

Article

Comparación entre la Exactitud Obtenida por Potenciómetros para Ciclismo y la Obtenida con un Modelo Matemático de Ciclismo en Cinta Rodante

Thomas Maier, Lucas Schmid, Beat Müller, Thomas Steiner y Jon Peter Wehrlin

Section for Elite Sport, Swiss Federal Institute of Sport, Magglingen, Switzerland

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue comparar la exactitud entre una gran cantidad de potenciómetros para ciclismo portátiles utilizados actualmente por los ciclistas de élite y recreativos, y la de un modelo matemático de ciclismo en cinta rodante basado en primeros principios. Se calibraron 54 potenciómetros utilizados por 32 ciclistas provenientes de 9 fabricantes. Mientras los ciclistas realizaban un descenso en una cinta rodante motorizada, se ajustó un sistema de retrotracción para contrarrestar la fuerza descendente. Luego el sistema fue cargado 3 veces con 4 pesos diferentes mientras que los ciclistas pedaleaban para mantener su posición. Se analizó la desviación media (veracidad) con respecto al modelo y coeficiente de variación (precisión). La desviación media de los potenciómetros fue de $-0,9 \pm 3,2\%$ (Media \pm DE) y 6 potenciómetros tuvieron una desviación superior a $\pm 5\%$. El coeficiente de variación de los potenciómetros fue $1,2 \pm 0,9\%$ (Media \pm DE), y Stages tuvo una variación mayor que la de SRM ($p < 0,001$) y PowerTap ($p < 0,001$). En conclusión, los potenciómetros que utilizan actualmente los ciclistas de elite y los ciclistas recreacionales tienen una variación de veracidad considerable; generalmente la precisión es alta pero existen diferencias entre los fabricantes. Para obtener mediciones exactas se recomienda calibrar y ajustar la veracidad de cada potenciómetro con respecto a una referencia basada en primeros principios.

Palabras Clave: calibración dinámica, validez, confiabilidad, error de medición

INTRODUCCIÓN

Los potenciómetros portátiles para ciclismo son ampliamente utilizados en varias disciplinas de ciclismo para supervisar el entrenamiento [15], para realizar tests de rendimiento en el campo [22], analizar competencias [26] o evaluar los cambios de equipamiento [17]. Estas aplicaciones exigen mediciones precisas de la producción de potencia, y además las ISO 5725 (Organización Internacional de Normalización, Suiza) definen la exactitud como la combinación entre veracidad y precisión.

Los procedimientos de calibración basados en primeros principios fueron desarrollados hace mucho tiempo para bicicletas

ergométricas [25], y la plataforma de calibración dinámica se estableció como un dispositivo de referencia (*gold standard*) para calibraciones de fábrica, junto con calibraciones estáticas. Esta mide el torque necesario para impulsar el eje de la manivela de una bicicleta ergométrica [19, 27]. Este método también se aplicó a los potenciómetros portátiles. Se ha demostrado que los dispositivos SRM y PowerTap arrojan mediciones precisas, aunque el error inicial de los dispositivos individuales varía [9]. La exactitud de un potenciómetro SRM fue confirmada adicionalmente para pruebas de potencia constante, pero se observó que disminuye en elevadas producciones de potencia [1].

Por otra parte, no todos los sistemas de potenciómetros pueden ser calibrados mediante una plataforma de calibración dinámica. Esta metodología falla si el potenciómetro mide la producción de potencia del ciclista antes de su transmisión a través del eje de la manivela (biela) tal como ocurre con los potenciómetros para pedal o manivela. Adicionalmente, la plataforma de calibración dinámica obliga al potenciómetro a operar en un ajuste artificial con un torque constante sobre el eje de la manivela, lo que difiere del perfil de torque oscilante de un ciclista que empuja alternativamente los pedales. Sería preferible calibrar el potenciómetro teniendo en cuenta el uso real por parte del ciclista.

En tal sentido, numerosos estudios han comparado potenciómetros instalándolos simultáneamente en la misma bicicleta y comparando sus mediciones. Los resultados arrojaron importantes variaciones con diferencias de 1,2 [5] a 16,5% [8], dependiendo de los potenciómetros utilizados, del rango de producción de potencia medida y de los protocolos de calibración [20]. Además de SRM y PowerTap, los potenciómetros Quarq [20] y Stages [13] fueron calibrados de esta manera. Sin embargo, esta configuración experimental carece de una referencia basada en primeros principios contra la cual comparar los potenciómetros.

Se ha demostrado que la producción de potencia durante los ejercicios deciclismo realizados en una cinta rodante con motor es altamente confiable [6]. Además, es posible calcular la potencia necesaria a través de un modelo matemático porque la mayoría de las fuerzas resistivas pueden ser cuantificadas directamente [7, 14, 18, 21]. La resistencia al rodamiento de los neumáticos suele ser la única variable desconocida y puede impedir la obtención de cálculos precisos [6, 11]. Si se conoce o se controla la resistencia al rodamiento, la producción de potencia calculada durante ciclismo en cinta rodante sería un parámetro prometedor como referencia basada en primeros principios para calibrar los potenciómetros.

