



UNIVERSIDAD DE
MURCIA



“VALIDEZ Y REPRODUCIBILIDAD DE LOS POTENCIÓMETROS GARMIN VECTOR Y POWERTAP”

Trabajo Fin de Máster
Curso 2014-2015

Autor:
Francisco Cavas García
74.357.617C

Tutor:
Prof. Dr. Jesús G. Pallarés

Facultad de Ciencias del Deporte
Universidad de Murcia



UNIVERSIDAD DE
MURCIA



El alumno de máster D. Francisco Cavas García, con número de D.N.I. 74.357.617-C. Estudiante del Máster Oficial “Investigación en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte”, desarrollado por la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Murcia, presenta su trabajo FIN DE MÁSTER, titulado:

**“VALIDEZ Y REPRODUCIBILIDAD DE LOS POTENCIÓMETROS
GARMIN VECTOR Y POWERTAP.”**

El presente trabajo FIN DE MASTER fue tutorizado por el Prof. Dr. D. Jesús García Pallarés. El cual acredita, a través de este documento, la idoneidad del presente trabajo de investigación y le otorga el Vº Bº a su contenido para llevar a cabo la defensa de pública de su proyecto de investigación.

Para que así conste, se firma la presente en San Javier, a 17 de julio de 2015

Fdo.: Prof. Dr. D. Jesús García Pallarés

Cavas-García, F. (2015). *Validez y reproducibilidad de los potenciómetros Garmin Vector y PowerTap*. Trabajo de Fin de Máster. Murcia: Universidad de Murcia.

RESUMEN

En las últimas décadas los dispositivos de medición de potencia en el pedaleo han revolucionado los sistemas de entrenamiento en ciclismo y se han impuesto como unos instrumentos de gran precisión para monitorizar el rendimiento, dato que sirve tanto al deportista como al entrenador para controlar de un modo longitudinal la prescripción y control de la carga. El sistema SRM integrado en las bielas y plato de la bicicleta está considerado como el “Gold Standard” para la medición de potencia en ciclismo, aunque en los últimos cinco años nuevos potenciómetros más accesibles económicamente han probado su validez en este ámbito. Los fabricantes de estos instrumentos de medición de potencia han variado su localización dentro de la bicicleta como el buje trasero o incluso en los pedales, como es el caso del dispositivo Garmin Vector. El presente trabajo tiene como objetivo determinar los índices de validez y reproducibilidad del medidor de potencia Garmin Vector y Powertap comparados con SRM para su posterior utilización en el ámbito de las ciencias del deporte y el entrenamiento. Para este estudio descriptivo se tomó como muestra a ocho deportistas ciclistas experimentados a los que se realizaron medidas antropométricas y de masa corporal y posteriormente se les aplicó un protocolo de test incremental sub-máximo en la misma bicicleta que estaba equipada con los dispositivos de medición de potencia SRM, Powertap y Garmin Vector y montada en un rodillo electromagnético PowerBeam. Para el estudio de la validez y reproducibilidad inter-sujeto de todos los datos de potencia obtenidos se estudió la diferencia de valores promedio (ANOVA), la relación entre variables (correlaciones), la variabilidad de la medida (coeficiente de variación) y la repetitividad o concordancia de los registros (Bland-Altman). Los resultados muestran elevados índices de validez y reproducibilidad del medidor de potencia Garmin Vector y Powertap comparados con SRM, lo que sugiere que ambos instrumentos, aunque notablemente más económicos que SRM, pueden emplearse para monitorizar la potencia de pedaleo con validez, reproducibilidad y precisión.

Palabras claves: potenciómetro, ciclismo, validez, laboratorio, biomecánica.

Cavas-García, F. (2015). *Validity and reliability of the Garmin Vector & PowerTap powermeters*. Master's Thesis. Murcia: University of Murcia.

ABSTRACT

In recent decades, power measurement devices have revolutionized cycling and the way that cyclists train, due to fact that they are high precision instruments that monitor efficiency and capacity, information which can later be used both by the athlete and the fitness specialist to form a long term provision and control of any training load. The SRM system built into the cranks and chain wheels of a bike are considered the “Gold Standard” in terms of measuring power in cycling, although in the past five years new more economically accessible power meters proven its worth in this area. Manufacturers of these power measurement instruments have changed their location within the bicycle as the rear hub or even on the pedals, such as Garmin Vector device that measures power applied to the pedals. This study aims to determine the validity and reproducibility of the Garmin Vector and Powertap power measuring tools compared with that of SRM, for their later use in the field of sports science and training. For this detailed study, eight experienced cyclists were used, all of whom underwent anthropometric and body mass measurements before subsequently being applied to a protocol sub-maximal incremental test, using the same bike that had been equipped with the SRM, Powertap and Garmin Vector measurement tools and mounted on a electromagnetic Powerbeam rolling trainer. In order to asses the validity and reproducibility of all the power data collected, the difference between the average values (ANOVA), the relationship between variables (correlations), measurement variability (coefficient of variation) and the reliability or accord of records (Bland-Altman), were studied. The results show high levels of validity and reliability of the power meters Garmin Vector and Powertap compared with SRM, suggesting that both instruments, although considerably cheaper than SRM, can be used to monitor the power pedaling validity, reproducibility and accuracy.

Keywords: Power meter, cycling, validity, laboratory, biomechanics.

AGRADECIMIENTOS

A Valérie, David, Alicia, Emilia, José Ramón, Alejandro, Salva y a todos los que me han apoyado durante este reto personal.

A mi hermano Emilio, por haberme transmitido su pasión por la biomecánica y el ciclismo.

A mi tutor Jesús, por su entrega, esfuerzo, dedicación y profesionalidad.

Y finalmente a Arturo, gracias por permitirme recuperar ilusiones perdidas y hacerlas realidad.

