadores, al momento de la temporada en la que se efectúa la toma de datos, el nivel competitivo de los ciclistas o el haber realizado o no modificaciones específicas en la posición sobre la bicicleta. Por lo tanto, la comparación de resultados con otros estudios hay que tomarla con cautela.

A pesar de que las diferencias asimétricas entre las extremidades inferiores de los ciclistas han sido estudiadas en investigaciones anteriores ([Carpes et al. 2007](#), [Daly y Cavanagh, 1976](#); [Sargeant y Davies, 1977](#), [Yanci y Los Arcos, 2014](#)), este es el primer estudio que analiza este aspecto desde el punto de vista cinemático en ciclistas profesionales. En nuestro estudio no se encontraron diferencias en las angulaciones de

flexión y extensión de la rodilla. Sin embargo, sí se obtuvieron diferencias entre el ángulo de extensión del tobillo derecho e izquierdo (14,53 %). Estos datos concuerdan con los obtenidos en investigaciones anteriores donde se han encontrado diferencias en la aplicación de la fuerza de la pedalada (análisis cinético) de entre un 5 % y un 20 % ([Carpes et al.2007](#), [Daly y Cavanagh, 1976](#); [Sargeant y Davies, 1977](#)). Desde un punto de vista cinemático, [Carpes et al. \(2011\)](#) afirman que las diferencias asimétricas pueden estar influenciadas por la intensidad del ejercicio. A medida que aumenta la intensidad, tanto a carga constante como incremental, las diferencias asimétricas tienden a disminuir ([Carpes et al. 2011](#)), especialmente en ciclistas no entrenados (Ederline et al., 2004). La cadencia de pedaleo de nuestro estudio fue relativamente baja (90 rpm), por lo que este aspecto ha podido influir en los resultados obtenidos. Sin embargo, estudios anteriores ([Ferrer-Roca et al., 2014](#), [Heil et al., 1997](#)) han asumido que desde el punto de vista cinemático no existen diferencias asimétricas en la pedalada. Nuestros resultados respaldan en cierta medida estas afirmaciones. En nuestro estudio las diferencias asimétricas únicamente se observaron en la extensión del tobillo, pero no en la flexión/extensión de la rodilla ni en la flexión del tobillo. Por lo tanto, debido a la disparidad de resultados, son necesarios más estudios a distintas intensidades y cadencias de pedaleo, para obtener conclusiones clarificadoras. En futuras investigaciones podría resultar interesante complementar el análisis cinemático con el cinético con el fin de observar si las diferencias en las angulaciones se acompañan de diferencias en la fuerza o en la potencia aplicada por cada una de las piernas.

## Conclusiones

A pesar de que los resultados obtenidos en este estudio con respecto a las características antropométricas, la longitud de bielas, la altura y el retroceso del sillín son similares a otros estudios realizados con ciclistas profesionales, las angulaciones de flexión y extensión de rodilla y tobillo son distintas. Estos datos hay que tomarlos con cautela, ya que las diferencias entre los distintos estudios pueden ser derivadas de las distintas técnicas y protocolos de medida. Por lo tanto, puede resultar interesante realizar más estudios con el fin de conocer si tanto la angulación de la rodilla como del tobillo pueden ser parámetros interesantes de análisis en estudios biomecánicos.

En este estudio no se han encontrado diferencias bilaterales en la flexión y en la extensión de la rodilla ni tampoco en la flexión del tobillo. Por el contrario, estas diferencias fueron significativas en la extensión del tobillo. Este aspecto nos lleva a pensar que la técnica de pedaleo puede diferir en función de la extremidad analizada. Por consiguiente, son necesarios nuevos estudios que confirmen y complementen los resultados obtenidos.

## Agradecimientos

Queremos agradecer la colaboración de los ciclistas, técnicos y entrenadores del equipo, así como al Centro de Salud y Deporte Vitasport por la colaboración en el estudio.