Hasta el momento un solo estudio realizó el calibrado simultáneo de más de un potenciómetro [9]. Por lo tanto, tenemos una limitación de datos generalizables sobre la exactitud de los diferentes potenciómetros. Por otra parte, ningún estudio realizó la calibración de los potenciómetros Quarq y Stages utilizando un modelo de referencia basado en primeros principios. El objetivo de este estudio fue comparar la exactitud entre una gran cantidad de potenciómetros utilizados actualmente por ciclistas de élite y ciclistas recreacionales, y contrastarla contra un modelo matemático basado en primeros principios de ciclismo en cinta rodante.

MÉTODOS

Potenciómetros y ciclistas

Se calibraron un total de 54 potenciómetros (Tabla 1). Entre ellos 47 potenciómetros habían sido utilizados por 32 ciclistas (19 ciclistas de élite de la Selección Nacional y 13 ciclistas recreacionales), que participaron voluntariamente en el estudio. Los 7 potenciómetros restantes se utilizan actualmente en un laboratorio de ciencias del deporte (4 SRM Science, 2 PowerTap G3 y 1 PowerTap SL). Todos los potenciómetros fueron instalados en las bicicletas de montaña o de carretera de los ciclistas que participaron en el estudio.

La mayoría de los ciclistas estaban familiarizados con los ejercicios de ciclismo en cinta rodante por haber realizado previamente pruebas de rendimiento o entrenamiento, y 9 ciclistas sólo estaban familiarizados con una tarea similar que consistía en pedalear sobre rodillos.

Todos los ciclistas recibieron información escrita y oral sobre el objetivo y los procedimientos del estudio. Los participantes firmaron el formulario de consentimiento informado. El estudio fue aceptado por la junta de revisión institucional y cumplió con los estándares éticos del *International Journal of Sports Medicine* [10].

Tabla 1. Descripción de los potenciómetros que se utilizaron en el estudio

n	Fabricante	País	Modelo (n)	Ubicación en la bicicleta
12	SRM	Alemania	Science (4), Dura Ace (5), FSA (1), XX1 (2)	Araña (<i>Crank spider</i>)
10	PowerTap	USA	P1 (4), C3 (4), CS (1), SL (1)	Pedales (P1), Eje pasante (<i>Wheel hub</i>)
11	Quarq	USA	XX1 (8), SRAM Red (2), Elsa (1)	Araña (<i>Crank spider</i>)
13	Stages Cycling	USA	XTR (6), Rival (2), Dura Ace (2), Carbón (1), Ultegra 0), XT (1)	Brazo de la biela (solo izquierdo)
3	Verve Cycling	Australia	InfoCrank (3)	Brazo de la biela (izquierda y derecha)
2	power2max	Alemania	FSA (1), Ultegra (1)	Araña (<i>Crank spider</i>)
1	Garmin	USA	Vector (1)	Pedales
1	Polar	Finlandia	Kéo Power (1)	Pedales
1	Rotor	España	Power (1)	Brazo de la biela (izquierda y derecha)

Diseño del estudio

Todas las calibraciones se realizaron entre septiembre de 2015 y agosto de 2016.

Los ciclistas completaron el protocolo de calibración después de firmar el consentimiento informado. Los ciclistas que no estaban familiarizados con los ejercicios de ciclismo en cinta rodante realizaron previamente un entrenamiento de familiarización. Once ciclistas calibraron varios potenciómetros, pero en este estudio no se incluyó la recalibración de los potenciómetros. Todos los ciclistas, utilizaron a lo sumo un potenciómetro *Stages* en el estudio.

Protocolo de calibración

Antes de efectuar la calibración, se comprobó que la bicicleta estuviera correctamente posicionada y luego el ciclista realizó una entrada en calor libre de 10-15 min. A continuación se ajustó la pendiente de la cinta rodante en -1° , y se preparó el sistema de tracción trasera (Figura 1). Se instruyó a los ciclistas para que minimizaran los movimientos laterales durante la calibración y que pedalearan con una cadencia constante seleccionada por ellos mismos.

