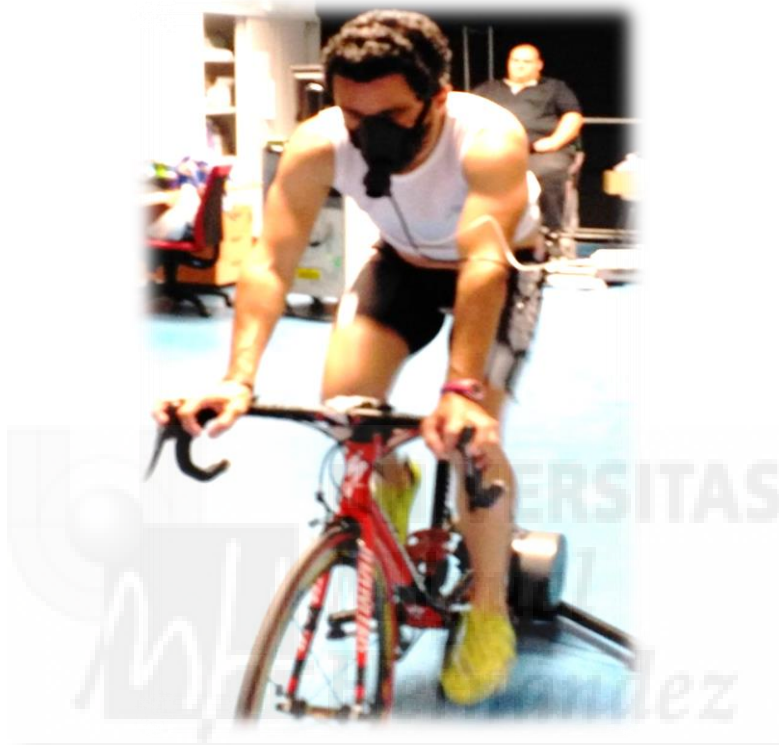




INFLUENCIA DE LAS CUÑAS EN EL RENDIMIENTO AERÓBICO Y LA CINEMÁTICA DEL PEDALEO EN FUNCIÓN DE SU PRONOSUPINACIÓN



Alberto Galindo Martínez

(alberto.galindo@graduado.umh.es)

Universidad Miguel Hernández de Elche

-2016-

Máster Universitario en Rendimiento deportivo y Salud

Laboratorio de Biomecánica y Salud

Tutor Académico:

Dr. José Luis López Elvira

Cotutor:

Juan Miguel López Vallés

Resumen

El número de actividades deportivas que requieren de una bicicleta cada vez están más extendidas (ciclismo, triatlón,..) y la adquisición de una correcta postura encima de la bicicleta es clave para obtener un alto rendimiento y realizar el deporte sin sufrir lesiones. Estos deportes en su mayoría de disciplinas son de corte aeróbico y de larga duración, por lo que es necesario analizar un componente clave como es la eficiencia en estas intensidades para valorar una parte importante del rendimiento final. La gran parte de las personas no tienen un pie neutro, por lo que hemos incorporado una cuña entre el pedal y la cala, para corregir la supinación o pronación de los deportistas, para así alinear el segmento de la pierna con la intención de prevenir lesiones y mejorar el rendimiento. El primer objetivo fue valorar el cambio de la eficiencia con la implantación de la cuña, a través de la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno. El segundo era ver el cambio que se había producido en la cinemática, tras esta implantación. Se contó con un total de 8 participantes, entre ellos deportistas federados y no federados.

Palabras Clave: Cuñas, supinación, pronación, cinemática, eficiencia, ciclismo.

Introducción

El ciclismo y el triatlón son unos deportes cada vez más realizados en la sociedad española, donde se ha visto durante los últimos 10 años un aumento de casi 30.000 ciclistas federados o un 58% más de los que había en 2005, al igual que 9.000 triatleta federados más, casi doblando los que había también en 2005, según el INE. Además aquí solo se tienen en cuenta aquellos federados, habiendo muchas personas que la utilizan con normalidad sin estarlo ya sea para desplazarse o para realizar actividad física.