## Referencias

- Atkinson, G., & Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine*, 26(4), 217-238. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.2165/00007256-199826040-00002>
- Bini, R.; Hume, P. A., & Croft, J. L. (2011). Effects of bicycle saddle height on knee injury risk and cycling performance. *Sports Medicine*, 41(6), 463-76. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.2165/11588740-000000000-00000>
- Bini, R. R., & Hume, P. A. (2014). Assessment of bilateral asymmetry in cycling using a commercial instrumented crank system and instrumented pedals. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(5), 876-81. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.2013-0494>
- Bini, R. R., Hume, P. A., & Kilding A. E. (2014) Saddle height effects on pedal forces, joint mechanical work and kinematics of cyclists and triathletes. *European Journal of Sport Science*, 14(1), 44-52. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1080/17461391.2012.725105>
- Burke, E. R., & Pruitt, A.L. (2003). Body positioning for cycling. In: Burke ER, editor, *High-tech cycling* (69-92) (2nd ed). Recuperado de [https://books.google.co.cr/books/about/High\\_tech\\_Cycling.html?id=msdT4iQ50cgC&hl=es-419](https://books.google.co.cr/books/about/High_tech_Cycling.html?id=msdT4iQ50cgC&hl=es-419)
- Carpes, F. P.; Rossato, M.; Faria, I. E., & Mota, C. B. (2007). Bilateral pedaling asymmetry during a simulated 40-km cycling time-trial. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 47(1), 51-57. Recuperado de <http://www.minervamedica.it/en/journals/sports-med-physical-fitness/article.php?cod=R40Y2007N01A0051>
- Carpes, F. P.; Mota, C. B., & Faria, I. E. (2010). On the bilateral asymmetry during running and cycling - a review considering leg preference. *Physical Therapy in Sport*, 11(4), 136-42. doi: 10.1016/j.ptsp.2010.06.005
- Carpes, F. P., Diefenthaler, F., Bini, R. R., Stefanyshyn, D. J., Faria, I. E., & Mota, C. B. (2011). Influence of leg preference on bilateral muscle activation during cycling. *Journal of Sports Science*, 29(2), 151-159. doi:10.1080/02640414.2010.526625
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Recuperado de [https://books.google.co.cr/books/about/Statistical\\_Power\\_Analysis\\_for\\_the\\_Behav.html?id=TI0N2IRAO9oC&redir\\_esc=y](https://books.google.co.cr/books/about/Statistical_Power_Analysis_for_the_Behav.html?id=TI0N2IRAO9oC&redir_esc=y)
- Daly, D. J., & Cavanagh, P. R. (1976). Asymmetry in bicycle ergometer pedaling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 8(3), 204-208. Recuperado de [http://journals.lww.com/acsm-msse/Abstract/1976/00830/Asymmetry\\_in\\_bicycle\\_ergometer\\_pedalling\\_.13.aspx](http://journals.lww.com/acsm-msse/Abstract/1976/00830/Asymmetry_in_bicycle_ergometer_pedalling_.13.aspx)
- Edeline, O., Polin, D., Tourny-Chollet, C. & Weber, J. (2004) Effect of workload on bilateral pedalling kinematics in non-trained cyclists. *Journal of Human Movement Studies*, 46, 493-51.

- Faria, I. (1992). Energy expenditure, aerodynamics and medical problems in cycling. *Sports Medicine*, 14(1), 43-63. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.2165/00007256-199214010-00004>
- Faria, E.; Parker, D. L., & Faria, I. E. (2005). The science of cycling. Factor affecting performance, part 2. *Sports Medicine*, 35(4), 313-337. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.2165/00007256-200535040-00003>
- Ferrer-Roca, V., Roig, A., Galilea, P., & García-López, J. (2012). Influence of saddle height on lower limb kinematics in well-trained cyclists: static vs. dynamic evaluation in bike fitting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(11), 3025-3029. Recuperado de [http://journals.lww.com/nsca-jscr/Abstract/2012/11000/Influence\\_of\\_Saddle\\_Height\\_on\\_Lower\\_Limb.16.aspx](http://journals.lww.com/nsca-jscr/Abstract/2012/11000/Influence_of_Saddle_Height_on_Lower_Limb.16.aspx)
- Ferrer-Roca, V., Bescós, R., Roig, A., Galilea, P., Valero, O., & García-López, J. (2014). Acute effects of small changes in bicycle saddle height on gross efficiency and lower limb kinematics. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(3), 784-791. Recuperado de [http://journals.lww.com/nsca-jscr/Abstract/2014/03000/Acute\\_Effects\\_of\\_Small\\_Changes\\_in\\_Bicycle\\_Saddle.25.aspx](http://journals.lww.com/nsca-jscr/Abstract/2014/03000/Acute_Effects_of_Small_Changes_in_Bicycle_Saddle.25.aspx)
- García-López, J.; Rodríguez-Marroyo, J. A.; Juneau, C. E.; Peleteiro, J.; Martínez, A. C., & Villa, J.G. (2008). Reference values and improvement of aerodynamic drag in professional cyclists. *Journal of Sports Science*, 26(3), 277-286. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1080/02640410701501697>
- García-López, J.; Díez-Leal, S.; Rodríguez-Marroyo, J. A.; Larrazabal, J.; De Galdeano, I. G., y Villa, J. G. (2009). Eficiencia mecánica de pedaleo en ciclistas de diferente nivel competitivo. *Biomecánica: Órgano de la sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales*, 17(2), 9-20. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/11973>
- Heil, D. P., Derrick, T. R., & Whittlesey, S. (1997). The relationship between preferred and optimal positioning during submaximal cycle ergometry. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(2), 160-165. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1007/s004210050141>
- Hull, M. L., & González, H. K. (1988). Bivariate optimization of pedaling rate and crank arm length in cycling. *Journal Biomechanics*, 21(10), 839-849. Recuperado de [http://dx.doi.org/10.1016/0021-9290\(88\)90016-4](http://dx.doi.org/10.1016/0021-9290(88)90016-4)
- Korff, T.; Fletcher, G.; Brown, D., & Romer, L. M. (2011). Effect of "Pose" cycling on efficiency and pedaling mechanics. *European Journal of Applied Physiology*, 111(6), 1177-86. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-010-1745-7>
- Lucia, A.; Hoyos, J., & Chicharro, J. L. (2001a). Physiology of professional road cycling. *Sports Medicine*, 31(5), 325-37. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.2165/00007256-200131050-00004>