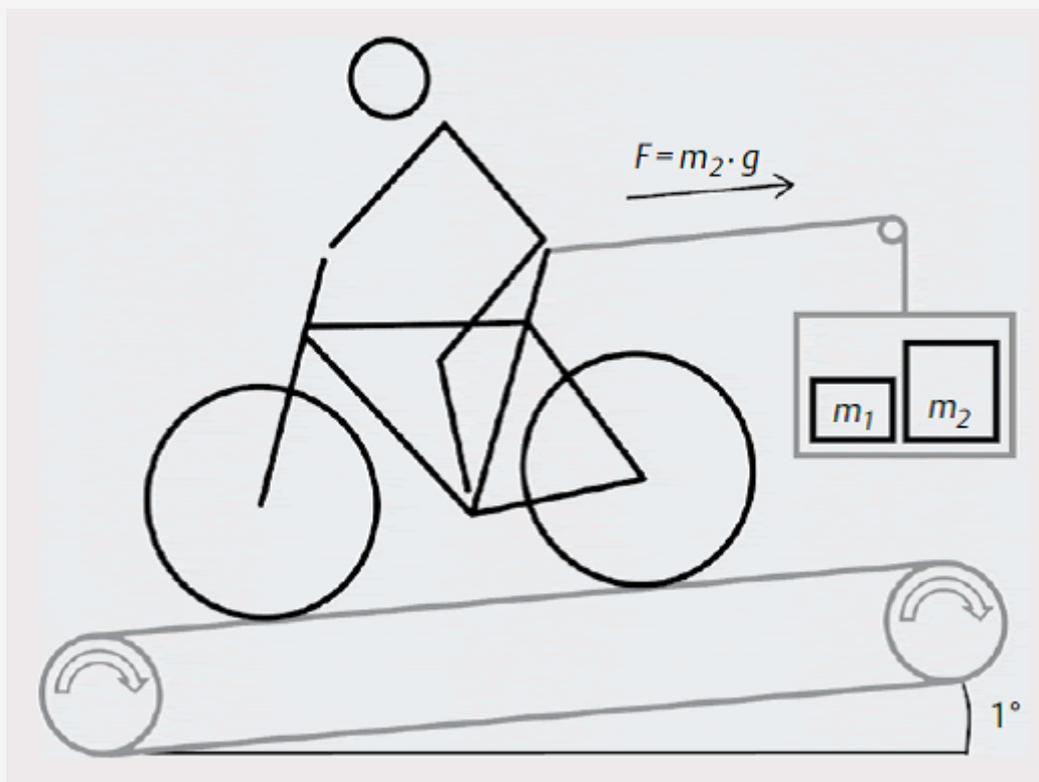


Figura 1. Establecimiento de la cinta rodante utilizada durante el protocolo de calibración con sistema de tracción trasera. m_1 = masa utilizada para contrarrestar la fuerza de descenso, m_2 = masa utilizada para las mediciones de calibración, F = fuerza de tracción trasera empleada para las mediciones de calibración; g = gravedad estándar.

Luego se repitió 3 veces el siguiente protocolo:

1. En los casos en que fuera necesario se reseteó contador de 0 (0 offset) del potenciómetro.
2. El sistema de tracción trasera se ajustó con una pequeña masa (m_1) para contrarrestar la fuerza de descenso producida mientras el ciclista se desplazaba (sin pedalear) cuesta abajo a una velocidad de 6 m/s. Esto permitió que el ciclista tuviera una posición estable sin movimiento hacia delante o hacia atrás en relación con el borde de la cinta rodante.
3. Utilizando la misma velocidad de 6 m/s el sistema de tracción trasera fue cargado adicionalmente con 4 masas diferentes (m_2) y a continuación el ciclista debía pedalear para mantener su posición (cualquier desplazamiento $< 0,2$ m). Se midió la producción de potencia de los ciclistas y se obtuvo el promedio durante 1 minuto en cada m_2 luego de otorgarle aproximadamente 15 seg al ciclista para adaptarse a la nueva carga.

El protocolo permitió la obtención de un total de 12 mediciones (3 repeticiones, 4 masas en el caso de m_2).

Configuración de las bicicletas

Se realizó un análisis de detección de cualquier fricción anómala que pudiera producirse en el sistema de transmisión y en la unidad de rodamiento de la rueda de cada bicicleta girando lentamente la manivela y las ruedas. Además se supervisó la correcta instalación del potenciómetro (por ejemplo, torque de instalación, colocación del imán de cadencia), el cumplimiento de los pasos de calibración sugeridos por el fabricante (por ejemplo, ajuste de pendiente en el dispositivo de grabación/registro, rutina de pedaleo en algunos sistemas basados en pedales) y se controló la transmisión de señal al dispositivo de grabación/registro. El dispositivo de registro se ajustó a una frecuencia de medición de 1 Hz, y el ajuste automático del proceso "0-offset" se desactivó en los casos en que fuera necesario.

Cinta rodante

Se utilizó una cinta rodante con motor (3x4 m, Poma, Alemania) equipada con una cinta de rodamiento adecuada para ciclismo. La velocidad exacta de la cinta rodante fue calibrada antes y después del estudio midiendo la longitud de la cinta de rodamiento y contando las revoluciones por intervalo de tiempo con diferentes velocidades fijadas.

Sistema de tracción trasera (retroceso)

Se utilizó un sistema de tracción trasera descrito previamente [6, 14] (Figura 1). Se ató una cuerda al sillín de la bici, la misma fue colocada sobre una polea giratoria libre ubicada detrás de cinta rodante y conectada a una cesta. La posición vertical y lateral de la polea se equiparó con la posición relativa del eje del sillín sobre la cinta de rodamiento. Para definir la posición lateral del ciclista se colocó un marcador visual delante de la cinta rodante.

