

Article

Concordancia Entre los Potenciómetros Stages Cycling y SRM en un Ascenso Off Road Realizado en Condiciones de Campo

Howard T. Hurst, Stephen Atkins, Jonathan Sinclair y John Metcalfe

Division of Sport, Exercise and Nutritional Science, University of Central Lancashire, UK. United Kingdom

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar la concordancia entre dos potenciómetros portátiles para ciclismo con el fin de ser utilizados durante eventos de mountain bike en el campo. Un solo participante realizó 15 ascensos cronometrados en una subida off road. La bicicleta del participante fue equipada con los potenciómetros Stages Cycling y SRM. Utilizando ambos sistemas se realizó la determinación de la producción de potencia media y máxima y la cadencia media y máxima en intervalos de 1 segundo. Las diferencias significativas fueron establecidas mediante test t de muestras apareadas, mientras que la concordancia se estableció mediante el cálculo del sesgo, del error aleatorio y de los límites de concordancia de 95% (LoA). Se observaron diferencias significativas entre los dos sistemas en la producción de potencia media ($p < 0,001$), y el potenciómetro Stages subestimó la medición de potencia en $8 \pm 1\%$ en comparación con el potenciómetro SRM. El sesgo y el error aleatorio para la producción de potencia media fueron -18 ± 7 W (95% LoA = 12- 25 W por encima y por debajo de la media). El CV fue de 5,5% y 5,2%, para Stages y SRM, respectivamente. La producción de potencia máxima fue significativamente menor con el potenciómetro Stages ($p=0,02$), en un $6 \pm 1\%$ en comparación con el potenciómetro SRM. El sesgo y el error aleatorio para la producción de potencia máxima fueron 25 ± 74 W (95% LoA = 49-99 W por encima y por debajo de la media), mientras que CV fue de 13,7% y 13,1%, para Stages y SRM, respectivamente. No se observaron diferencias significativas en la cadencia media ni en la cadencia máxima, y el CV fueron $<3\%$ para la cadencia media en ambos sistemas y $<6\%$ para la cadencia máxima en ambos sistemas. Este estudio demostró que ambos potenciómetros son confiables para registrar la producción de potencia media y la cadencia media, pero los valores de potencia máxima fueron menos confiables. Por otra parte, el sistema Stages subestimó significativamente la producción de potencia media y máxima, en comparación con el sistema SRM. Esto podría deberse, en parte, a las diferencias en la configuración de los medidores de deformación y a los algoritmos que se utilizan luego para calcular la producción de potencia y las posibles influencias bilaterales sobre la producción de potencia.

Palabras Clave: ciclismo, producción de potencia, campo traviesa (off road)

INTRODUCCIÓN

Los potenciómetros para ciclismo portátiles se han utilizado desde hace casi 20 años para determinar las respuestas de producción de potencia y las adaptaciones al entrenamiento y a las competencias. Sin embargo, su uso ha estado restringido en gran medida a los corredores de élite, entrenadores y científicos del deporte debido al elevado costo que

tienen estos sistemas, frecuentemente por encima de £ 1000. Por otra parte se han desarrollado diferentes sistemas, tales como el sistema ubicado en el buje trasero *PowerTap* (*PowerTap, Madison, EE.UU.*), *Polar S710*, que consta de un sensor de vibración de cadena y un sensor de velocidad montados en la rueda del cambio trasero (*Polar Electro, Kempele, Finlandia*), *Ergomo Pro*, un sistema que se coloca en el pedallier (*Ergomo, Oppenheim, Alemania*) y el sistema de pedales *Look Keo* (*Look, Nevers, Francia*). Sin embargo, estos sistemas han demostrado ser no válidos pero confiables (Millet et al 2003; Hurst y Atkins 2006; Duc et al 2007; Kirkland et al 2008; Sparks et al 2014). El peso es otro factor importante en la elección de un potenciómetro, ya que estos sistemas a menudo añaden entre 240 a 650 g al peso de la bicicleta. Por lo tanto, es importante encontrar un potenciómetro barato y liviano. En la actualidad, el potenciómetro más popular es el potenciómetro de bielas SRM (*SRM, Jüllich, Alemania*). Este potenciómetro fue previamente validado y se considera el "sistema de referencia" (*gold standard*) de las mediciones de producción de potencia en ciclismo de ruta (Jones y Passfield 1998; Martin et al 1998; Lawton et al 1999; Balmer et al 2004), aunque pocos estudios han determinado la confiabilidad del SRM para ser utilizado en MTB. Sin embargo, el sistema es también uno de los más caros en el mercado ya que está valuado en aprox. £ 2000. El medidor de potencia SRM es un juego de bielas modificado que incorpora una serie de medidores de deformación (4-20 dependiendo del modelo utilizado) unidos al plato interior del juego de bielas. El desplazamiento angular del brazo de la biela es registrado por los medidores de tensión/deformación y es convertido en un valor de potencia proporcional a la fuerza de pedaleo. Luego esta señal se transmite a una unidad de control de potencia colocada sobre el manillar o a una computadora compatible con *GPS Cycling*. A partir de los datos de la unidad principal, es posible obtener datos tales como la potencia, cadencia, velocidad y frecuencia cardíaca y los mismos pueden ser descargados a una computadora personal.