ÍNDICE DEL TRABAJO

| | |
|---|-----|
| ÍNDICE DEL TRABAJO | I |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | III |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | IV |
| ÍNDICE DE ABREVIATURAS..... | VII |
| 1. INTRODUCCIÓN | 11 |
| 1.1 La Potencia en ciclismo..... | 3 |
| 1.2 Principales factores determinantes del rendimiento en ciclismo | 5 |
| 1.3 Pruebas de valoración funcional en ciclismo..... | 11 |
| 1.4 Tendencias actuales. Monitorización de la potencia en ciclismo..... | 19 |
| 1.5 Estado actual en cuanto a validez y reproducibilidad de instrumentos de medida para la monitorización de la potencia en ciclismo. | 26 |
| 2. OBJETIVOS | 39 |
| 3. HIPÓTESIS | 43 |
| 4. METODOLOGÍA..... | 47 |
| 4.1 Tipo de investigación..... | 49 |
| 4.2 Muestra | 49 |
| 4.2.1. Valoración de la composición corporal. | 50 |
| 4.2.2 Fase de familiarización..... | 50 |
| 4.3. Material e instrumentos. | 51 |
| 4.3.1. Bicicleta. | 51 |
| 4.3.2. Dispositivos de medición de potencia..... | 52 |
| 4.3.3. Dispositivos para monitorizar la potencia y cadencia..... | 55 |
| 4.4. Protocolos de valoración..... | 56 |
| 4.4.1. Ajuste parámetros de la bicicleta y condiciones de laboratorio. | 56 |
| 4.4.2. Test incremental sub máximo hasta agotamiento | 57 |
| 4.4.3. Adquisición de datos. | 58 |
| 4.5. Análisis estadístico..... | 58 |
| 5. RESULTADOS | 61 |
| 5.1. Estudio de la validez. | 63 |
| 5.2. Estudio de la reproducibilidad. | 66 |
| 6. DISCUSIÓN..... | 67 |

| | |
|--|----|
| 7. CONCLUSIONES..... | 73 |
| 8. LIMITACIONES DEL ESTUDIO | 77 |
| 9. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN | 81 |
| 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 85 |
| 11. ANEXOS..... | 95 |
| 11.1. Anexo I: Consentimiento Informado..... | 97 |

ÍNDICE DE TABLAS

| Índice | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 01. Ejemplo de cálculo de economía de carrera (adaptado de Esteve Lanao, 2007). | 8 |
| Tabla 02. Factores determinantes del rendimiento de las diferentes modalidades del ciclismo y especialidades del triatlón (adaptado de González Haro, 2006). | 10 |
| Tabla 03. Características de la muestra. | 49 |
| Tabla 04. Dispositivos para monitorizar la potencia y cadencia y potenciómetro y software asociado. | 56 |
| Tabla 5. Promedios y diferencia de medias entre dispositivos para cada carga programada. | 63 |
| Tabla 06. Validez de los dispositivos Garmin Vector y PowerTap. | 65 |
| Tabla 07. Promedio CV inter-sujetos para todas las cargas. | 66 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| Índice | Pág. |
|--|------|
| Ilustración 01. Principales factores determinantes del rendimiento en ciclismo y triatlón (adaptado de Esteve Lanao, 2007). | 6 |
| Ilustración 02. Representación gráfica de las zonas entrenamiento y transición aeróbica - anaeróbica (adaptado de G.Pallarés & col, 2012)..... | 7 |
| Ilustración 03. Esquema de prueba progresiva en rampa (adaptado de Gonzalez Haro, 2006). | 12 |
| Ilustración 04. Gráficos pruebas de carga constante (adaptado de Gonzalez Haro, 2006). | 13 |
| Ilustración 05. Esquema de prueba de carga constante, duración fija o potencia constante (adaptado de Gonzalez Haro, 2006). | 14 |
| Ilustración 06. Esquema de prueba para evaluar la potencia crítica (adaptado de Gonzalez Haro, 2006). | 15 |
| Ilustración 07. Esquema de prueba para determinar el umbral anaeróbico (adaptado de Gonzalez Haro, 2006). | 16 |
| Ilustración 08. Esquema de prueba para determinar la PAM (adaptado de Gonzalez Haro, 2006). | 16 |
| Ilustración 09. Elección del tipo de tests, de la frecuencia y del período en función de la especialidad deportiva y del nivel de práctica. (adaptado de Billat, 2002). | 18 |
| Ilustración 10. Propuesta de zonas de entrenamiento en ciclismo en función de la potencia (adaptado de Allen & Coggan , 2010). | 21 |
| Ilustración 11. Ejemplo de gráficas de control y monitorización del perfil fisiológico de los deportistas (adaptado Esteve Lanao, 2015). | 22 |
| Ilustración 12. Ejemplos de aplicación del RPP en el seguimiento temporal de los ciclistas y comparativas entre ellos. (adaptado de Pinot & Grappe, 2011). | 23 |
| Ilustración 13. Diagrama de fuerzas efectivas durante el ciclo de pedaleo y B. Cuadrantes fuerzas normal y efectiva (adaptado Bini & col, 2014). | 24 |
| Ilustración 14. Diagrama de la descomposición de fuerzas aplicadas en el pedal utilizadas en ciclismo y grados de intensidad durante un test incremental (adaptado Bini & col, 2014). | 25 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 15. Cicloergómetros generalmente utilizados en valoraciones en laboratorio , Monark y Lode Excalibu Sport. | 27 |
| Ilustración 16. Esquema gráfico del procedimiento de toma de datos de potencia en ciclismo. | 28 |
| Ilustración 17. Localización de los instrumentos de medición de potencia integrados en la propia bicicleta. Plato buje trasero, bielas y pedales. | 29 |
| Ilustración 18. Medidor de potencia SRM (Schoberer Rad Meßtechnik, Fuchsend, Germany). | 30 |
| Ilustración 19. Medidor de potencia PowerTap (Cycleops, Madison, U.S.A.). | 31 |
| Ilustración 20. Medidor de potencia velotron (RacerMate, INC., Seattle, Whashington U.S.A.). | 32 |
| Ilustración 21. Medidor de potencia Wattbike (Wattbike Ltd., Nottingham, U.K.). | 33 |
| Ilustración 22. Medidor de potencia Polar Look Keo Power (Look, Cadex, France). | 35 |
| Ilustración 23. Medidor de potencia en las bielas Stages Cycling (Stages Cycling,Saddleback Ltd., U.K.). | 36 |
| Ilustración 24. Medidores de potencia Power2max, Rotor Power, Quark, y Pioneer. | 36 |
| Ilustración 25. Medidor de potencia en los pedales Garmin Vector (VCT, Olathe, U.S.A.). | 37 |
| Ilustración 26. Bicicleta Specialized modelo S-Works (Specialized Bicycle Components, Inc, Morgan Hill. CA, U.S.A.) utilizada para los test. | 51 |
| Ilustración 27. Sistema SRM FSA K-Force Light (Schoberer Rad Meßtechnik, Fuchsend, Germany) | 52 |
| Ilustración 28. Bujes traseros PowerTap modelo G3 (Cycleops, Madison, U.S.A.). | 53 |
| Ilustración 29. Sistema medición de potencia en los pedales Garmin Vector (VCT, Olathe, U.S.A.). | 54 |
| Ilustración 30. Rodillo electrogagnético programable PowerBeam Pro Series (Cycleops, Madison, U.S.A.). | 55 |
| Ilustración 31. De izquierda a derecha. Joule GPS, Garmin Edge 800, Garmin Edge 500 y Garmin Foreruner 910 xt. | 55 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 32. Correlacion de Pearson (valor r y p) entre dispositivos. (A) SRM vs. Garmin Vector y (B) STR vs. PowerTap. | 64 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| Ilustración 33. Grafico Bland Altman. (A) Acuerdo de las diferencias SRM vs. Garmin Vector y Potencia media (B) Acuerdo de las diferencias SRM vs. PowerTap y Potencia media. | 64 |
|---|----|