Se utilizaron pequeñas masas (1- 50 g) para ajustar m1. Para ajustar m2, se utilizaron platos de pesas (1-2 kg) después de medir su masa exacta con una balanza de precisión calibrada (ICS425k, Mettler-Toledo, Suiza). Durante el protocolo de calibración, m2 fue fijada en 3, 4, 5, y 6 kg para producir las producciones de potencia requeridas de aproximadamente 180, 240, 300 y 360 W. En 6 ciclistas, se utilizaron m2 de 2, 3, 4 y 5 kg para disminuir la intensidad del protocolo de calibración. Las producciones de potencias utilizadas en el protocolo de calibración se utilizaron para cubrir diferentes intensidades y poder adaptarse a ciclistas de diferentes niveles.

Modelo matemático

La producción de potencia necesaria para el ciclista en cada m2 se calculó a partir de un modelo matemático. En el paso 2 del protocolo de calibración, el ciclista debía avanzar cuesta abajo sin pedalear. Mediante el ajuste de m1 se alcanzaba el equilibrio de fuerzas. En la etapa 3, la única fuerza que el ciclista debía superar era la fuerza gravitacional de la masa adicional m2 y la resistencia de fricción de la transmisión.

Existe limitada literatura científica sobre la eficiencia de los sistemas de transmisión de las bicicletas [24]. Después de mantener una comunicación personal con un experto en este campo (J. Smith, de Friction Facts, www.friction-facts.com), para la pérdida asociada a la transmisión se tuvo en cuenta un término constante y un término dependiente de la producción de potencia. El término constante cubre la pérdida por fricción en las poleas del cambio (~ 3 W), mientras que el término dependiente de la producción de potencia cubre las pérdidas por fricción en la parte superior de la cadena cargada (-1,5%).

Por lo tanto, el modelo final para calcular la producción de potencia (P_{calc}) fue $P_{calc} = m_2 \times g \times v / 0,985 + 3 \text{ W}$ (donde g = gravedad estándar y v = velocidad de la cinta de rodamiento). En el caso de los potenciómetros ubicados en el buje trasero (PowerTap C3, CS, SL), la pérdida asociada a la transmisión no fue considerada en los cálculos.

Análisis de los datos

Las mediciones de la producción de potencia se analizaron con el software de rendimiento para ciclismo (Colden Cheetah 3.1, www.goldencheetah.org) y se inspeccionaron visualmente para controlar las interrupciones en la transmisión de la señal. Las desviaciones relativas de las 12 producciones de potencia medidas (P_{meas}) a las producciones de potencia calculadas fueron derivadas ($P_{meas}/P_{calc} - 1$) y fueron utilizadas para realizar cálculos adicionales. La ISO 5725 define exactitud como la combinación entre veracidad (desviación media con respecto al valor de referencia) y precisión (variabilidad de las mediciones repetidas). Por lo tanto, en cada medidor de potencia, la veracidad se cuantificó con la desviación media, y la precisión se cuantificó con el coeficiente de variación (CV).

Los medidores de potencia fueron agrupados según los fabricantes. La comparación entre SRM, PowerTap, Quarq y Stages se realizó con el test no paramétrico de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$). En los casos en que se observó efectos principales significativos, se utilizó el *test* hoc de U Mann-Whitney con correcciones de Bonferroni. Los efectos relacionados con la intensidad se analizaron con el test de Friedman y la prueba *post-hoc* de rangos con signos para muestras pareadas de Wilcoxon con correlación de Bonferroni.

El análisis de los datos se realizó con el software estadístico R 3.2.2, R Core Team, Austria. Los valores se presentan en forma de media \pm desviación estándar.

RESULTADOS

Veracidad

La desviación media de los potenciómetros fueron de $-0,9 \pm 3,2\%$ (Tabla 2), y no fue significativamente diferente de 0% ($p = 0,08$). Seis (11%) medidores de potencia tuvieron una desviación superior a $\pm 5\%$ (1 potencia2max, 1 Quarq, 4 Stages, Figura 2). Se observó un efecto principal significativo del fabricante ($p = 0,03$), pero ninguna de las comparaciones entre pares arrojó diferencias significativa. En general, la desviación media fue 0,9% menor con la masa m2 más liviana en comparación con las 3 cargas más pesadas ($p < 0,001$).