Durante los últimos 5 años se ha producido un rápido aumento en el desarrollo de potenciómetros con un costo más accesible inferior a £1000. Uno de ellos es el potenciómetro *Stages Cycling*. A diferencia del sistema SRM, el potenciómetro *Stages* tiene ubicados los medidores de deformación en el la biela izquierda en una pequeña caja de plástico unida a la parte trasera del brazo de la biela. Debido a que el sistema mide la potencia solo en el lado izquierdo, el algoritmo para calcular la potencia consiste simplemente en multiplicar por dos este valor para obtener una lectura completa en ambos lados; izquierdo y derecho. El sistema también difiere del SRM en la forma en que determina la cadencia. El sistema *Stages* utiliza acelerómetros dentro de la misma carcasa, mientras que el sistema SRM utiliza un interruptor electromagnético ubicado dentro del círculo de pernos de los platos, que consta de dos elementos metálicos finos que entran en contacto entre sí con cada revolución de las bielas a medida que pasan por un imán fijado al pedallier del cuadro la bicicleta. En la descripción del *Stage Cycling* se afirma que el sistema mejora la velocidad de recogida de datos de cadencia y la precisión posterior, eliminando la necesidad de imanes y piezas móviles adicionales, tales como las que se utilizan para el método electromagnético de cadencia del SRM. Sin embargo, esta afirmación no ha sido validada. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue determinar el grado de concordancia entre las variantes de los sistemas de potenciómetros *Stages* y *SRM* para mountain bike durante una subida en un circuito *off road*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Participantes

El estudio fue realizado con un participante varón (edad 32 años; talla 173,2 cm; peso 72,6 kg). Un solo participante se consideró apropiado porque esto nos aseguraba coherencia entre las pruebas. Además, el participante estaba completamente familiarizado con el recorrido utilizado y había entrenado allí en promedio dos veces por semana durante más de 4 años. Por lo tanto el uso de un único participante redujo el nivel de variabilidad entre las pruebas. El participante era un ciclista altamente entrenado, con experiencia en carreras de nivel nacional de más de 10 años. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Central Lancashire y cumplió con lo establecido en la Declaración de Helsinki y con las normas internacionales requeridas por el *Journal of Science and Cycling* (Harriss y Atkinson 2011). El participante recibió información verbalmente y por escrito sobre los procedimientos de prueba y dio su consentimiento informado por escrito.

Equipo

El participante utilizó una bicicleta de *mountain bike* de 29" con suspensión doble con 100 mm de suspensión trasera y equipada con una horquilla de suspensión delantera *Rock Shox Recon* de 120 mm (*Superlight 29, Santa Cruz Bicycles, EE.UU.*). Los sistemas de amortiguación se establecieron siguiendo las recomendaciones del fabricante para un ciclista 72-74 kg, lo que resultó en una presión de aire del amortiguador trasero de 150 psi y una presión del amortiguador delantero de 125 PSI. Ambos amortiguadores trabajaron en modo abierto durante todas las pruebas. La presión de ambos neumáticos fue de 35 PSI.

La bicicleta fue equipada con un potenciómetro de bielas *SRM Shimano XT 2x10 MTB* (*SRM, Jüllich, Alemania*). Este

sistema está formado por ocho galgas extensométricas alojadas dentro del círculo de pernos interior del pedallier y ha sido validado anteriormente, y por lo tanto se utilizó como medida de referencia de producción de potencia y de cadencia (Jones y Passfield 1998; Martin et al 1998; Lawton et al. 1999). Además, se colocó un potenciómetro *Stages Cyrcling Shimano XT* que reemplazó la biela izquierda (*Stages Cycling, Saddleback Ltd., Reino Unido*) para permitir la grabación simultánea de datos durante cada carrera. En la actualidad no se conoce el número de medidores de deformación utilizados en la biela *Stages*. Sin embargo, las declaraciones públicas de Stages acerca de que la complejidad (es decir, más medidores de deformación) no siempre es más precisa, pueden sugerir que poseen un menor número de medidores de deformación que los utilizados por el sistema SRM. La longitud de las bielas para ambos sistemas fue 175 mm. El sistema SRM fue conectado a un ordenador de bicicleta *Garmin Edge 510 GPS*, mientras que el medidor de potencia *Stages* fue conectado a un equipo *Garmin Edge 810*. El uso de diferentes ordenadores se debió a problemas de conexión cuando se intentó conectar los potenciómetros al mismo modelo de ordenador. Antes de cada carrera se realizó una calibración estática en ambos potenciómetros. Esto implicó la rotación de los potenciómetros varias veces para activar los sistemas y luego realizar la calibración de las computadoras Garmin. Aunque la posición de la biela era irrelevante en la calibración del potenciómetro SRM, en el *Stages* la misma debía ser ubicada en una posición equivalente a las 6 en punto. El peso total de la bicicleta fue 13,91 kg.

Protocolos

Las pruebas se realizaron en 3 días consecutivos en una subida *off road* formada principalmente por grava. La distancia y el ascenso vertical se registraron con las dos computadoras Garmin, la Edge 810 informó una distancia media de $1,59 \pm 0,02$ km y la Edge 510 informó una distancia media significativamente menor de $1,56 \pm 0,26$ kilómetros ($t_{(14)} = 6,29$; $p < 0,001$). Por otra parte el coeficiente de variación (CV) fue 1,25% y 1,67% para las computadoras 810 y 510, respectivamente, y por lo tanto se encontraba dentro de límites aceptables. Ambas unidades GPS reportaron un ascenso vertical de 100 m, y también mostraron una buena confiabilidad con CV de 0,12% y 0,16% para las 810 y 510, respectivamente. La pendiente de ascenso media fue del 6,1%, con una pendiente máxima de 12,7%. En la Figura 1 se presenta un perfil del recorrido obtenido con GPS. Aunque se encontraron diferencias entre las dos unidades de GPS, esta investigación no tenía el objetivo de evaluar las diferencias de concordancia entre los sistemas GPS. Además, la distancia registrada por las unidades era independiente de la producción de potencia y, por lo tanto, no tenía influencia sobre los datos recogidos por los potenciómetros.