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

| Siglas | Descripción |
|----------------------------|---|
| % VO_{2max} | Fracción utilizada de consumo máximo de oxígeno |
| ANOVA | Análisis de la varianza |
| ATP | Adenosín Trifosfato |
| CAM | Capacidad aeróbica máxima |
| CAnAL | Capacidad anaeróbica aláctica |
| CAnL | Capacidad anaeróbica láctica |
| CCI | Coefficiente de correlación intraclase |
| CHO | Hidratos de carbono |
| CP | Fosfocreatina |
| CV | Coefficiente de variación |
| CV% | Proporción del coeficiente de variación |
| d | distancia |
| DE | Desviación estándar |
| ECG | Electrocardiografía |
| F | Fuerza |
| FC | Frecuencia cardiaca |
| FDM | Fuerza dinámica máxima |
| FEM | Fuerza explosiva máxima |
| FN | Normalized power o PN |
| FTP | Functional Threshold Power o UPF |
| IC | Intervalo de confianza |
| IC95% | Intervalo de confianza al 95% |

| | |
|-----------------------------|---|
| J | Julios |
| m | Metros |
| N | Newton |
| P | Potencia mecánica |
| p | Nivel de significación estadística |
| PAM | Potencia aeróbica máxima |
| PAnaL | Potencia anaeróbica máxima |
| PN | Potencia normalizada |
| POT | Potencia anaeróbica |
| PP | Power Profile o perfil de Potencia |
| r | Coefficiente de correlación de pearson |
| RDC | Resistencia de corta duración |
| RLD | Resistencia de larga duración |
| RMD | Resistencia de media duración |
| RPP | Record Power Profile o Perfil de potencia en función del tiempo |
| T° VO_{2max} | Tiempo en llegar al VO _{2max} |
| T°Límite | Tiempo límite |
| TSS | Training Stress Store |
| UAN | Umbral anaeróbico |
| UPF | Umbral de potencia funcional |
| VO₂ | Consumo de oxígeno |
| VO_{2max} | Consumo máximo de oxígeno |
| W | Vatios |

1. INTRODUCCIÓN

1.1 La Potencia en ciclismo

En el ámbito de las ciencias del deporte se ha suscitado un gran interés por el uso de las métricas de potencia, precisamente la que se refiere a la potencia mecánica desarrollada por el ciclista. El interés reside en el saber precisamente que cantidad de trabajo desarrolla el ciclista en cada ciclo de pedaleo.

Contrariamente a lo que ocurre en otras disciplinas como la natación, en aguas abiertas o en vaso de piscina, o la carrera a pie, ya sea en una pista de atletismo o en ruta, donde la velocidad de desplazamiento informa directamente sobre el nivel de intensidad del atleta, el ciclista, debido a lo heterogéneo del recorrido que efectúa en sus pruebas soporta fenómenos de aspiración importantes o sufre las fuerzas del viento que le empujan o retienen de tal modo que no puede encomendarse únicamente a la velocidad para conocer el grado de intensidad de su esfuerzo.

De este modo el ciclista para avanzar debe vencer una serie de resistencias (resistencia al aire, resistencia a la rodadura, fuerza de la gravedad,...), que se le oponen y a las que se enfrenta a la hora de progresar. Para ello el ciclista debe generar una energía de tipo químico tal que le permita generar la contracción muscular necesaria para que cuando la aplique sobre los pedales, esta se transforme en energía de propulsión mecánica que haga girar las bielas, la cadena y la rueda trasera de tal modo que le permita avanzar (Grappe, F., Bertucci, W., Baron, B. y Georges, M. , 2012).

Esta potencia mecánica (W) es la cantidad de trabajo (J) por unidad de tiempo (s) y que en el caso del ciclismo, la obtenemos mediante el producto del momento de fuerza (fuerza aplicada en las bielas en rotación) (Nm) por la velocidad angular (rad/s).