Como todo deporte la adquisición de una buena higiene postural es importante, pero este deporte tiene la particularidad, como algunos otros, de que es desarrollado junto a una máquina, que es la bicicleta. Por ello es esencial la adquisición de una buena postura encima de ella tanto para mejorar el rendimiento como para no producirse lesiones o reducirlas (Gómez puerto, Da Silva-Grigoletto, Viana-Montaner, Vaamonde y Alvero-Cruz, 2008). En ciclistas amateurs las lesiones más prevalentes son las de cuello, espalda y rodilla, estas últimas las que más acaban requiriendo de cirugía. (Van der Walt, Janse van Rensburg, Fletcher, Grant y Van der Walt, 2014).

Siguiendo con esta afirmación, la mejora de rendimiento con una posición biomecánica correcta es clara, debido a una correcta alineación biomecánica de los distintos segmentos de las extremidades inferiores (Hannaford, 1986). Además reducirá las fuerzas estresantes a las que se somete la rodilla (Asplund y St. Pierre, 2004), lo que reducirá el riesgo de lesión, ya que el problema del ciclista es que realiza unas 5000 pedaladas por hora, y que suelen realizar un alto número de sesiones semanales. Por esto más que una lesión aguda, tales como fractura o dislocación, que se suelen deber a caídas, si no se adquiere una buena posición biomecánica, provocará en sus extremidades lesiones de carácter crónico (Holmes et al., 1994; Clarsen y Krosshaug, 2010).

VALORACIÓN TRAS LA IMPLANTACIÓN DE UNA CUÑA 2

El peso del ciclista es repartido en tres lugares de la bicicleta, los cuales son el sillín, el manillar y el pedal. En este artículo se intervendrá en la parte del pedal, cuya posición es importante, así como su inclinación (Peveler, 2009). Y es que la mayoría de las personas no tienen un pie neutro, como vieron Garbalosa et al. (1994), en un población de 120 participantes, donde el 85% tenían los pies supinadores, el 10% eran pronadores y el 5% neutros. Por ello, el pedal ha de ser acoplado a las necesidades que demande el ciclista según su propia biomecánica.

La mejora en el rendimiento tras haber corregido esta desviación a nivel del pedal, la ven multitud de artículos donde se implantan ortesis, o se cambia la posición de la cala en función de las necesidades individuales (Hice et al. ,1985; Koch et al., 2013, Moran y McGlinn, 1995). Sin embargo el cambio producido por la implantación de una cuña para corregir esta postura, hasta nuestro conocimiento solo se ha estudiado en un artículo (Dinsdale y Williams, 2010), donde se valoró el cambio de rendimiento a través de la potencia desarrollada en un test anaeróbico.

En nuestro trabajo mediremos la eficiencia aeróbica, ya que en un deporte como este es un predictor del rendimiento, pues el ciclismo es considerado un deporte de larga duración, llegando a pruebas de 7 horas, donde alrededor del 70% del tiempo se realiza por debajo del umbral aeróbico tal como dijo Lucía et al. (1999). Si bien es cierto que depende mucho del tipo de etapa, pues la intensidad aumenta considerablemente en etapas con perfil montañosa y contrarreloj.

Creemos que el cambio en la eficiencia tras la implantación de una cuña, está poco estudiado en la literatura, ya que entre los ciclistas parece ser que hay un número importante que los utiliza. En cambio sí podemos encontrar la medida de la eficiencia con la implantación de ortesis, como en los artículos de Anderson y Sockler (1990), e Hice et al. (1985), aunque en ambos con resultados contradictorios, si bien tenían en común que medían tanto la eficiencia con la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno.

La cinemática es un aspecto también importante pues se supone tal como dijo Dinsdale y Williams (2010), que la mejora en el rendimiento podría deberse a un cambio en las angulaciones de los miembros inferiores, al corregir la prono-supinación que se daba en la articulación de la cadera, rodilla y tobillo, sin embargo ellos no lo estudiaron. En cambio O'Neill, Graham, Moresi, Perry y Kuah (2011), sí que la estudiaron y solo vieron una tendencia significativa en cuanto a la rotación tibial, sin embargo concluyeron que la implantación de ortesis como hicieron en su estudio no producía un cambio en la cinemática de los ciclistas. Además Bini, Dagnese, Rocha, Silveira, Carpes y Mota (2016) vieron como independientemente de la potencia desarrollada la cinemática no variaba de manera significativa.