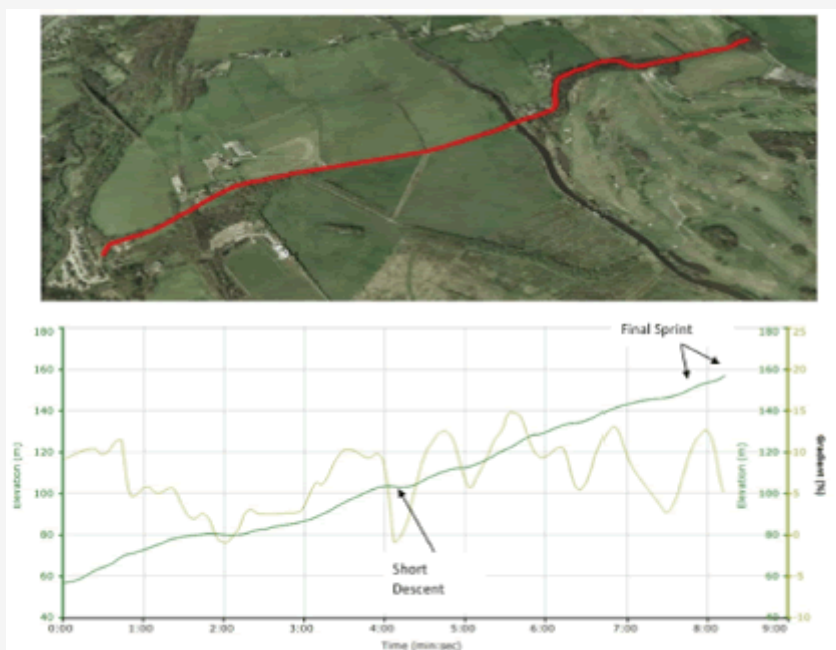


Figura 1. Perfil del recorrido establecido mediante GPS y porcentaje de pendiente.

Antes de cada sesión de prueba, el participante realizó una entrada en calor de 15 minutos a su propio ritmo, que consistió en ejercicios de ciclismo de baja intensidad y estiramientos dinámicos. Luego de esto, el participante realizó 5 subidas consistentemente cronometradas en cada una de las tres sesiones de prueba (15 repeticiones en total) con un ritmo de

carrera seleccionado por el participante. Cada prueba fue separada por 15 minutos para asegurar la recuperación completa y las sesiones se realizaron con una separación de 24 horas. Todas las pruebas fueron realizadas entre las 18:00-20:00 horas, en condiciones secas con una temperatura media de $12,3 \pm 3,1$ °C. Las variables registradas fueron producción de potencia media, producción de potencia máxima, cadencia media y cadencia máxima determinadas en ambos sistemas y posteriormente fueron analizadas para establecer si existían diferencias estadísticas.

Análisis Estadísticos

La normalidad de los datos se confirmó mediante el test de Kolmogorov-Smirnov. Antes de los análisis, los datos fueron descargados del software en línea *Garmin Connect* y luego se determinaron los datos medios y máximos de cada prueba. Estos datos fueron analizados estadísticamente con SPSS 20 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE.UU.). Se utilizaron test *t* de muestras pareadas para determinar las diferencias significativas entre medias. Se comprobó heterocedasticidad de los datos mediante correlación de las diferencias absolutas entre las mediciones de potencia y cadencia del *Stages* y del *SRM* contra la potencia y cadencia medias, siguiendo la metodología establecida en Atkinson y Nevill (1998). Este análisis reveló la ausencia de heterocedasticidad, por lo tanto, los datos no fueron transformados logarítmicamente y se determinaron los límites absolutos de concordancia. Los límites de concordancia de 95% se determinaron utilizando el método de Bland-Altman (Bland y Altman 1986). Las diferencias en la producción y la cadencia fueron calculadas en relación con los valores medios ($\text{Stages} + \text{SRM}$) / 2, y era esperable que el 95% de las diferencias se ubicaran dentro de los dos límites de concordancia, definidos como la diferencia media $\pm 1,96 * \text{sd}$, expresados en forma de sesgo $\pm$ error aleatorio. Estos métodos fueron utilizados previamente por Hurst y Atkins (2.006) y Duc et al. (2007) para comparaciones similares de potenciómetros para ciclismo.

La fiabilidad de los dos potenciómetros se determinó utilizando el coeficiente de variación medio (CV) de las 15 pruebas para cada variable, y el mismo se calculó como la desviación estándar (SD) dividida por la media multiplicada por 100, y fue informado por separado para cada potenciómetro. La significancia estadística se fijó en un nivel alfa de $p \leq 0,05$.

RESULTADOS

Cuando se obtuvo el promedio de los datos de los 15 ascensos se observaron diferencias significativas en la producción de potencia media entre los sistemas *Stages* y *SRM* ($t_{(14)} = -21,05$; $p < 0,001$), y además se observó que el potenciómetro *Stages* había subestimado la potencia media en aprox. $8 \pm 1\%$ en comparación al potenciómetro *SRM*. La producción de potencia media fue 210 ± 12 W y 228 ± 12 W para *Stages* y *SRM*, respectivamente. La Figura 2 muestra los cambios temporales en la producción de potencia para cada sistema cuando se promedia en intervalos de 1 segundo.