La definición de la noción de potencia (P , W) es la cantidad de trabajo mecánico de una fuerza (W, J) por la unidad de tiempo (t , s) (Knudson, 2009; Sapega y Drillings, 1983):

$$P = W / t$$

Como el trabajo mecánico de una fuerza es igual al producto de la fuerza (F, N) por la distancia sobre la que se aplica (d, m):

$$W = F \times d$$

Entonces,

$$W / t = Fd / t$$

La potencia producida puede entonces expresarse como el producto de la fuerza por la velocidad ($v, m/s$) (Cronin y Sleivert, 2005; Newton y Kraemer, 1994)

$$P = F \times v$$

La potencia generada por un músculo, es el producto de la fuerza producida por ese músculo y la velocidad de contracción. En cuanto nos referimos a un movimiento poli-articulado, la potencia externa total es el producto de la fuerza externa desarrollada y de la velocidad de movimiento.

Como hemos mencionado anteriormente, la intensidad es probablemente el componente de la carga más importante que tenemos que controlar en entrenamiento, pero al mismo tiempo es el más difícil de medir y controlar.

La intensidad puede definirse como la cantidad de energía gastada por minuto ($Kcal/min$ o kJ/min) para realizar una determinada tarea o esfuerzo físico.

En el caso del ciclismo ésta puede verse afectada por una gran cantidad de factores como la orografía del terreno, el estado de la superficie de la ruta, las condiciones ambientales, el efecto de ir en solitario o en grupo, etc., por ello la potencia mecánica desarrollada por el ciclista puede considerarse en este caso un buen indicador de la intensidad (gasto energético por unidad de tiempo) y se convierte tanto en el entrenamiento como en la competición en un mejor indicador de la intensidad que simplemente la velocidad instantánea.

En comparación con la frecuencia cardiaca, otro parámetro para poder controlar la intensidad, la potencia es una medida bruta y objetiva que no se ve

influenciada por ningún factor externo ya que la FC responde con un cierto desfase a los cambios de intensidad (Allen y Coggan, 2010), en efecto la frecuencia cardiaca experimenta cierta variabilidad debido a factores como la fatiga muscular, la temperatura, el estado de hidratación del deportista, la influencia de fármacos y sustancias, la variabilidad biológica o los ritmos circadianos, entre otros (Achten y Jeukendrup, 2003).

La frecuencia cardiaca FC es posiblemente un mejor indicador de estrés fisiológico global del individuo mientras que la potencia P es un mejor indicador de la intensidad objetiva del ejercicio y el rendimiento del deportista ya que responde de manera inmediata a los cambios de intensidad, todo ello sin olvidar que tanto la frecuencia cardiaca como la potencia proporcionan información diferente pero complementaria.

1.2 Principales factores determinantes del rendimiento en ciclismo

Desde el origen de las ciencias del deporte, los investigadores han intentado identificar los principales mecanismos que se encuentran en el origen del rendimiento deportivo, en cuanto a los deportes cíclicos se refiere, como el ciclismo y triatlón existen una gran variedad de factores que influyen en él, algunos de ellos genéticos, algunos que pueden entrenarse, otros susceptibles de ser aprendidos y otros que incluso escapan al control del deportista y entrenador.

En los deportes cíclicos y en ciclismo en particular diversos estudios han puesto en evidencia la existencia e importancia de estos factores fisiológicos y biomecánicos (Faria, Parker, y Faria, 2005).

Generalmente es comúnmente reconocido en el ámbito de los deportes de resistencia y particularmente en el ciclismo y triatlón, que entre todos los factores que influyen en el rendimiento podemos destacar cuatro principales los cuales integran también factores biomecánicos asociados (Esteve-Lanao, 2007):

- **Potencia Aeróbica máxima o VO₂max.**
- **Capacidad Aeróbica:**

Umbral Anaeróbico o habilidad para mantener un % de VO₂max.

- **Economía o Eficiencia Energética.**
- **Capacidad y Potencia Anaeróbica.**

Debido a que dichos factores se entiende que interactúan entre ellos se da el caso de que ciertas carencias en uno pueden compensarse con un destacado nivel en las otras, (Ilustración 1).

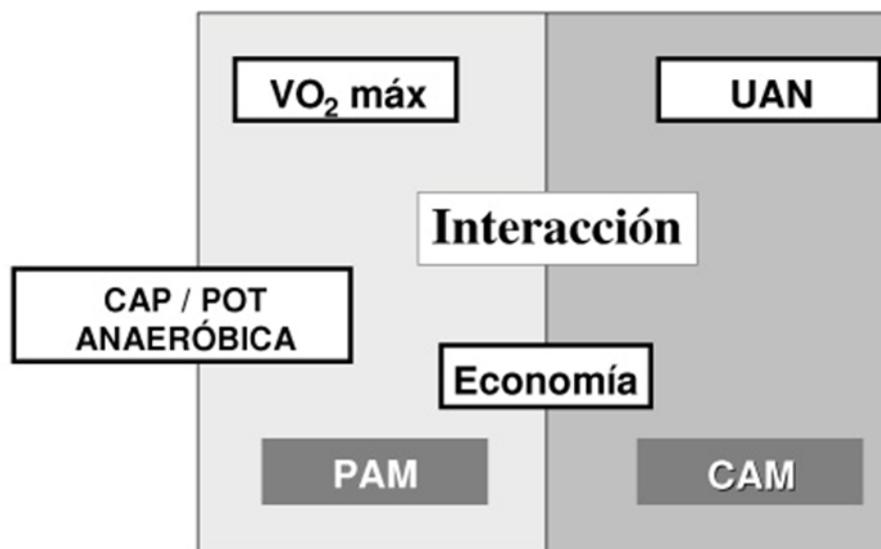


Ilustración 1. Principales factores determinantes del rendimiento en ciclismo y triatlón (adaptado de Esteve-Lanao, 2007).

Potencia Aeróbica: VO₂max

La PAM (Potencia Aeróbica Máxima) es la carga en vatios que posibilita alcanzar el VO₂max en un test incremental máximo.