Tabla 2. Veracidad y precisión de los potenciómetros de los diferentes fabricantes. Los valores se presentan en forma de Media \pm Desviación estándar (si $n > 1$). * Presenta diferencias con SRM y Power Tap $p < 0,05$

n	Marca del Potenciómetro	Desviación Media (%)	Coefficiente de variación (%)	Cadencia (RPM)
12	SRM	-0,5 \pm 2,4	0,8 \pm 0,4	83 \pm 14
10	PowerTap	0,9 \pm 2,1	0,8 \pm 0,2	87 \pm 5
11	Quarq	0,5 \pm 3,0	1,3 \pm 0,8	87 \pm 6
13	Stages Cycling	-2,9 \pm 3,9	2,0 \pm 1,4 *	89 \pm 6
3	Verve Cycling	-1,7 \pm 1,1	0,6 \pm 0,4	88 \pm 3
2	power2max	-4,8 \pm 3,4	1,5 \pm 0,4	87 \pm 16
1	Carmin	-2,0	1,6	86
1	Polar	-3,9	2,6	93
1	Rotor	2,1	0,4	84
54	Todos	-0,9 \pm 3,2	1,2 \pm 0,9	87 \pm 8

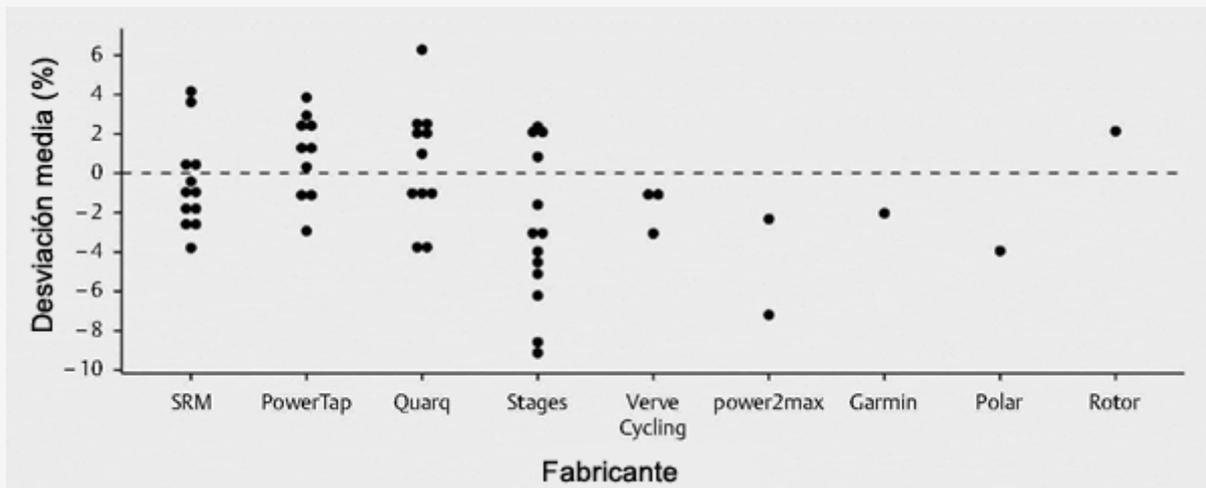


Figura 2. Veracidad de cada potenciómetro

Precisión

El coeficiente de variación de los potenciómetros fue 1,2 \pm 0,9% (Tabla 2), y 5 (9%) potenciómetros presentaron un CV mayor que 2,5% (1 Quarq, 1 Polar, 3 Stages, Figura 3). Se observó un efecto principal significativo del fabricante ($p < 0,001$). Las pruebas *post-hoc* revelaron que los potenciómetros Stages tenían un CV más alto (2,0 \pm 1,4%) que los potenciómetros SRM (0,8 \pm 0,4%, $p < 0,001$) y PowerTap (0,8 \pm 0,2%, $p < 0,001$). En general, el CV fue 0,4% mayor con la m2 más liviana que con las 3 cargas más pesadas ($p < 0,001$) y el CV fue 0,2% menor con la mayor m2 en comparación con la segunda ($p = 0,007$) y la tercer carga ($p = 0,004$).

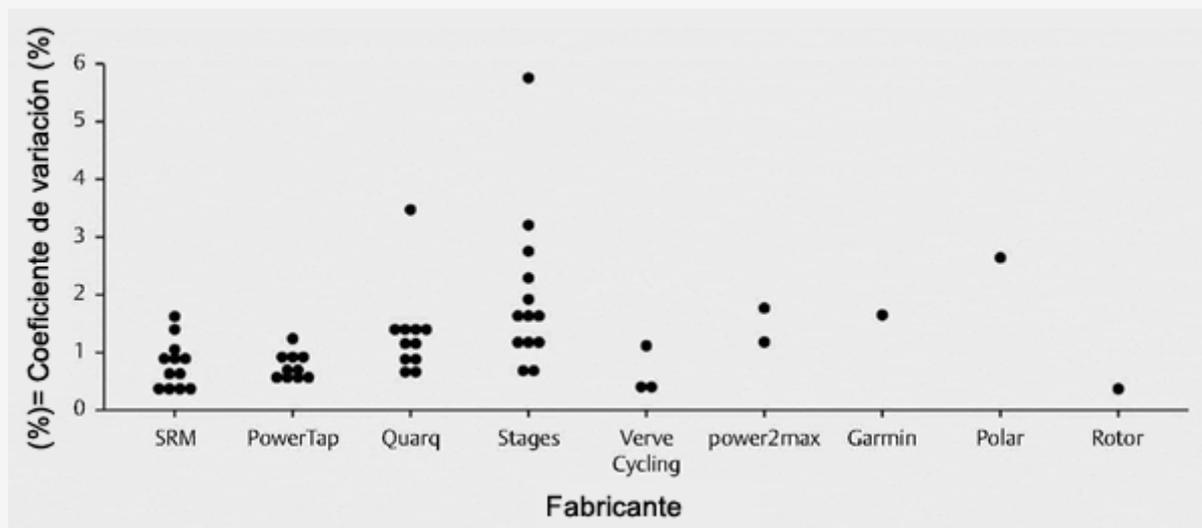


Figura 3. Precisión de cada uno de los potenciómetros.