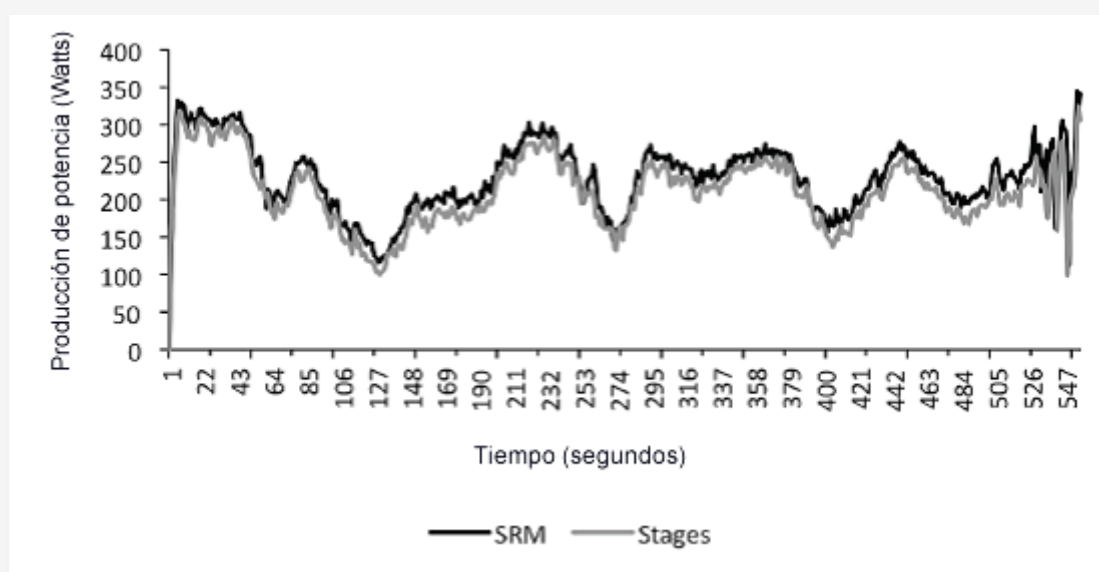


Figura 2. Producción de potencia promedio en intervalos de 1 segundo para los potenciómetros SRM y Stages

El sesgo y el error aleatorio para producción de potencia media entre los dos sistemas fue -18 ± 7 , con un límite de concordancia de 95% de 12 W por encima de la media hasta 25 W por debajo de la media. El gráfico de Bland-Altman que se presenta en la Figura 3 demuestra que todas las diferencias entre las dos medidas se ubicaron dentro de los límites establecidos por el valor $\pm 1,96 \cdot sd$ de la media de las diferencias. Los CV para el registro de la producción de potencia media fueron 5,5% y 5,1%, para *Stages* y *SRM*, respectivamente. También se registraron diferencias significativas en la producción de potencia máxima entre los dos sistemas ($t_{(14)} = -2,55$; $p=0,02$). El potenciómetro *Stages* informó valores máximos $6 \pm 1\%$ más bajos que los de *SRM*, y la potencia máxima media fue 432 ± 59 W y 456 ± 59 W para *Stages* y *SRM*, respectivamente. El sesgo y el error aleatorio para la producción de potencia máxima entre los dos sistemas fue 25 ± 74 años, con un límite de concordancia de 95% de 49 W por encima de la media hasta 99 W por debajo de la media. El gráfico de Bland-Altman que se presenta en la Figura 4 muestra una vez más que todas las diferencias entre las dos medidas se situaron dentro del límite establecido por $\pm 1,96 \cdot sd$ de la media de las diferencias. Los CV de la potencia máxima fueron 13,7% y 13,1%, para *Stages* y *SRM* respectivamente.

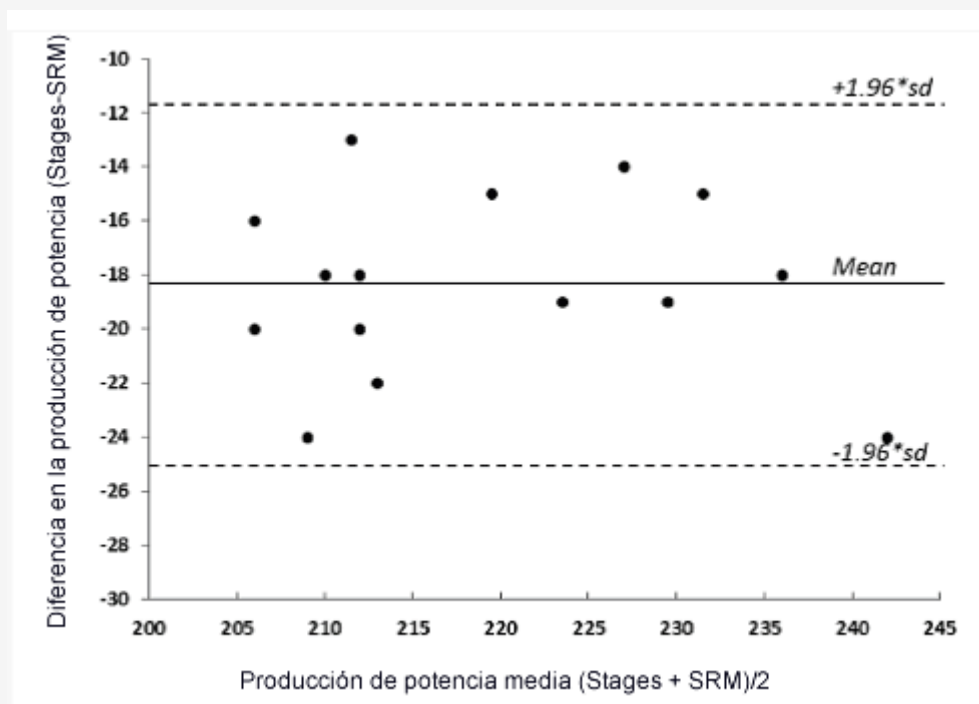


Figura 3. Gráfico de Bland-Altman de las diferencias en la producción de potencia media entre los sistemas *Stages* y *SRM* en función de la producción de potencia media de los dos sistemas.