El VO₂max o “máximo consumo de oxígeno y representa la cantidad más elevada de oxígeno que el organismo es capaz de absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo (Chicharro y Vaquero, 2006).

El VO₂max se suele expresar de dos maneras, una en valor absoluto relativo a la unidad de tiempo (L / min) o más comúnmente en valor relativo a la masa corporal ($ml de O_2 / kg / min$).

El VO_2max está considerado como uno de los marcadores con mayor capacidad de predicción del rendimiento aeróbico de los deportistas de élite y las tasas que estos desprenden con respecto a personas sanas con muy bajo nivel de entrenamiento pueden oscilar entre el doble o cuádruple ($75\text{-}85\text{ ml/kg/min}$ respecto a $20\text{-}40\text{ ml/kg/min}$).

Umbral Anaeróbico

Bajo esta denominación se engloba el concepto general de una intensidad fisiológica submáxima crítica a nivel metabólico, en efecto esta zona metabólica se considera como la intensidad de transición aeróbica-anaeróbica en la que la cantidad de oxígeno suministrado a los músculos que se ejercitan resulta insuficiente para cubrir las demandas de energía y a partir de este Umbral Anaeróbico si la intensidad del ejercicio continúa incrementándose, la acidosis metabólica del atleta comienza a elevarse de manera exponencial debido a que el músculo no es capaz de resintetizarlo a la misma velocidad a la que se produce, lo que conlleva a su vez que la ventilación se intensifique de manera desproporcionada con respecto al la cantidad de oxígeno consumido (Ilustración 2).

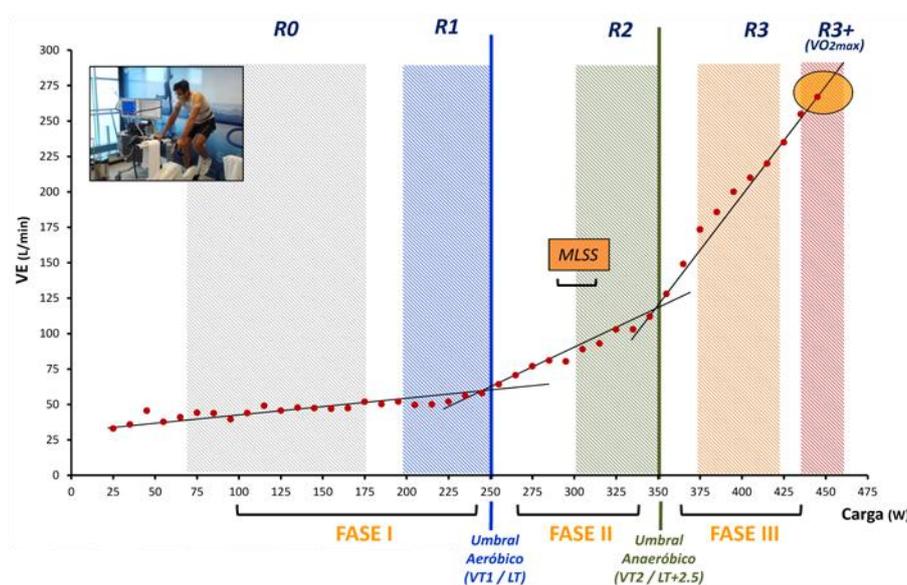


Ilustración 2. Representación gráfica de las zonas entrenamiento y transición aeróbica - anaeróbica (adaptado de Morán-Navarro, 2014).

La intensidad de este Umbral anaeróbico se localiza en la mayor parte de los sujetos entrenados entre el 75-85% de sus valores de VO₂max (García-Pallarés y Navarro, 2012).

Economía o Eficiencia Energética.

Si cuando nos referimos al VO₂max estamos hablando de la habilidad que tiene el deportista para generar mucha energía por unidad de tiempo y cuando hablamos del Umbral Anaeróbico éste se relaciona con mantenerse mucho tiempo a una intensidad por debajo de la anterior, el término de Economía representa la habilidad para gastar la menor energía a una determinada velocidad o implicando un menor coste energético (Tabla 1).

Tabla 1. Ejemplo de cálculo de economía de carrera (adaptado de Esteve-Lanao, 2007).

| (ml/kg/km) |
|---|
| El corredor ha mostrado una economía de 45,9 ml/kg/km a la velocidad de 14 km/hora |
| Transformamos en ritmo de minutos por kilómetro los 14 km/h, dividiendo 60 segundos entre 14 (= 4,29) |
| Multiplicamos 4,29 por 45,9 = 197,7 ml/kg/km |

Este factor determinante del rendimiento tiene un carácter variable y sirve para medir la relación entre la velocidad y el coste energético en VO₂.

En el ámbito del ciclismo se ha descrito la gran importancia que tiene la Eficiencia Energética la hora de mejorar el rendimiento y viene provocada por factores biomecánicos como una óptima cadencia de pedaleo, factores fisiológicos como una buena distribución de fibras musculares, una dieta adecuada entre otros factores (Faria et al., 2005).

Capacidad y Potencia Anaeróbica.

La Capacidad Anaeróbica se define como a cantidad total de ATP que puede resintetizar la vía glucolítica en un esfuerzo de máxima intensidad hasta el agotamiento aunque existe igualmente cierto consenso internacional en definirla como el gasto energético total requerido por un esfuerzo máximo, sin ningún tipo de distribución de la fatiga, durante un tiempo de entre 30 segundos a 1 minuto.

Durante este tipo de esfuerzos existe una participación aeróbica-anaeróbica distribuida en un 35% y 65% respectivamente, estos porcentajes suelen ser muy variables en función de las características del deportista en cuanto a la composición de sus fibras musculares, etc.

El entrenamiento en sobre esta zona requiere que el deportista realice cargas de trabajo a una intensidad considerablemente superior al $VO_2\max$, alrededor del 105-120% de éste, lo que a largo plazo genera mejoras en la tolerancia a la acidosis metabólica elevada y aumenta a su vez la capacidad glucolítica, así como se produce un incremento de las reservas energéticas de ATP, CP y glucógeno muscular.