- Lucia, A.; Hoyos, J., & Chicharro, J. L. (2011b). Preferred pedalling cadence in professional cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(8), 1361–1366. Recuperado de [http://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2001/08000/Preferred\\_pedalling\\_cadence\\_in\\_professional.18.aspx](http://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2001/08000/Preferred_pedalling_cadence_in_professional.18.aspx)
- Lucia, A.; San Juan, A. F.; Montilla, M.; Cañete, S.; Santalla, A.; Earnest, C., & Pérez, M. (2004). In professional road cyclists, low pedaling cadences are less efficient. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(6), 1048–1054. Recuperado de [http://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2004/06000/In\\_Professional\\_Road\\_Cyclists,\\_Low\\_Pedaling.19.aspx](http://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2004/06000/In_Professional_Road_Cyclists,_Low_Pedaling.19.aspx)
- Passfield, L., & Doust J. H. (2000). Changes in cycling efficiency and performance after endurance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(11), 1935–1941, 2000. Recuperado de [http://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2000/11000/Changes\\_in\\_cycling\\_efficiency\\_and\\_performance.18.aspx](http://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2000/11000/Changes_in_cycling_efficiency_and_performance.18.aspx)
- Peveler, W. W. (2008). Effects of saddle height on economy in cycling. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(4), 1355-1359. doi: 10.1519/JSC.0b013e318173dac6
- Price, D., & Donne, B. (1997). Effect of variation in seat tube angle at different seat heights on submaximal cycling performance in man. *Journal of Sports Science*, 15(4), 395-402. doi:10.1080/026404197367182
- Rodríguez-Marroyo, J. A., García-López, J., Juneau, C. E., & Villa, J. G. (2009). Workload demands in professional multi-stage cycling races of varying duration. *British Journal of Sports Medicine*, 43(3), 180-185. doi:10.1136/bjism.2007.043125
- Sargeant, A. J., & Davies, C. T. M. (1977). Forces applied to the cranks of a bicycle ergometer during one and two-legged pedaling. *Journal of Applied Physiology*, 42(4), 514-518. Recuperado de <http://jap.physiology.org/content/42/4/514>
- Savelberg, H.; Van de Port, I., & Willems, P. (2003). Body configuration in cycling affects muscle recruitment and movement pattern. *Journal Applied Biomechanics*, 19(4), 310-324. Recuperado de <http://journals.humankinetics.com/jab-back-issues/jabvolume19issue4november/bodyconfigurationincyclingaffectsmusclerecruitmentandmovementpattern>
- Yanci, J., & Los Arcos, A. (2014). Differences in muscle strength and leg asymmetries in elite runners and cyclists. *International Sport Medicine Journal*, 15(3), 265-277. Recuperado de [http://issuu.com/aristi/docs/differences\\_in\\_muscle\\_strength\\_and\\_/1](http://issuu.com/aristi/docs/differences_in_muscle_strength_and_/1)