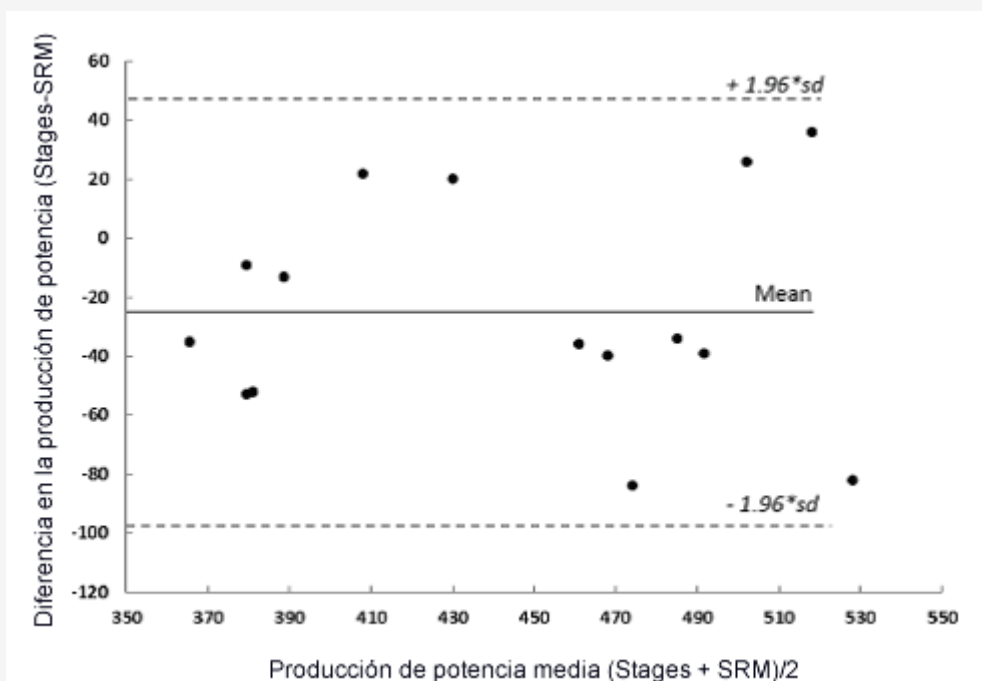


Figura 4. Gráfico de Bland-Altman de las diferencias en la producción de potencia máxima entre los sistemas Stages y SRM en función de la potencia máxima media obtenida con los dos sistemas.

Los datos promedio de los 15 ascensos revelaron diferencias significativas en la cadencia media entre los potenciómetros Stages y SRM ($t_{(14)} = -3,06$; $p=0,009$), a pesar de que los valores medios fueron de $75 \pm 2 \text{ rev min}^{-1}$ y $76 \pm 2 \text{ rpm. min}^{-1}$ para Stages y SRM, respectivamente. Sin embargo, el error estándar de la media (SEM) fue sólo 0,13 para la cadencia media, y podría explicar esta aparente anomalía. La Figura 5 presenta los cambios a lo largo del tiempo en la cadencia de cada sistema cuando se promedia en intervalos de 1 segundo. El valor de sesgo y error aleatorio para la cadencia media entre los dos sistemas fue $-0,4 \pm 1$, con un límite de concordancia de 95% de $0,6 \text{ rev min}^{-1}$ por encima de la media hasta 1 rev min^{-1} por debajo de la media. Todas las diferencias entre las dos medidas se ubicaron dentro de los límites establecidos por el valor $\pm 1,96 * \text{sd}$ de la media de las diferencias. Los CV para la cadencia media fueron 3,0% y 2,7% para los potenciómetros Stages y SRM respectivamente.

No se observaron diferencias significativas en la cadencia máxima entre los dos sistemas ($t(14) = 0,36$; $p>0,05$). La cadencia máxima promedio fue de $102 \pm 6 \text{ rev min}^{-1}$ y $102 \pm 5 \text{ rev min}^{-1}$ para el Stages y el SRM respectivamente. El valor de sesgo y el error aleatorio para la cadencia máxima fue $0,3 \pm 6$, con un límite de concordancia 95% de 6 rev min^{-1} por encima de la media hasta 5 rev min^{-1} por debajo de la media. Todas excepto una de las diferencias en la cadencia máxima entre los dos sistemas se ubicaron dentro de los límites establecidos por el valor $\pm 1,96 * \text{sd}$ de las diferencias de medias. Los CV para la cadencia máxima fueron 5,7% y 4,7%, para Stages y SRM, respectivamente.

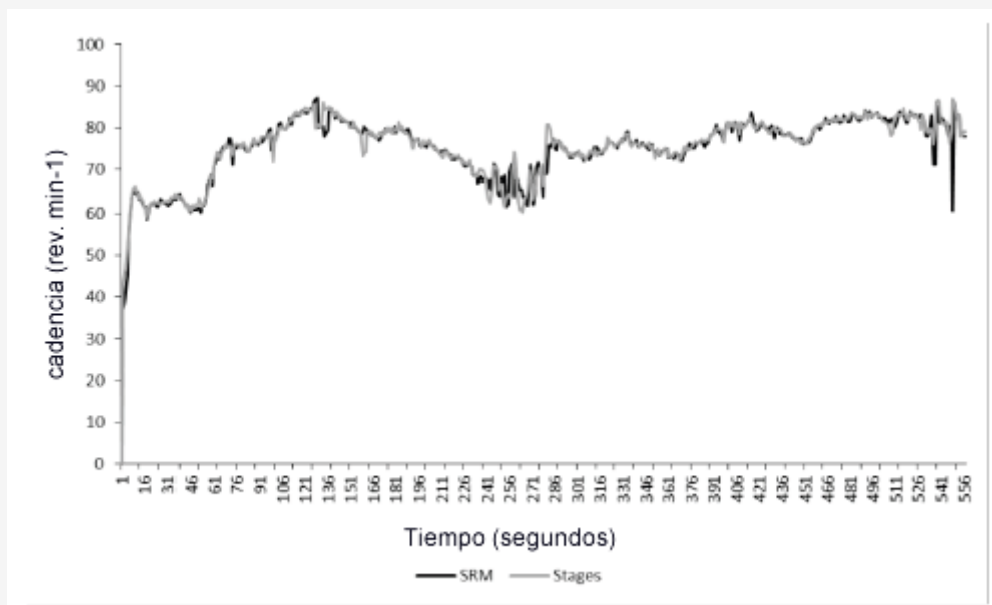


Figura 5. Cadencia media promedio en intervalos de 1 segundo para los potenciómetros SRM y Stages.