La Potencia Anaeróbica se define como la cantidad máxima de ATP resintetizada en la glucólisis anaeróbica por unidad de tiempo y al igual que ocurre con la Capacidad Anaeróbica requiere una gran cantidad de recursos para ser evaluada, por ello esta ruta metabólica se ha venido definiendo como la potencia máxima (W) alcanzada en los primeros 2 a 5 segundos de un test cíclico máximo.

El entrenamiento sobre esta zona requiere por parte del deportista la realización de cargas de trabajo a una intensidad del 120-140% del $VO_2\max$ lo que entre otros produce un incremento importante de las reservas de fosfágenos de alta energía, ATP y CP y por lo tanto genera una mejora en la tasa de producción de energía por la vía glucolítica (García-Pallarés y Morán-Navarro, 2012).

Estos cuatro factores que determinan el rendimiento ($VO_2\max$, Umbral Anaeróbico, Eficiencia Energética y Capacidad/Potencia Anaeróbica) interaccionan

entre sí y con otros factores complementarios de carácter biomecánico, psicológico o técnico/táctico formando en su conjunto el abanico de recursos de que disponen el deportistas y entrenadores para la mejora del rendimiento en los deportes cíclicos en general.

En el caso de las modalidades de ciclismo y triatlón, estas disciplinas ofrecen una gran variedad de esfuerzos que van desde los 10 segundos a las más de 6 horas de duración en el caso de pruebas de larga distancia por lo que todos los sistemas de producción de potencia son relevantes a la hora de entender la demanda energética en estos deportes y poder evaluar así con posterioridad cada uno de los esfuerzos generados en cada prueba (tabla 2).

Tabla. 2. Factores determinantes del rendimiento de las diferentes modalidades del ciclismo y especialidades del triatlón. (adaptado de González-Haro, 2008)

| | VELOCIDAD | RCD Y RMD | RLD |
|---|-----------|-----------|-----|
| FDM: Fuerza dinámica máxima | *** | ** | * |
| FEM: Fuerza explosiva maxima | *** | ** | * |
| PAnAI: Potencia anaeróbica aláctica | *** | * | |
| CAnAI: Capacidad anaeróbica aláctica | *** | * | |
| CAnL: Capacidad anaeróbica láctica | *** | * | |
| VO2máx: Consumo máximo de oxígeno | * | *** | ** |
| Tº VO2máx: Tiempo en llegar al VO2máx | | *** | * |
| Tº límite: Tiempo límite | | *** | * |
| UAn: Umbral anaeróbico | * | ** | *** |
| % VO2máx: Fracción utilizada de VO2máx | | ** | *** |
| Eficiencia | | *** | *** |
| Economía | | *** | *** |
| Depósitos CHO | ** | *** | *** |

Nota: NIVEL DE IMPORTANCIA: * Baja, ** Media y *** Alta. RCD: Resistencia de corta duración; RMD: Resistencia de media duración; RLD: Resistencia de larga duración.

En la actualidad el tratamiento que se otorga a estos factores determinantes del rendimiento en ciclismo se aborda desde una perspectiva global, en efecto la manera en la que los entrenadores y deportistas abordan actualmente el rendimiento en los deportes cíclicos en general, no solo se trata desde el punto de vista de uno u otro factor, sino que se contempla como un fenómeno que depende de la interrelación y conexiones entre factores metabólicos, biomecánicos y tecnológicos.

Cada uno de estos factores juega de un papel muy importante en el potencial para optimizar el rendimiento en ciclismo. Al mismo tiempo la aparición de las nuevas tecnologías y su implicación en el ámbito del deporte, ponen en relación el sector de la ingeniería con la biomecánica aplicada a las ciencias del deporte y la aparición de otros campos de estudio que muestran una gran interdisciplinaridad entre conocimientos diversos, que tienen como fin común el avance en las ciencias del deporte.

1.3 Pruebas de valoración funcional en ciclismo.

En el ámbito del ciclismo la gran mayoría de investigadores y entrenadores relacionados con esta disciplina recurren al uso de test de rendimiento para las valoraciones funcionales aplicadas a este deporte con el fin de monitorizar y programar los entrenamientos y competiciones de la manera más precisa posible, investigando en base a los resultados obtenidos sobre nuevas estrategias nutricionales o desarrollando nuevos materiales y otros factores que pudiesen afectar al rendimiento del deportista (Gonzalez-Haro, 2008).

Los test que se realizan en condiciones reales de campo tienden a reproducir muy fielmente las situaciones de competición y generalmente son mejor valorados que los test realizados en condiciones de laboratorio, pero en el caso de los test de campo el ciclista se ve afectado por inclemencias meteorológicas difíciles de controlar como la velocidad del viento, la lluvia, la temperatura o la humedad. Todo ello hace difícil el que se puedan comparar los datos entre los test de laboratorio y los de test de campo.

Las pruebas de valoración funcional aplicadas al deporte fueron definidas por Foster (1989) como la utilización de mediciones que se le realizan a un deportista con el objetivo de definir los componentes fisiológicos que contribuyen a su marca deportiva, predecir su rendimiento, prescribir intensidades de entrenamiento y controlar la evolución del mismo.

Este tipo de pruebas que se desarrollan en laboratorio aplicadas al deporte nacieron en el ámbito de la salud y su tienen su origen en la necesidad de valorar a personas con patologías a nivel cardiaco. Estas pruebas se han desarrollado tradicionalmente en tapiz rodante o en cicloergómetro y se pueden clasificar en dos grandes grupos:

Pruebas progresivas submáximas o máximas.

Estas consisten en la realización de un calentamiento, a continuación la carga va aumentando de forma progresiva cada minuto o de manera constante, en rampa, hasta alcanzar la intensidad submáxima objetivo o hasta la fatiga (Ilustración 3). Con este tipo de pruebas se evalúan las adaptaciones cardiorespiratorias al esfuerzo, mediante electrocardiograma de esfuerzo (ECG) y calorimetría indirecta y son las pruebas clásicas para evaluar el consumo máximo de oxígeno.