DISCUSIÓN

En este estudio, se calibró una gran cantidad de potenciómetros más comúnmente utilizados por los ciclistas de élite y recreacionales en base a un modelo matemático de ciclismo en cinta rodante basado en primeros principios. La desviación media global de los potenciómetros no fue diferente de 0% lo que demuestra una concordancia general entre los valores medidos y el modelo matemático.

Veracidad

Si bien la desviación media global no fue diferente de 0%, algunos potenciómetros individuales se desviaron sustancialmente, y una importante cantidad de potenciómetros (6 potenciómetros) presentaron una desviación superior al 5%. Por lo tanto, la veracidad puede variar considerablemente entre dispositivos individuales, incluso aun cuando pertenezcan al mismo fabricante. Probablemente esto podría deberse a calibraciones de fábrica inadecuadas, o a cambios posteriores en las características correspondientes a torque-sígnal de los potenciómetros utilizados por los ciclistas.

Hasta ahora, sólo existía un estudio en el cual se calibraron una gran cantidad de potenciómetros. Gardner et al. [9] demostraron que 12 de 19 potenciómetros SRM tenían una desviación superior a 2%, pero se mantuvieron estables después de la primera calibración durante un período de 11 meses. El hallazgo de diferentes veracidades en los potenciómetros individuales del mismo fabricante coincide con lo observado en este estudio. Los numerosos estudios que han analizado la concordancia entre potenciómetros instalados simultáneamente son difíciles de interpretar [1,3-5, 8, 13, 20, 23], porque tal como lo indica el estudio de Gardner et al. [9] y el estudio actual, las generalizaciones de los potenciómetros individuales con respecto a sus respectivos fabricantes son altamente limitadas. Sin embargo, las comparaciones directas sistema a sistema revelaron diferencias comparables a las del estudio actual o superiores (1-2% entre Power-Tap y SRM [5], 0-1 2% entre PowerTap, Quarq y Stages [20]; 2-17% entre PowerTap, SRM y Ergomo®Pro [8]).

Precisión

El bajo CV de $1,2 \pm 0,9\%$ de todos los potenciómetros indica que la mayoría de los potenciómetros tienen una alta precisión general, pero existen diferencias asociadas al fabricante. Los medidores de potencia SRM y PowerTap fueron más precisos que los Stages.

Sin embargo, esta comparación, no es completamente legítima porque los potenciómetros Stages calibrados en este estudio midieron solamente el torque del brazo de la manivela izquierda, y se supuso que el lado derecho sería similar. Por lo tanto, en el presente estudio la veracidad y precisión siempre dependerían del medidor de potencia en sí, y del estilo de pedaleo del ciclista (balance izquierda-derecha). Un balance izquierda-derecha variable durante la calibración aumentaría la variabilidad de las producciones de potencia medidas y, por lo tanto, disminuiría la precisión. Kirkland et al. [16]

observaron una contribución de $48,9 \pm 3,6\%$ de la pierna izquierda en un grupo de 9 ciclistas competitivos con resultados de producción de potencia similares. La variabilidad del 3,6% refleja cómo la precisión del potenciómetro Stages podría estar fuertemente influenciada por el propio ciclista, además del error de medición técnico.

Los valores de precisión del presente estudio coinciden con los resultados previos obtenidos en numerosos potenciómetros SRM y PowerTap (CV <2%) [9]. Algunos estudios que analizaron dispositivos individuales informaron valores de CV ligeramente superiores (1-3% para PowerTap y SRM [5], 2-3% para PowerTap, Quarq y Stages [20], 2% para PowerTap y SRM y 4% para Ergomo® Pro [8]).

Cuando se interpreta la precisión de los medidores de potencia calibrados, es importante considerar que cualquier variación inducida por la configuración experimental habría disminuido la precisión. Sin embargo, como el CV general fue sólo de 1,2%, la variación potencial debe haber sido muy pequeña, lo que confirma la confiabilidad del diseño experimental utilizado en el presente estudio.

Exactitud

Debido a que la precisión de los potenciómetros en el estudio actual era generalmente alta, los dispositivos individuales con buena veracidad pueden ser clasificados como exactos. En los otros dispositivos, la característica torque-senal debería ser ajustada para mediciones precisas de la producción de potencia, algo que frecuentemente no es posible.