DISCUSIÓN

En todas las disciplinas de ciclismo, es importante contar con una determinación precisa y una correcta expresión de la producción de potencia para lograr una mayor calidad de entrenamiento y una mejor optimización del rendimiento subsiguiente. En el presente estudio, se comparó la concordancia entre dos potenciómetros portátiles comúnmente disponibles y que están adaptados para ser utilizados en disciplinas como el ciclismo de montaña.

Se considera que el sistema medidor de potencia SRM arroja mediciones válidas y confiables de potencia y cadencia durante los ejercicios de ciclismo y, frecuentemente es considerado el "sistema de medición de referencia" entre los sistemas portátiles, para las condiciones de ciclismo en particular (Jones y Passfield 1998; Martin et al., 1998; Lawton et al 1999). Está claro que el sistema emergente *Stages Cycling* no presenta concordancia el medidor de potencia SRM, y subestima la producción de potencia en un 8% en promedio, cuando se realizan ejercicios de ascenso *off road*. Una falta de concordancia similar se evidenció cuando se compararon las producciones de potencia máxima durante el mismo ascenso. Van Praagh et al. (1992) propusieron que para un potenciómetro sea considerado preciso y confiable, los datos deben estar dentro de un margen de error del 5 por ciento. Sin embargo, con excepción de la cadencia media y la cadencia máxima para el SRM, ambos sistemas revelaron coeficientes de variación que se ubicaron por encima de este umbral propuesto del 5 por ciento. Al comparar el resultado de este trabajo de investigación con las investigaciones previas sobre concordancia entre potenciómetros para ciclismo, se observa que el CV fue mayor que el reportado para los sistemas *PowerTap* para bujes (CV=2,1%), Polar S710 (CV = 2,2%) y *Ergomo Pro* (CV = 4.1%) (Bertucci y otros, 2005; Millet et al., 2003, Duc et al 2007). Por otra parte, Bertucci, Crequy y Chiementin (2013) analizaron la posibilidad de utilizar el potenciómetro *G-Cog* en BMX. Al igual que MTB, BMX se caracteriza por ser una actividad de ciclismo de alta intensidad intermitente. Sin embargo, Bertucci et al. (2013) observaron mayores CV para el potenciómetro *G-Cog* BMX que los informados en el presente estudio. El *G-Cog* presentó un CV de 27% para los esprints realizados en el campo y entre el 50 y el 65% para las pruebas realizadas en laboratorio, lo que de muestra que el sistema no es válido ni reproducible.

Por lo tanto no se puede garantizar una comparación directa con los estudios mencionados previamente. Dado que estos estudios utilizaron pruebas de laboratorio, (aunque Bertucci et al. (2013) realizaron pruebas en el campo) las condiciones deben haber sido mucho más consistentes y controlables que las del presente estudio realizado en el campo. Sin embargo, tales pruebas realizadas en el laboratorio tienen una "validez ecológica limitada, porque las condiciones de campo no son tan fácilmente repetibles, y por lo tanto las pruebas de laboratorio tienen esta limitación en su capacidad de determinar realmente la validez y la confiabilidad de los potenciómetros en los entornos del mundo real. Aunque cierta variabilidad es inevitable cuando se realizan pruebas en el campo, el presente estudio tuvo como objetivo reducir esta variabilidad tanto como sea posible mediante el uso de un solo ciclista entrenado que estaba muy familiarizado con el circuito de prueba.

Una posible razón de la menor confiabilidad informada en el presente estudio, es la influencia de las vibraciones del circuito. Los estudios anteriores se centraron en pruebas de laboratorio o en condiciones de ciclismo en ruta donde las vibraciones superficiales tienden a ser más estables que las observadas durante la actividad MTB *off road*. Esta suposición está sustentada por el hecho de que la producción de potencia fue más variable durante los últimos 30 segundos de la subida, lo que coincidió con una pendiente relativamente fuerte de 9%, que también era la sección más rocosa del recorrido. Por lo tanto, la mayor dificultad de esta sección podría haber reducido el contacto de la rueda con el suelo y haber producido una disminución de la confiabilidad de la transferencia de potencia hacia los potenciómetros debido a un aumento en la vibración de la cadena y como consecuencia, una reducción en la tensión de la cadena en las bielas. Jones y Passfield (1998) también informaron que la vibración dentro de un sistema accionado por cadena podría conducir a la reducción en la producción de potencia debido a las pérdidas por fricción. Estas pérdidas probablemente se incrementaron durante la actividad MTB.

Si bien la naturaleza rocosa de la sección superior del recorrido podría haber influido en cierto grado en la lectura de producción de potencia, el ritmo también podría haberla afectado. A pesar de que el participante se encargó de realizar las carreras a un ritmo de carrera establecido por el mismo, y el uso de un participante habría reducido potencialmente cualquier variación en los resultados, es muy poco probable que la producción de potencia haya sido exactamente la misma en cada sección de subida. Por lo tanto estas pequeñas variaciones en el ritmo también podrían haber contribuido con algunas de las diferencias observadas en la producción de potencia.

Los datos de ambos sistemas también revelaron una caída en la producción de potencia durante tres periodos de aproximadamente 20-30 s alrededor de los 80 s, 220 s y 380 s del ascenso. Estas caídas en la producción de potencia pueden nuevamente ser indicativas de una estrategia de ritmo utilizada por el participante, porque las caídas en la potencia coincidieron con secciones cortas y llanas del recorrido y en el caso de los datos en torno al punto de los 220 s coincidió con un descenso corto, inmediatamente antes de las secciones más duras y más pronunciadas.

En general, la potencia máxima fue subestimada por el potenciómetro *Stages*. Sin embargo, algunas veces el sesgo fue en dirección positiva, es decir, el *Stages* sobre estimó la potencia máxima. Las razones de esto no están claras, aunque podrían ser el resultado de diferencias en la ubicación del medidor de deformación, porque en el *Stages* se ubica en una pequeña área localizada en la biela izquierda mientras que en el SRM los medidores de deformación se sitúan alrededor del círculo de pernos interno del juego de bielas. Una disposición, como la utilizada en el *Stages* puede afectar más las mediciones de potencia durante los esfuerzos de esprint, y esto se puede observar en que el sesgo positivo se produjo principalmente durante el esprint final hacia la meta. Además, la cadencia también fue mayor en las etapas de este período de la carrera. Como resultado, algunos de los sesgos negativos podrían haber sido cancelados por el sesgo positivo; por lo tanto, es necesario tener cuidado al interpretar los datos de potencia máxima.