El objetivo de este estudio fue comprobar si existe una mejoría de la eficiencia con la implantación de la cuña, a aquellas personas que lo necesiten por su grado de supinación o pronación. Además de ver si existe una mayor mejora de rendimiento con una mayor corrección. También vimos el cambio que producía en la cinemática de los segmentos de las extremidades inferiores, lo cual podría llevar a una prevención de lesiones, aunque esto no se puede afirmar, ya que las lesiones comienzan a ser sintomáticas con el paso del tiempo.

VALORACIÓN TRAS LA IMPLANTACIÓN DE UNA CUÑA 3

Por ello nuestra hipótesis, es que para gente supinadora y pronadora la implantación de estas cuñas, les provocará una mejora en la eficiencia ciclista, debido a una alineación biomecánica y que esta mejora será mayor según sea mayor el grado de pronación o supinación.

Método

Muestra

El único criterio de inclusión que tenían que cumplir los participantes era el de tener al menos un año de experiencia en deportes donde se utilice una bicicleta.

En este estudio se contó con 8 sujetos de los cuales ciclistas (n=4) y triatletas (n=4), pertenecientes al grupo de ciclistas bien entrenados (n=5) y entrenados (n=3), siguiendo los criterios de frecuencia y duración de entrenamiento, según la clasificación que hicieron Jeukendrup y Hawley (2000), como vemos en la tabla 1. Las características de la muestra fueron de 33 ± 9.59 años de edad, con una altura 1.78 ± 0.06 m y con un peso 74.06 ± 8.69 kg y con una experiencia de entrenamiento de 8.88 ± 5.46 años.

Categoría	Ciclistas entrenados	Bien entrenados	Élite	Clase mundial
Entrenamiento y estatus				
Frecuencia entrenamiento (sesiones/semana)	2-3	3-7	5-8	5-8
Duración entrenamiento (min)	30-60	60-240	60-360	60-360
Años de entrenamiento	1	3-5	5-15	5-30
Días de carrera/ Año	0-10	0-20	50-100	90-110
Ranking UCI			Entre los 2000	Entre los 200

Tabla 1. Distribución de la muestra según Jeukendrup y Hawley (2000).

Instrumento de medida

Para valorar el grado de pronación o supinación que tienen los sujetos desde el retropié hasta el eje metatarsal, se utilizó un goniómetro.

Para establecer la potencia requerida en cada situación contamos con el rodillo y potenciómetro Wahoo® KICKR Power Trainer, validado por Zadow, Kitic, Wu, Smith y Fell (2016), aunque es cierto que este instrumento tiene cierto error en potencias inferiores a 200 W o superiores a 700 W, y en cadencias por debajo de 80 rpm o superiores a 120 rpm.

Para recoger todas las variables respiratorias y metabólicas se utilizó el analizador de gases Master Screen® CPX (Jaeger, Friedberg, Alemania), al igual que se utilizó el pulsometro Garmin® Premium Heart Rate Monitor para recoger la frecuencia cardiaca. Además se controló la cadencia con el cadencímetro y velocímetro mediante el Wahoo® Fitness Blue SC.

También realizaremos el análisis de la cinemática a través de sistema de captura del movimiento 3D en tiempo real Vicon®MX T-10, compuesta por 8 cámaras de luz infrarroja de captura de la imagen de 200 HZ y 24 marcadores esféricos reflectantes colocadas en ambas extremidades inferiores (Figura 1.).

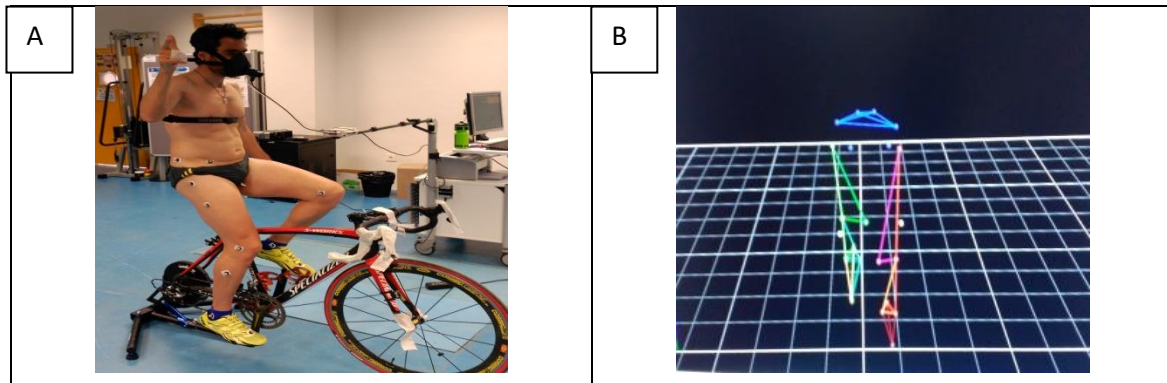


Figura 1. Sistema Vicon®MX T-10: A) Posicionamiento de Marcadores; B) Captura de Movimiento.