Relevancia para el entrenamiento y para las evaluaciones

El error de medición, además de la variación biológica, afecta la confiabilidad test-retest de las pruebas de rendimiento. La comparación de producciones de potencia entre sistemas que no arrojan mediciones certeras introduce un sesgo sistemático, y el seguimiento de valores a lo largo del tiempo con un sistema impreciso puede ocultar una señal verdadera (por ejemplo, la mejora en el rendimiento) por debajo del ruido [2, 12].

En el presente estudio, la veracidad tuvo una variación de 3,2% entre los potenciómetros individuales, mientras que el menor cambio para tener en cuenta en el rendimiento sería inferior al 1%, dependiendo de la disciplina [2]. Por lo tanto, la diferenciación de la veracidad en los potenciómetros podría producir sobre estimaciones o sub estimaciones sustanciales de las capacidades de los ciclistas respectivos. Los valores de precisión del presente estudio reflejan la dificultad de identificar cambios pequeños pero dignos de consideración. La precisión media de los potenciómetros SRM o PowerTap del 0,8% permite identificar un cambio del 1,1% ($0,8\% \cdot \sqrt{2}$) con un 68% de confianza en un escenario test-re-test [12]. Utilizando un potenciómetro Stages con una precisión del 2,0%, el cambio identificable se incrementa hasta el 2,8%. Para identificar cambios más pequeños, se podría obtener el promedio de varias (n) pruebas o mediciones, lo que disminuiría el cambio identificable por el factor $1/\sqrt{n}$ [12].

Limitaciones

En este estudio, los medidores de potencia fueron calibrados en condiciones de laboratorio. Durante su uso, la exactitud podría verse afectada por variaciones en la temperatura ambiente o por vibraciones e impactos de la superficie del suelo o por cambios de marchas, entre otros. Además, sólo se analizaron periodos cortos de medición a diferencia de los registros de mayor duración que generalmente se utilizan durante el entrenamiento y las pruebas. Por otra parte, probablemente las mediciones exactas realizadas en condiciones controladas son necesarias para lograr una alta exactitud en condiciones de campo [20]. Investigaciones adicionales en esta área podrían analizar la exactitud de un gran número de potenciómetros bajo condiciones de campo.

La pérdida asumida en la transmisión en el modelo matemático utilizado no puede basarse en mediciones directas. Aunque esto tiene una influencia directa en los valores relativos a la veracidad, la influencia sobre las comparaciones entre grupos y sobre los valores de precisión es limitada. Los elevados valores de precisión a lo largo del intervalo de producciones de potencia estudiado confirman aún más la suposición de pérdidas asociadas a transmisión en el presente estudio, pero el efecto relacionado con la intensidad sobre la veracidad podría estar reflejando una diferencia entre la pérdida asociada a transmisión supuesta y la pérdida real.

Los potenciómetros se calibraron sólo hasta producciones de potencia de aproximadamente 360 W, valor que frecuentemente es inferior a los valores obtenidos por ciclistas de élite durante el entrenamiento o durante pruebas de alta intensidad. No queda claro si los resultados del presente estudio son también válidos para producciones de potencia más altas. Dependiendo de la capacidad de los ciclistas, en el protocolo de calibración podrían utilizarse producciones de potencia más altas, pero el método no es adecuado para las producciones de potencia que se producen durante los esprints.

Debido a que durante las calibraciones no se controló la cadencia de pedaleo, no es posible estimar sus efectos sobre la

exactitud de los potenciómetros.

CONCLUSIÓN

Podemos concluir que la veracidad parece variar considerablemente entre los potenciómetros utilizados en la actualidad por ciclistas de élite y ciclistas recreativos, aún cuando los dispositivos sean del mismo fabricante. Sin embargo, la precisión es generalmente alta, aunque los dispositivos Stages muestran una menor precisión que los dispositivos de SRM y PowerTap.

El presente estudio refleja la importancia de la calibración y, si es posible, del ajuste de la veracidad de cada potenciómetro para obtener mediciones exactas de la producción de potencia durante el entrenamiento y las pruebas. La calibración de los potenciómetros contra un modelo matemático basado en primeros principios para ciclismo en cinta rodante es específica y factible con todos los sistemas actuales.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue apoyado por la Federación Suiza de Deportes, Magglingen y Swiss Cycling.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no poseen conflictos de interés.