Entre los sistemas se observaron diferencias significativas en la cadencia media, pero no se observaron diferencias en la cadencia máxima. Sin embargo, esta diferencia debe ser analizada en su contexto, ya que a pesar de esto, los dos sistemas presentaron un alto grado de concordancia y confiabilidad. Por otra parte el error estándar de la media (SEM) fue sólo 0,13, y podría explicar esta aparente anomalía. Por lo tanto, nuestros resultados no apoyan la afirmación de que el uso de acelerometría para determinar la cadencia con el sistema *Stages* mejora la precisión de la determinación.

La ubicación del medidor de deformación es un aspecto fundamental. Las tecnologías aplicadas en los sistemas SRM y *Stages Cycling* pueden tener un impacto en la falta de concordancia entre los sistemas. Para determinar las fuerzas de pedaleo y predecir la producción de potencia real, generalmente se han utilizado sensores de deformación. Estos medidores de deformación están situados normalmente dentro del pedalier o círculo de pernos (ubicación proximal) o en las bielas (ubicación distal). El sistema SRM integra ocho medidores de deformación en el círculo de pernos del plato interior de las bielas, ubicado en el lado derecho del pedalier. En contraste, el sistema *Stages* tiene un número desconocido de medidores de deformación situados en la biela izquierda del pedalier.

A pesar de que Jones y Passfield (1998) demostraron que una elevada cantidad de medidores de deformación reduce la variabilidad en la adquisición de datos de los potenciómetros, la ubicación de los mismos también puede influir. Hasta la fecha, no hay datos publicados sobre las diferencias en la producción de potencia asociadas con las diferentes ubicaciones de los medidores de deformación dentro de la transmisión. La deformación de los medidores de deformación incorporados podría estar potencialmente sesgada debido a una localización proximal o distal, y a la rigidez relativa de la propia biela. El sistema *Stages* transformará fuerzas en la superficie de la biela en fuerzas tangenciales y radiales en la araña proximal. Con respecto a la rigidez de la biela, esta es una de las razones por la cuales *Stages* propone que su potenciómetro sólo funciona con bielas metálicas, porque las variantes de carbono no poseen las mismas propiedades de deformación que el metal y por lo tanto producen una mayor variabilidad en los datos.

Otro factor que puede haber influido en los resultados del presente estudio es el sesgo de la pierna izquierda vs el sesgo de la pierna derecha. El algoritmo utilizado para determinar la potencia del *Stages*, simplemente duplica el valor determinado

en la biela izquierda y, a continuación, obtiene un promedio. Esto puede crear problemas en situaciones en las que existe un desequilibrio de producción de fuerza contralateral.

Las acciones habituales que se realizan en ciclismo especialmente durante la escalada, requieren un esfuerzo de cooperación entre las dos piernas. Actualmente carecemos de información contemporánea que haya evaluado la potencia absoluta y relativa entre los lados derecho e izquierdo, en condiciones de campo. Una de las principales razones de esto está relacionada con la carencia de un medidor de potencia portátil realmente integrado que permita evaluar la simetría en la producción de potencia. En cambio, la mayoría de los potenciómetros portátiles, que utilizan la evaluación en el tren de transmisión delantero (bielas), suman los resultados determinados a partir de un solo lado. Esto crea problemas evidentes al considerar los posibles desequilibrios contralaterales en la producción de potencia. Aunque los sistemas *Garmin Vector* y *InfoCrank* tienen la posibilidad de informar el balance de potencia izquierda/derecha, estos sistemas todavía deben ser validados científicamente. Además, su uso está limitado a la actividad de ciclismo de ruta y no han sido utilizados en ciclismo de montaña. Se han observado asimetrías bilaterales en ciclistas (Smak et al., 1999), aunque estas asimetrías pueden disminuir cuando aumenta la carga de trabajo (Carpes et al 2010, 2011; Liu y Jensen, 2012). En el estudio actual, la carga de trabajo fue auto-seleccionada, aunque se le solicitó al participante que garantizara una intensidad de esfuerzo cercana al ritmo de carrera. Mediante el uso de un único ciclista experimentado en ciclismo de montaña, pudimos reducir la variabilidad potencial entre los corredores, sobre todo en relación con la aptitud y la aplicación técnica. Este enfoque ha sido utilizado previamente (Bertucci et al. 2005). Es necesario realizar investigaciones adicionales para determinar el papel de las asimetrías en la producción de fuerza muscular durante las pruebas realizadas en el campo. Mientras tanto, en ausencia de un medidor portátil viable para determinar las asimetrías, las determinaciones realizadas en el laboratorio del desbalance contralateral pueden ser útiles, antes de realizar las pruebas en el campo.

CONCLUSIONES

Nuestros resultados revelaron que el potenciómetro *Stages Cycling* subestimó significativamente tanto la producción de potencia media como la producción de potencia máxima en comparación con el potenciómetro *SRM*. Ambos sistemas coincidieron en la determinación de la cadencia media y de la cadencia máxima. Ambos valores medidos con el *Strage* superaron los niveles de precisión $\pm 2\%$ establecido por el fabricante. Hasta la fecha no se han publicado estudios que hayan evaluado la exactitud del innovador sistema *Stages Cyclin*, ya sea en ruta o en condiciones *off road*. El control de las condiciones de pedaleo en el campo, a través de la utilización de un único participante con experiencia y un recorrido reproducible en cada prueba, puede reducir la posibilidad de aparición posterior de sesgo en los datos. Similarmente, los aspectos relativos a la calibración y a la diferencia de temperatura pueden ser acomodados debido a que los dos sistemas deben ser llevados a cero antes de ser utilizados en las pruebas.

