
TÍTULO: “Validez, fiabilidad y utilidad de un test en velódromo para valorar la resistencia aerodinámica en ciclistas profesionales”.

AUTORES: García-López J, Díez-Leal S, Rodríguez-Marroyo JA, Larrazabal J, Cuesta G, 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 València. ISBN: 978-84-936128-2-5. 2010.

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



VALIDEZ, FIABILIDAD Y UTILIDAD DE UN TEST EN VELÓDROMO PARA VALORAR LA RESISTENCIA AERODINÁMICA EN CICLISTAS PROFESIONALES

García-López J¹, Diez-Leal S¹, Rodríguez-Marroyo JA¹, Larrazabal J², Cuesta G², de Galdeano IG², Villa JG¹

¹ Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Instituto de Biomedicina. Universidad de León.

² Fundación Ciclista de Euskadi (Euskadiko Txirrindularitza Fundazioa).

RESUMEN. El objetivo del trabajo comprobar la validez y fiabilidad de un test de campo en velódromo para valorar la resistencia aerodinámica en ciclistas profesionales, y aplicarlo para disminuirla utilizando cambios en su postura en la bicicleta. Participaron 10 ciclistas profesionales (27.8 ± 2.2 años, 66.5 ± 5.0 kg y 1.79 ± 0.05 m), dos de los cuales fueron evaluados en un túnel de viento. Todos ellos realizaron dos tests en velódromo. 1-Progresivo: 7 estadios de 4 min con 1-2 min de recuperación, de 30 a 48 km/h, con la postura original. 2-Estable: 6 estadios de 11 vueltas al velódromo con 5 min de recuperación, a 45 km/h, probando dos veces la postura original y realizando 4 modificaciones de la misma. Durante los mismos, se monitorizó la potencia y velocidad de pedaleo, y la presión y temperatura atmosférica. Aplicando el modelo de Martin et al. (2006) se obtuvo el área frontal efectiva (S·Cx). La correlación del S·Cx obtenido en túnel-velódromo fue muy significativa ($r = 0.88$ y $p < 0.001$). El S·Cx en velódromo fue menor ($p < 0.01$) que en túnel. La velocidad del ensayo afectó al S·Cx ($F = 24.1$ y $p < 0.001$), disminuyendo su valor. El test de velódromo mostró una alta reproducibilidad ($r = 0.99$ y $p < 0.001$). El S·Cx disminuyó ($3.7 \pm 2.0\%$, $F = 28.7$ y $p < 0.001$) al modificar la postura de los ciclistas. El test de velódromo propuesto es válido y fiable; sin embargo, resultaría difícil comparar los valores de S·Cx obtenidos a distintas velocidades y/o en velódromos de diferentes características (pendiente del peralte y rugosidad de la superficie). Su principal utilidad es comparar a ciclistas que son valorados en condiciones similares de velocidad y velódromo, donde se ha mostrado sensible para detectar pequeños cambios en la resistencia aerodinámica, que muy posiblemente serán más realistas que los cambios encontrados en túnel de viento.

Palabras clave. Ciclismo de ruta, contrarreloj, resistencia aerodinámica, test de campo.

INTRODUCCIÓN

La resistencia aerodinámica influye directamente en el rendimiento del ciclismo de ruta, principalmente en las pruebas de contrarreloj individual y por equipos, donde a partir de 30 y 40 km/h representa aproximadamente un 80 y 90% de las fuerzas de resistencia, respectivamente. Se han utilizado diferentes métodos para valorar la resistencia aerodinámica en ciclismo: test de tracción, extrapolación de variables fisiológicas del laboratorio al campo, método de deceleración simplificada y túnel de viento (García-López, 2008). El túnel de viento ha sido considerado el método más válido y reproducible, y estudios previos han demostrado que algunos cambios en la posición de los ciclistas pueden disminuir la resistencia aerodinámica hasta en un 14%. Sin embargo, sus principales desventajas son el alto coste de las evaluaciones (más de 2000 €/hora) y la dificultad para reproducir el pedaleo y la conducción encima de la bicicleta (García-López et al., 2008).