Protocolo

Previo a los registros, los participantes en el estudio deberán rellenar un consentimiento informado.

Primero se realizó unas mediciones para ver el grado de pronación o supinación que tienen los sujetos, según el protocolo descrito por Garbalosa, McClure, Catlin, y Wooden en 1994.

Según los grados de pronación se variarán el grado de inclinación de la cuña de control de variedad para Look, Time, Speedplay y Shimano Road de Custom® que se coloque, siendo 5º o 10º, según el grado de desviación del retropie respecto al antepie, con los criterios mostrados en la Tabla.2.

Ángulo de pronación o supinación (º)	Grado de la cuña incorporada
2.5-7.5	5º
>7.5	10º

Tabla.2. Grado de cuña incorporada según ángulo de pronación.

Seguidamente después de valorar el ángulo de pronación/supinación, se colocaron los diferentes marcadores. Utilizamos un modelo donde colocamos 24 marcadores situados en cada espina iliaca anterior y posterior, otro colocada a mitad de cada espina iliaca anterior y posterior, trocánter, región femoral, cóndilo femoral externo e interno, región tibial, maléolo externo e interno, 2º metatarsiano y talón.

Posteriormente iniciamos el análisis del rendimiento y la cinemática, que será realizado en su propia bici y sus zapatillas. Primero el sujeto realizará un calentamiento de 10 min a 1 W/kg. Posteriormente, el sujeto se colocará a pedalear encima de la bici a una potencia de 2 W/kg, durante 6 min, ya que nos interesa ver la eficiencia a nivel aeróbico, ya que a nivel anaeróbico hay una relación negativa entre eficiencia y trabajo requerido (Lutanen et al. 1987), y Padilla et al. (1998), situó el nivel del Umbral de Lactato, entre 4.5-5 W/kg en ciclistas de clase mundial, por lo que queremos estar por debajo.

VALORACIÓN TRAS LA IMPLANTACIÓN DE UNA CUÑA 5

Una vez el sujeto pedalee a esta intensidad será controlado tanto su frecuencia cardiaca y su consumo de oxígeno, donde durante los primeros 3 min servirán para adaptarse y estabilizar ambas variables, y los últimos 3 min serán los datos que se analizarán.

El test será de una corta duración, ya que a partir de 30 minutos el componente lento del consumo de oxígeno empieza a afectar a la frecuencia cardiaca y al consumo de oxígeno y debido a la fatiga, ambas empiezan a incrementarse (Hopker, O'Grady y Pageaux, 2016;) y que como dijo Ettema y Loras (2009), la eficiencia tendía a medirse con intensidades constantes y de corta duración. Además para la cinemática también es importante que no cause fatiga alta pues Sayers, Tweddle, Every y Wiegand (2012), vieron como la fatiga podía alterar la cinemática en la flexo-extensión de tobillo y cadera.

Durante este periodo el ciclista habrá de pedalear a una cadencia constante de entre 90 y 95rpm, pues si bien es cierto que la cadencia tiene una baja influencia sobre la energía requerida para el gesto, ya que el mayor gasto es debido al trabajo requerido (McDaniel et al., 2002), puede ser un factor que afecte a la medición.

Este test se realizó en dos ocasiones, uno con cuña y otro sin ella y se dejó 5 min entre un test y otro. La muestra se contrabalanceó, la mitad realizó el test con cuña primero y la otra mitad lo hizo en segundo lugar.

Variables

Nuestra variable independiente fue la implantación de una cuña en las calas. Hubo dos variables dependientes, una fue la medición de la eficiencia aeróbica a través del consumo de oxígeno y la frecuencia cardiaca. La otra variable dependiente fue la corrección del grado de supinación o pronación en las distintas articulaciones de la pierna a través de la cinemática, observando su grado mínimo, máximo y promedio.