El potenciómetro *Stages Cycling* no es una solución económica y práctica para la determinación de la producción de potencia en ciclismo en el campo. Por otra parte, la confiabilidad del sistema es relativamente baja cuando se utiliza en ciclismo *off road*. Se necesitan más investigaciones para identificar las causas de la gran variación observada. Un desafío clave puede ser el algoritmo utilizado para determinar la producción de potencia. La suposición de que una simple “duplicación” de la producción de potencia determinada en la pierna izquierda, que normalmente no es la dominante en la mayoría de los ciclistas, no tiene en cuenta las probables asimetrías bilaterales. Sería beneficioso realizar posibles ajustes a este algoritmo. También es importante tener en cuenta, que si bien el sistema *SRM* ha sido frecuentemente catalogado como “equipo de referencia” para la evaluación de la producción de potencia y ha demostrado una alta confiabilidad en las pruebas de laboratorio y ciclismo de ruta, esto podría no ser cierto en aplicaciones de MTB. Nuestros resultados han demostrado que durante un ascenso *off road* no demasiado técnico, la influencia potencial de los accidentes del recorrido puede haber sido lo suficientemente grande como para reducir la tensión en el tren de transmisión, y por lo tanto disminuir la confiabilidad con la cual se aplica la fuerza al potenciómetro *SRM*.

Aplicaciones Prácticas

El presente estudio demuestra que existe variabilidad en el registro de los datos de los dos potenciómetros; *Stages Cycling* y *SRM* si se utilizan en eventos de ciclismo *off road*. Por lo tanto estos datos registrados con ambos potenciómetros deben ser utilizados con precaución en la interpretación de las cargas de entrenamiento. Los atletas y entrenadores también deben ser conscientes de la posible influencia que los desbalances musculares bilaterales pueden tener sobre la exactitud de los datos registrados.

REFERENCIAS

1. Atkinson G., Nevill, A.M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability). in *variables relevant to sports medicine*. *Sports Medicine*, 26: 217- 236.
2. Balmer J., Bird S.R., Davison R.C.R., Doherty M., Smith P.M. (2004). Mechanically braked Wingate powers: agreement between SRM, corrected and conventional methods of measurement. *Journal of Sports Science*, 22: 661-667.
3. Bertucci W., Crequy S., Chimentin X. (2013). Validity and reliability of the G-Cog BMX powermeter. *Internaional Journal of Sports Medicine*, 34: 538-543.
4. Bertucci W., Duc S., Villerius V., Pernin P.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: 868-873.
5. Bland J.M., Altman D.G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 1: 307-310.
6. 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): 136-142.
7. 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 Sciences*, 29(2): 151-159.
8. Chimentin X., Crequy S., Bertucci W. (2013). Validity and reliability of the G-Cog device for kinematic measurements. *International Journal of Sports Medicine*, 34(6): 538-548.
9. Duc S., Villerius V., Bertucci W., Grappe F. (2007). Validity and reproducibility of the Ergomo Pro power meter compared with SRM and Powertap power meters. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2: 270-281.
10. Harriss D.J., Atkinson G. (2011). Update - ethical standards in sport and exercise science research. *International Journal of Sports Medicine*, 32: 819.
11. Hurst H.T., Atkins S. (2006). Agreement between polar and SRM mobile ergometer systems during laboratory-based high-intensity, intermittent cycling activity. *Journal of Sports Sciences*, 24(8): 863-868.
12. Jones S.M., Passfield L. (1998). The dynamic calibration of bicycle power measuring cranks. In Haake, S.J. (ed). *The Engineering of Sport*, Oxford, Blackwell Science.265-274.
13. Kirkland A., Coleman D., Wiles J.D., Hopker J. (2008). Validity and reliability of the Ergomo Pro powermeter. *International Journal of Sports Medicine*. 29(11): 913-916.
14. Lawton E.W., Martin D.T., Lee H. (1999). Validation of SRM powercrank using dynamic calibration. *5th IOC World Congress on Sport Sciences, Sydney, Australia*. 31 Oct-5 Nov.
15. Liu T., Jensen J.L. (2012). Age-Related Differences in Bilateral Asymmetry in Cycling Performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 83(1): 114-119.
16. Martin J.C., Milliken D.C., Cobb J.E., McFadden K.L., Coggan A.R. (1998). Validation of a mathematical model for road cycling power. *Journal of Applied Biomechanics*, 14: 276-291.
17. Millet GP, Tronche C, Fuster N, Bentley DJ, Candau R (2003). Validity and reliability of the Polar S710 mobile cycling powermeter. *International Journal of Sports Medicine*. 24: 156-161.
18. Nunally J.C., Berstein I.H. (1994). Psychometric Theory. McGraw-Hill, New York, USA.
19. Smak W., Neptune R.R., Hull M.L. (1999). The influence of pedalling rate on bilateral asymmetry in cycling. *Journal of Biomechanics*. 32: 899-906.
20. Sparks S.A., Dove B, Bridge C.A., Midgely A.W., McNaughton L.R. (2014). Validity and reliability of the Look Keo power pedal system for measuring power output during incremental and repeated sprint cycling. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. [http://dx. doi.org/10.1123/ijspp.2013-0317](http://dx.doi.org/10.1123/ijspp.2013-0317)
21. Van Praagh E., Bedu M., Roddier .P, Coubert J. (1992). A simple calibration method for mechanically braked cycle ergometers. *International Journal of Sports Medicine*. 13(1): 27-30.

Cita Original

Howard T Hurst, Stephen Atkins, Jonathan Sinclair and John Metcalfe. (2015). Agreement Between the Stages Cycling and SRM Powermeter Systems during Field-Based Off-Road Climbing. *J. Sci .Cycling*. Vol. 4(1)., 21-27