En la última década se han diseñado y validado diferentes sistemas ubicados en los ejes de las bicicletas (e.g. SRM y Power Tap) capaces de medir directamente la potencia de pedaleo en condiciones de campo, y demostrando una alta sensibilidad y precisión (Martin et al., 1998; Gardner et al., 2004). Así, algunos estudios los han utilizado, solos o combinados con registros de resistencia aerodinámica del túnel de viento, con los siguientes fines: validación de un modelo de predicción de la potencia en ciclistas de ruta (Martin et

al., 1998); descripción de los requerimientos de potencia en pruebas de persecución en pista (individual y por equipos), desarrollando un modelo teórico para simular diferentes condiciones de las mismas (Broker et al., 1999); estimación de la potencia requerida en varios récords de la hora, estableciendo una altitud óptima para futuros intentos (Bassett et al., 1999); predicción de la velocidad a partir de la integración de la potencia en pruebas de aceleración máxima en ciclismo de pista (Martin et al., 2006a); determinación de la influencia de las características aerodinámicas del primer ciclista en el efecto drafting del segundo ciclista (Edwards et al., 2007). Tres de estos trabajos han medido la potencia durante pruebas realizadas en varios velódromos cubiertos (Bassett et al., 1999; Broker et al., 1999; Martin et al., 2006a), donde las condiciones atmosféricas son más fáciles de controlar que en entornos abiertos (Martin et al., 1998), y donde los ciclistas pueden pedalear a un ritmo estable, sin necesidad de parar y arrancar en cada repetición (Edwards et al., 2007). Martin et al. (1998 y 2006a) comparan los registros aerodinámicos del túnel de viento con los obtenidos en una pista de aeropuerto al aire libre, donde no existen curvas ni peraltes. Edwards et al. (2007) presentan valores de resistencia aerodinámica obtenidos a partir de la potencia de pedaleo registrada en una vía pública de 200 m, posiblemente descubierta (no se especifica en el estudio). Ningún estudio ha comparado el efecto de pedalear en velódromo en la relación potencia-velocidad, y su posible influencia en los registros aerodinámicos derivados de la potencia. Esto contrasta con el uso extendido de los tests de campo en velódromo para valorar la resistencia aerodinámica en ciclistas (Martin et al., 2006b). El objetivo general del trabajo comprobar la validez y fiabilidad de un test de campo en velódromo para valorar la resistencia aerodinámica en ciclistas profesionales, y posteriormente aplicarlo para disminuirla mediante algunos cambios en su postura sobre la bicicleta.

MATERIAL Y MÉTODO

En el estudio participaron 10 ciclistas profesionales que pertenecían al Equipo Ciclista Profesional UCI Pro Tour Euskaltel-Euskadi (27.8±2.2 años, 66.5±5.0 kg y 1.79±0.05 m). Dos de estos ciclistas fueron evaluados en seis series de pedaleo en un túnel de viento subsónico (San Diego Air & Space Technology Center, www.lswt.com/, USA) que ha sido utilizado en estudios previos que han demostrando su fiabilidad y sensibilidad (Brownlie et al., 2009). Durante el ensayo la velocidad del viento fue de 45 km/h, y pedalearon a una potencia de ~4.5 W/kg, con una cadencia de 90-100 rpm. En una misma sesión de trabajo todos los ciclistas realizaron dos tests en velódromo, con un descanso de 15 min entre ambos tests:

1-Prueba progresiva de 7 estadios de pedaleo estable durante 4 min, con descansos de 1-2 min entre estadios, comenzando a 30 km/h y finalizando a 48 km/h (incrementos de 3 km/h cada estadio). El ciclista utilizaba su posición original en la bicicleta.

2-Prueba de 6 estadios de pedaleo estable a 45 km/h durante 11 vueltas a un velódromo de 285.714 m de cuerda, con descansos de 5 min entre estadios. Durante los dos primeros estadios (test-retest, Posiciones 1 y 2) se mantuvo la posición original, y en los cuatro restantes se cambió la posición sobre la bicicleta, bajando y adelantando el manillar de triatlón de forma individualizada. Los cambios consistieron en: bajar la altura del manillar entre 1-2 cm respecto a la posición original (Posición 3); idem que la anterior adelantando el manillar 3-5 cm (Posición 4); bajar la altura del manillar entre 3-4 cm respecto a la posición original (Posición 5); idem que la anterior adelantando el manillar 3-5 cm (Posición 5). Los cambios en la postura para los dos ciclistas valorados en el túnel de viento fueron similares en el velódromo.

La potencia y velocidad de pedaleo en velódromo fue monitorizada a 1 Hz (SRM Powermeter versión Ciencia). Aplicando el modelo de Martin et al. (2006) se obtuvo el área frontal efectiva o coeficiente

aerodinámico (S·Cx), para lo cual fue necesario tener en cuenta la potencia total aprovechada (97.7%), el rozamiento por rodadura ($\mu_r= 0.0025$ y masa del sistema ciclista-bicicleta) y la densidad del aire obtenida a partir de la presión atmosférica y la temperatura durante el ensayo (Estación Oregon Scientific).