También hay variables contaminadoras que hemos controlado que pueden afectar a los resultados como la cadencia, controlada entre 90-95rpm; posición del centro de la cala en la zapatilla, al 43% de la longitud total del pie; distancia entre centro de los pedales, haciéndole coincidir con la distancia entre crestas iliacas; ingesta pre y durante la prueba, habiendo de venir al menos con una hora después de haber comido y prohibida la ingesta durante la prueba de cualquier substancia; y la temperatura del ambiente, siempre entre 21-22°C, así como la humedad al 40%.

Además se obtuvieron algunas medidas antropométricas a través de la báscula, el tallímetro, un calibre y una cinta métrica.

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se utilizó el software SPSS 18.0 para Windows.

Se calculó la media y la desviación estándar, en cada situación (con y sin cuña), de donde saldrán las tablas y figuras. También se estudiará la *d* de Cohen, entre ambas situaciones siendo considerado como 0.0-0.2 trivial, 0.2-0.6 pequeño, 0.6-1.2 moderado, 1.2-2.0 grande y más de 2.0 muy grande.

VALORACIÓN TRAS LA IMPLANTACIÓN DE UNA CUÑA 6

Durante el análisis estadístico primero se realizó un estudio de normalidad de la muestra, para posteriormente analizar, con una prueba t de student para muestras dependientes, la eficiencia desarrollada en el test sin cuña y en el test con cuña y el cambio en la cinemática debido a ambos test. Luego correlacionó el ángulo de pronación o supinación y el cambio de rendimiento en los sujetos.

Los datos serán significativos cuando $p < 0.05$ y serán descritos como tendencia cuando p esté entre 0.06 y 0.10.

Para la correlación se aceptará una alta correlación cuando la r de Pearson esté por encima de 0.7, media cuando esté entre 0.5 y 0.7 y baja cuando esté por debajo de 0.5.

Referencias

- Anderson, J.C. y Sockler, J.M. (1990). Effects of Orthoses on Selected Physiologic Parameters in Cycling. *Sports Medicine*, 80, 161-166.
- Astrom, A. y Arvidson, T. (1995). Alignment and joint motion in the normal foot, *Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 22, (5), 216-222.
- Bini, R., Dagnese, F., Rocha, E., Silveira, M.C., Carpes, F.P. y Mota, C.B. (2016). Three-dimensional kinematics of competitive and recreational cyclists across different workloads during cycling. *European Journal Of Sports Science*, en prensa.
- Clarsen, B. y Krosshau, T. (2010). Overuse Injury In Professional Road Cyclists. *The American Journal Of Sports Medicine*, 38, 2494-2501.
- De Koning, J.J., Noordhof, D.A., Lucia, A. y Foster, C. (2012). Factors Affecting Gross Efficiency in Cycling. *International Journal of Sports Medicine*, 33, 880-885.
- Dinsdale, N.J. y Williams, A.G. (2010). Can forefoot varus wedges enhance anaerobic cycling performance in untrained males with forefoot varus?, *Sport SPA*, 7, (2), 5-10.
- Ettema, G. y Loras, H.W. (2009). Efficiency in Cycling: A review. *Arbeitsphysiologie*, 106, 1-14.
- Garbalosa, J.C., McClure, M.H., Catlin, P.A. y Wooden, M. (1994). The frontal plane relationship of the forefoot to the rearfoot in an asymptomatic population, *Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 20, (4), 200-206.
- Gómez-Puerto, J.R., Edir Da Silva- Grigoletto, M., Hernán Viana- Montaner, B., Vaamonde, D. y Alvero-Cruz, J.R. (2008). La importancia de los ajustes de la bicicleta en la prevención de las lesiones en el ciclismo: aplicaciones prácticas. *Revista Andaluza Medicina del Deporte*, 1, (2), 73-81.
- Hennig, E.M. y Sanderson, D.J. (1995). In-shoe pressure distributions for cycling with two types of footwear at different mechanical loads. *Journal Of Applied biomechanics*, 11, 68-80.
- Hice, G.A., Kendrick, Z., Weeber, K. y Bray, J. (1985). The effect of Foot Orthoses on Oxygen Consumption While Cycling. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 75, 513-516.
- Holmes, J.C., Pruitt, A.L. y Whalen, N.J. (1994). Lower extremity overuse in bicycling. *Clinics in Sports Medicine*, 13, 1, 187-205.