REFERENCIAS

1. Abbiss C.R., Quod M.J., Levin G., Martin D.T., Laursen P.B. (2009). Accuracy of the velotron ergometer and SRM power meter. *Int. J. Sports Med.* 30: 107-112
2. Atkinson G., Nevill A.M. (2001). Selected issues in the design and analysis of sport performance research. *J. Sports Sci.* 19: 811-827
3. Bertucci W., Crequy S., Chiementin X. (2013). Validity and reliability of the G-cog BMX powermeter. *Int. J. Sports Med.* 34: 538-543
4. Bertucci W., Duc S., Villerius V., Grappe F. (2005). Validity and reliability of the axiom PowerTrain cycle ergometer when compared with an SRM powermeter. *Int. J. Sports Med.* 26: 59-65
5. Bertucci W., Duc S., Villerius V., Pernin J.N., Grappe F. (2005). Validity and reliability of the PowerTap mobile cycling powermeter when compared with the SRM device. *Int. J. Sports Med.* 26: 868-873
6. Coleman D.A., Wiles J.D., Davison R.C., Smith M.F., Swaine I.L. (2007). Power output measurement during treadmill cycling. *Int. J. Sports Med.* 28: 525-530
7. Di Prampero P.E., Cortili G., Mogroni P., Saibene F. (1979). Equation of motion of a cyclist. *J. Appl. Physiol.* 47: 201-206
8. Duc S., Villerius V., Bertucci W., Grappe F. (2007). Validity and reproducibility of the ErgomoPro power meter compared with the SRM and PowerTap power meters. *Int. J. Sports Physiol. Perform* 2: 270-281
9. Gardner A.S., Stephens S., Martin D.T., Lawton E., Lee H., Jenkins D. (2004). Accuracy of SRM and PowerTap power monitoring systems for bicycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36: 1252-1258
10. Harriss D.J., Atkinson G. (2015). Ethical standards in sport and exercise science research: 2016 update. *Int. J. Sports Med.* 36: 1121-1124
11. Henchoz Y., Crivelli G., Borrani F., Millet G.P. (2010). A new method to measure rolling resistance in treadmill cycling. *J. Sports Sci.* 28: 1043- 1046
12. Hopkins W.G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med.* 30: 1-15
13. Hurst H.T., Atkins S., Sinclair J., Metcalfe J. (2015). Agreement between the Stages cycling and SRM powermeter systems during field-based off-road climbing. *J. Sci. Cycling* 4: 21-27
14. Jakeman P. (1993). A longitudinal study of exercise metabolism during recovery from viral illness. *Br. J. Sports Med.* 27: 157-161
15. Jobson S.A., Passfeld L., Atkinson G., Barton G., Scarf P. (2009). The analysis and utilization of cycling training data. *Sports Med.* 39: 833-844
16. Kirkland A., Coleman D., Wiles J., Hopker J. (2008). Validity and reliability of the Ergomo® pro powermeter. *Int. J. Sports Med.* 29: 913-916
17. Lim A.C., Homestead E.P., Edwards A.G., Carver T.C., Kram R., Byrnes W.C. (2011). Measuring changes in aerodynamic/rolling resistances by cycle-mount-ed power meters. *Med. Sci. Sports Exerc.* 43: 853-860
18. Martin J.C., Milliken D.L., Cobb J.E., McFadden K.L., Coggan A.R. (1998). Validation of a mathematical model for road cycling

- power. *J. Appl. Biomech.* 14: 276-291
19. Maxwell B.F., Withers R.T., Ilsley A.H., Wakim M.J., Woods G.F., Day L. (1998). Dynamic calibration of mechanically, air- and electromagnetically braked cycle ergometers. *Eur. J. Appl. Physiol.* 78: 346-352
 20. Miller M.C., Macdermid P.W., Fink P.W., Stannard S.R. (2016). Agreement between PowerTap, Quarq and Stages power meters for cross-country mountain biking. *Sports Technol. Epub ahead of print: 1-7*
 21. Olds T.S., Norton K.I., Lowe E.L., Olive S., Reay F., Ly S. (1995). Modeling road-cycling performance. *J. Appl. Physiol.* 78: 1596-1611
 22. Quod M.J., Martin D.T., Martin J.C., Laursen P.B. (2010). The power profile predicts road cycling MMP. *Int. J. Sports Med.* 31: 397-401
 23. Sparks S.A., Dove B., Bridge C.A., Midgely A.W., McNaughton L.R. (2015). Validity and reliability of the look Keo power pedal system for measuring power output during incremental and repeated sprint cycling. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 10: 39-45
 24. Spicer J.B., Richardson C.J.K., Ehrlich M.J., Bernstein J.R., Fukuda M., Terada M. (2001). Effects of frictional loss on bicycle chain drive efficiency. *J. Mech. Des.* 123: 598-605
 25. Stein E.S., Rothstein M.S., Clements C.J. Jr. (1967). Calibration of two bicycle ergometers used by the health examination survey. *Vital Health Stat* 2: 1-10
 26. Vogt S., Schumacher Y.O., Roecker K., Dickhuth H.H., Schoberer U., Schmid A., Heinrich L. (2007). Power output during the Tour de France. *Int. J. Sports Med.* 28: 756-761
 27. Woods G.F., Day L., Withers R.T., Ilsley A.H., Maxwell B.F. (1994). The dynamic calibration of cycle ergometers. *Int. J. Sports Med.* 15: 168-171.

Cita Original

T., Maier, L. Schmid, B. Müller, T. Steiner, J., P. Wehrlin. (2017). Accuracy of Cycling Power Meters against a Mathematical Model of Treadmill Cycling. *Int. J. Sports Med.* DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0043-102945>