Los datos son presentados como media y desviación estándar de la media (Media \pm DE). La valoración del efecto del método utilizado (túnel de viento vs velódromo), la velocidad del ensayo (30-48 km/h) y la posición del ciclista en los registros de resistencia aerodinámica fue realizada mediante un análisis de la varianza para muestras repetidas (ANOVA), utilizando la prueba post-hoc de Newman-Keuls. Las correlaciones entre variables fueron analizadas mediante la prueba no paramétrica de Spearman. Niveles de significación estadística de las diferencias: *=p<0.05; **=p<0.01; ***=p<0.001.

RESULTADOS

Los registros de S·Cx obtenidos en el túnel de viento fueron mayores (p<0.01) que los obtenidos en velódromo (0.240 \pm 0.007 m² y 0.237 \pm 0.008, respectivamente). Sin embargo, la Figura 1A muestra que la correlación entre ambos métodos fue significativa (r= 0.88 y p<0.001). La velocidad del ensayo en velódromo afectó al S·Cx (F= 24.1 y p<0.001) disminuyendo progresivamente su valor (Figura 1B).

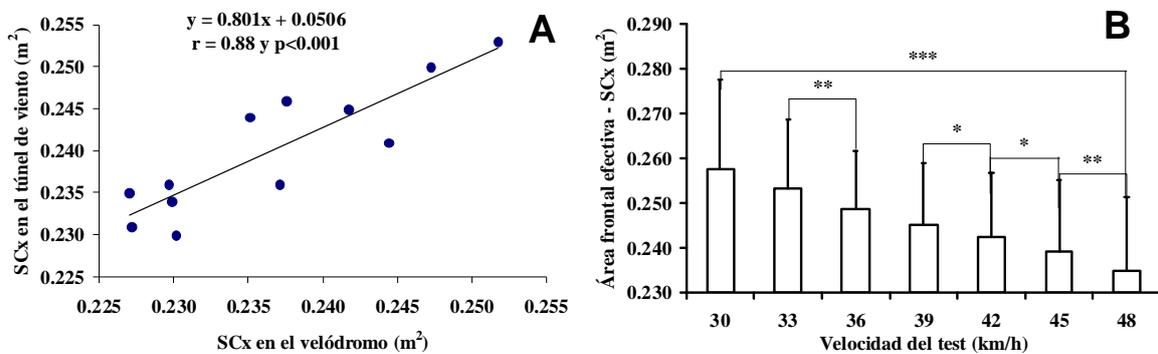


Figura 1A. Correlación entre el coeficiente aerodinámico (S·Cx) obtenido en túnel de viento y en velódromo. Figura 1B. Efecto de la velocidad del ensayo en el valor del S·Cx obtenido en el test de velódromo.

La Figura 2A muestra la correlación entre de las dos primeras pruebas en velódromo (r= 0.99 y p<0.001) realizadas en la misma postura. La Figura 2B muestra el efecto de la postura sobre la bicicleta en el valor del S·Cx (F= 10.1 y p<0.001). El mejor valor de S·Cx obtenido durante las pruebas fue significativamente menor (3.7 \pm 2.0% y p<0.001) que el de la posición original.

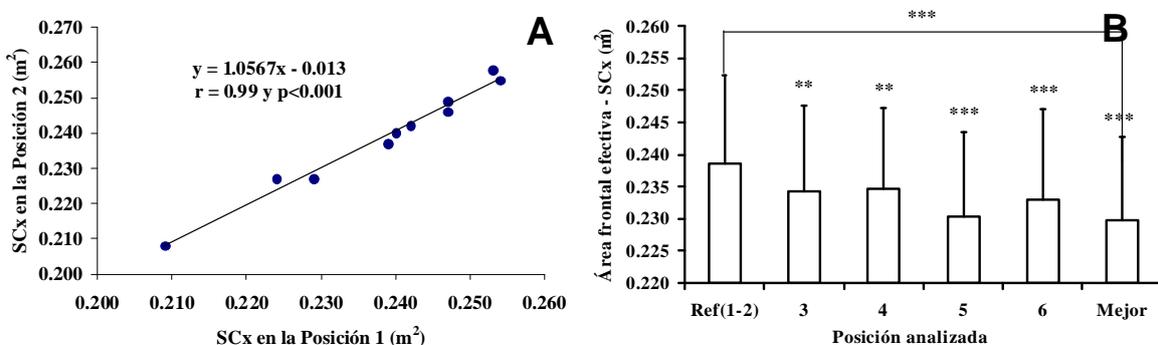


Figura 2A. Correlación entre el coeficiente aerodinámico (S·Cx) de las Posiciones 1 y 2 en velódromo. Figura 2B. Efecto de la posición ensayada en el valor del S·Cx obtenido en el test de velódromo. *Diferencias significativas respecto a las posiciones de referencia (Pos 1-2).