VALORACIÓN TRAS LA IMPLANTACIÓN DE UNA CUÑA 7

- Hopker, J.G., O'Grady, C. y Pageaux, B. (2016). Prolonged constant load cycling exercise is associated with reduced gross efficiency and increased muscle oxygen uptake. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*,
- Jeukendrup, A. y Hawley, J. (2001). The Bioenergetics of World Class Cycling. *Journal of Science and medicine in sport*, 3, (4), 414-433.
- Jobson, S.A., Hopker, J.G. y Passfield, L. (2012). Gross Efficiency and Cycling Performance: A Brief Review. *Journal Science Cycling*, 1, (1), 3-8.
- Joseph, S., Modh-Johar, M.S.N. y Ganason, R. (2012). Anterior Knee Pain (Patellar Tendonitis) Management And Modification In Bike Fitting For A Track Cyclist. 30th Annual Conference Of Biomechanics In Sports.
- Koch, M., Frolich, M., Emrich, E. y Urhausen, A. (2013). The Impact Of Carbon Insoles In Cycling On Performance In The Wingate Test, *Journal Science Cycling*, 2, 2-5.
- Lucía, A., Hoyos, J., Carvajal, A., Chicharro, J.L. (1999). Heart rate response to professional road cycling: The Tour de France. *International Journal Sports Medicine*, 20, 167-172.
- Luhtanen, P., Rahkila, P., Rusko, H. y Viitasalo, J.T. (1987). Mechanical work and efficiency in ergometer bicycling at aerobic and aerobic thresholds. *Acta Physiologica Scandinavica*, 131, (3), 331-337.
- McDaniel, J., Durstine, J.C., Hand, G.A. y Martin, J.C. (2002). Determinants of Metabolic Cost During Submaximal Cycling. *Journal of Applied Physiology*, 93, 823-828.
- Moran, G.T. y McGlenn, G.H. (1995). The Effects Of Variation In The Pedal Interface On The Efficiency Of Cycling As Measured by Anaerobic Cost and Anaerobic Power, *Biomechanics In Sport*, 12, 105-109.
- O'Neill, B.C., Graham, K., Moresi, M., Perry, P. Kuah, D. (2011). Custom Formed Orthoses in Cycling. *Journal Science Medicine Sport*, 14, 529-534.
- Padilla, S., Mujika, I., Cuesta, G. y Goirienea, J.J. (1999). Level Ground and Uphill Cycling Ability in Professional Road Cycling. *Medicine & Science In Sports & College*, 31, 6, 875-885.
- Sanderson, D.J., Black, A. y Montgomery, J. (1994). The Effect of Varus and Valgus Wedges on Coronal Plane Knee Motion During Steady-Rate Cycling. *Clinical Journal Of Sport Medicine*, 4(2):120-124.
- Sayers, M., Tweddle, L., Every, J. y Wiegand, A. (2012). Changes in drive phase lower limb kinematics during a 60 min cycling time trial. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15, 2, 169-174.
- Sinclair, J., Hayley, V., Taylor, P.J., Hebron, J., Hurst, H.T. y Atkins, S. (2014). Effects of Varus Orthotics On Lower Extremity Kinematics During The Pedal Cycle. *Human Movement Science*, 15, 4, 226-231.
- Van Sickle Jr, J.R. y Hull, M.L. (2007). Is economy of Competitive cyclist affected by the anterior-posterior foot position on the pedal?. *Journal of Biomechanics*, 40, 1262-1267.
- Van der Walt, A., Janse van Rensburg, D.C., Fletcher, L., Grant, C.C. y Van der Walt, A.J. (2014). Non-traumatic injury profile of amateur cyclists: *South African Sports Medicine Association*, 24, (4), 119-122.

VALORACIÓN TRAS LA IMPLANTACIÓN DE UNA CUÑA 8

- Yeo, B.K. y Bonnao, D.R. (2014). The effect of foot orthoses and in-shoe wedges during cycling: A systematic review. *Journal of Foot and Ankle Research*, 7,(1),31.
- Zadow, E.K., Kitic. C.M., Wu, S.S.X., Smith, S.T. y Fell, J.W. (2016). Validity Of Power Settings of The Wahoo KICKR Power Trainer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, en prensa.