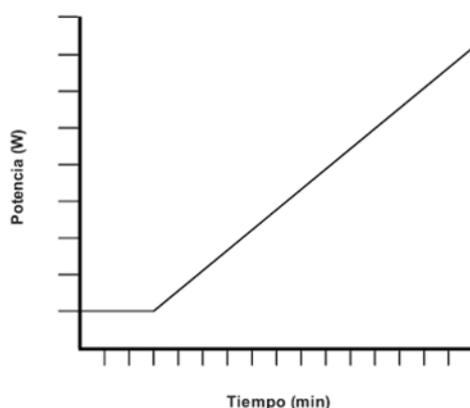


Ilustración 3. Esquema de prueba progresiva en rampa (adaptado de Gonzalez-Haro, 2008)

Pruebas de carga constante.

Estas pruebas consisten en la realización de un esfuerzo aplicando una carga de manera constante, en este caso la carga de trabajo dependerá del tipo de trabajo

que se pretenda evaluar así como del número de repeticiones que se quieran realizar (Ilustración 4).

Con este tipo de pruebas se puede determinar el VO_2max , la cinética del intercambio de gases y otras variables relacionadas con diferentes enfermedades cardiorespiratorias.

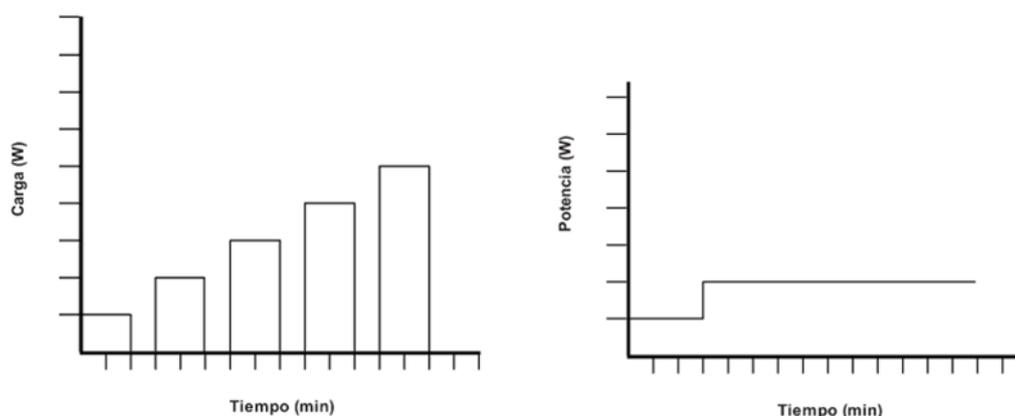


Ilustración 4. Gráficos pruebas de carga constante (adaptado de Gonzalez-Haro, 2008)

En cuanto al ámbito de las ciencias del deporte y más concretamente desde el punto de vista del rendimiento deportivo en ciclismo existe una clasificación más exhaustiva de las pruebas de laboratorio para evaluar las diferentes cualidades físicas de los ciclistas y la adaptación al esfuerzo en estos deportistas. La taxonomía propuesta es la siguiente: pruebas de carga constante, de duración constante, para evaluar la potencia crítica, incrementales para determinar el umbral anaeróbico e incrementales para determinar la potencia aeróbica máxima (Paton y Hopkins, 2001).

Protocolos de carga constante.

En este caso se trata de pruebas en las que el deportista realiza una cantidad de trabajo o distancia fijas de carácter (real o simulada). Este tipo de pruebas son buenas para evaluar los sistemas energéticos implicados de forma específica en la competición. El tiempo hasta la fatiga en este tipo de protocolos se ha definido como la disminución de un 10% de la producción de potencia mecánica respecto de la intensidad de trabajo establecida. (ilustración 5).

Protocolos de duración fija.

Son protocolos similares a los anteriores, pero en este caso el sujeto debe realizar la máxima cantidad de trabajo o cubrir la mayor distancia posible en el tiempo establecido (ilustración 5).

Protocolos de potencia constante.

Aquí el sujeto mantiene constante la producción de potencia hasta la fatiga, definida como la incapacidad para mantener la potencia, velocidad o cadencia. La variable que se mide en este caso es la duración (ilustración 5).

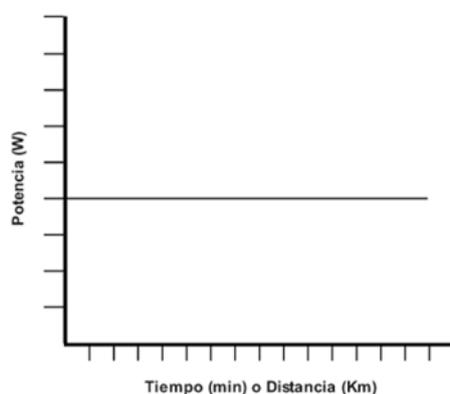


Ilustración 5. Esquema de prueba de carga constante, duración fija o potencia constante (adaptado de Gonzalez-Haro, 2008)

Protocolos para evaluar la potencia crítica.

Consisten en realizar series a una potencia o carga constante, realizando cada una de ellas a diferentes intensidades debido a que se ejecutan diferentes series y para que el rendimiento del deportista no se vea alterado se suelen realizar en diferentes días. La potencia y la duración de cada serie se combinan en una ecuación matemática para estimar la potencia crítica y la capacidad de trabajo anaeróbica (ilustración 6).