DISCUSIÓN

Este es el primer trabajo que muestra una relación entre los valores de aerodinámica obtenidos en túnel de viento y en velódromo. Los menores S-Cx obtenidos en velódromo, conjuntamente con el efecto de la velocidad del ensayo, pueden deberse a los peraltes en las curvas, lo que provoca que la velocidad de las ruedas sea mayor que la del sistema ciclista-bicicleta. Hasta donde llega nuestro conocimiento, Olds (2001) ha sido el primer y único autor en describir este fenómeno, que produce que la potencia desarrollada en las curvas sea menor que en las rectas. Este efecto es mayor a medida que se incrementa la velocidad, por su relación exponencial con la potencia de pedaleo (García-López et al., 2008). El test de velódromo ha mostrado una alta reproducibilidad, similar a descrita para el túnel de viento (García-López et al., 2008; Brownlie et al., 2009). Sin embargo, las modificaciones encontradas al seleccionar la mejor posición en el velódromo ($3.7\pm 2.0\%$) son menores que las encontradas en túnel de viento ($\sim 14\%$) cuando se siguió un procedimiento similar (García-López et al., 2008). Es bastante probable que las mejoras del velódromo sean más realistas que las observadas en túnel de viento, donde no se valora la influencia del cambio de postura en la técnica de conducción del ciclista, ya que la bicicleta permanece anclada al suelo en todo momento.

CONCLUSIONES

El test de velódromo propuesto es válido y fiable, porque sus resultados se relacionan con los obtenidos en túnel de viento y porque ofrece una alta consistencia en las medidas repetidas. Sin embargo, resultaría difícil comparar los valores de S-Cx obtenidos a distintas velocidades y/o en velódromos de diferentes características (pendiente del peralte y rugosidad de la superficie). Su principal utilidad es comparar a ciclistas que son valorados en condiciones similares de velocidad y velódromo, donde se ha mostrado sensible para detectar pequeños cambios en la resistencia aerodinámica, que muy posiblemente serán más realistas que los cambios encontrados en túnel de viento.

BIBLIOGRAFÍA

- Bassett DR, Kyle CR, Passfield L, Broker LP, Burke ER. (1999). Comparing cycling world hour records, 1967-1996: modelling with empirical data. *Med Sci Sports Exerc.* 31: 1665-1676.
- Broker JP, Kyle CR, Burke ER. (1999). Racing cyclist power requirements in 4000-m individual and team pursuits. *Med Sci Sports Exerc.* 31: 1677-1685.
- Edwards AG y Byrnes WC. (2007). Aerodynamic Characteristics as Determinants of the Drafting Effect in Cycling. *Med Sci Sports Exerc.* 39 (1): 170–176.
- García-López J, Rodríguez-Marroyo JA, Juneau CE, Peleteiro J, Martínez AC, Villa JG. (2008). Reference values and improvement of aerodynamic drag in professional cyclists. *J Sports Sci.* 26 (3): 277-86.
- Gardner AS, Stephens S, Martin DT, Lawton E, Lee H, Jenkins D. (2004). Accuracy of SRM and power tap power monitoring systems for bicycling. *Med Sci Sports Exerc.* 36: 1252-1258.
- Martin JC, Gardner AS, Barras M, Martin D. (2006a). Modeling Sprint Cycling Using Field-Derived Parameters and Forward Integration. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38 (3): 592–597.
- Martin JC, Gardner AS, Barras M, Martin D. (2006b). Aerodynamic Drag Area of Cyclists Determined with Field-Based Measures. *Sportscience.* 10: 68-69 (sportsci.org/2006/jcm.htm).
- Martin JC, Milliken DL, Cobb JE, McFadden KL, Coggan AR. (1998). Validation of a mathematical model for road cycling power. *J Appl Biomech.* 14: 276-291.
- Olds TS (2001). Modelling human locomotion. Applications to cycling. *Sports Med.* 31: 497-509.