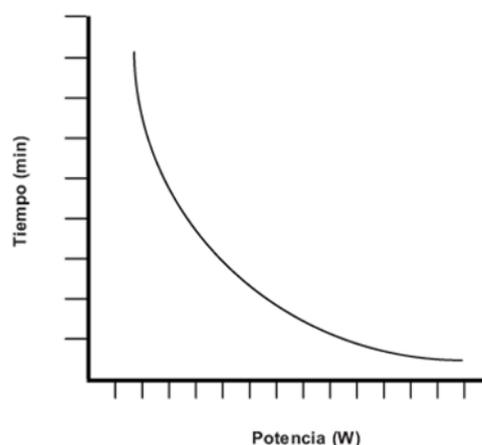


Ilustración 6. Esquema de prueba para evaluar la potencia crítica (adaptado de Gonzalez-Haro, 2008)

Protocolos incrementales para determinar el umbral anaeróbico.

Se realizan mediante series a una intensidad constante pero progresiva entre ellas y durante toda la prueba normalmente se va monitorizando la lactatemia y las variables cardiorespiratorias. De este modo la detección del umbral anaeróbico se puede venir determinado por diferentes métodos: lácticos, ventilatorios y cardiacos (ilustración 7).

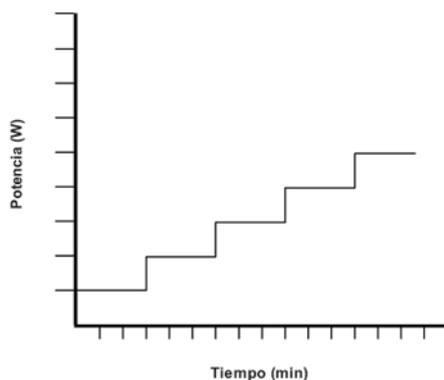


Ilustración 7. Esquema de prueba para determinar el umbral anaeróbico (adaptado de Gonzalez-Haro, 2008).

Protocolos incrementales para determinar la PAM.

Consisten en la realización de una prueba progresiva hasta la fatiga, son protocolos que oscilan entre los 10 y los 15 minutos de duración y el rendimiento es medido como la potencia alcanzada en el punto de fatiga, o el VO_2 más elevado medido durante el test (normalmente se calcula la media cada 30 segundos o cada minuto), (ilustración 8).

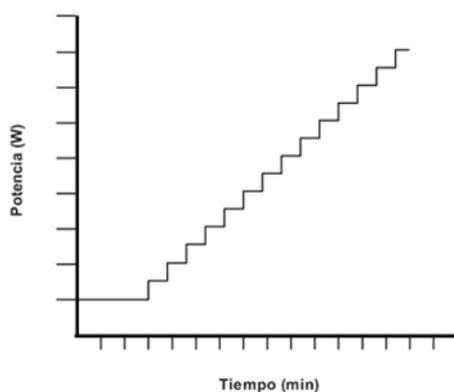


Ilustración 8. Esquema de prueba para determinar la PAM (adaptado de Gonzalez Haro, 2006).

Los protocolos de valoración empleados en laboratorio se han utilizado tradicionalmente en el ciclismo y más recientemente en el triatlón como herramientas válidas para medir de forma precisa el potencial de las variables fisiológicas del deportista. El instrumento más comúnmente utilizado para ello ha sido el cicloergómetro con el que se obtienen los parámetros fisiológicos y biomecánicos en ciclistas desde aficionados a profesionales y élite así como en triatletas de corta y larga distancia. El rendimiento se mide como la producción de trabajo mecánico, la cual es el producto de la fuerza de rozamiento que ofrece el freno del cicloergómetro y la frecuencia de pedaleo (González-Haro, 2008).

Desde hace décadas se ha utilizado la monitorización de algunas variables fisiológicas como son la frecuencia cardíaca, el lactato y el consumo de oxígeno, con el objetivo de cuantificar el entrenamiento en los deportistas de élite y profesionales.

En el pasado el hecho de realizar esta serie de protocolos de campo entrañaba una serie de dificultades por lo que en la mayoría de los casos estos test se realizaban en laboratorio. Actualmente y gracias a las evoluciones tecnológicas en este campo muchas de estas variables pueden ser medidas de forma válida y fiable en situaciones de entrenamiento y competición.

La ventaja de estas pruebas reside en su especificidad ya que es un aspecto muy importante a la hora de evaluar a los deportistas con su propio material y en su entorno.

También conviene recordar que las valoraciones a periódicas que se realizan a los deportistas nos permiten conocer la efectividad o no de los programas de entrenamiento con lo que todas las pruebas deben permitir la cuantificación de una forma objetiva, válida y fiable de los efectos que han tenido sobre el organismo del individuo los diferentes estímulos de entrenamiento realizados, permitiendo de esta manera una individualización de la carga de entrenamiento en cuanto a su volumen, intensidad y densidad, de las sesiones de entrenamiento venideras hasta que se realice una nueva batería de valoraciones.

A modo de ejemplo (Billat, 2002), nos propone la realización de una serie de pruebas en función del deporte que se practique teniendo en cuenta el nivel y la frecuencia de los entrenamientos programados que conllevan unas valoraciones médicas para establecer el estado de salud inicial, sobre todo en principiantes y posteriormente se efectuarán en función del parámetro tiempo, de la frecuencia de los entrenamientos semanales y de su motivación (ilustración 9).

| Tipos de deporte (duración y forma) | Niveles de práctica | Tipos de test | Frecuencia anual |
|--|---------------------|--|---------------------------------------|
| Deportes continuos de duración superior a 10 minutos <i>Carrera de fondo, ciclismo, triatlón, esquí de fondo, marcha deportiva, natación en más de 800 m, remo</i> | Medio* | $\dot{V}O_2$ máx. | 1 |
| | Experimentado | $\dot{V}O_2$ máx. umbral anaeróbico | 1 o 2 |
| | Avanzado | $\dot{V}O_2$ máx. umbral anaeróbico, tiempo límite al $\dot{V}O_2$ máx. | 2 a 4 octubre, enero, abril, julio |
| Deportes intermitentes de duración superior a 10 minutos <i>Tenis, golf, deportes colectivos, boxeo</i> | Medio* | $\dot{V}O_2$ máx. | 1 |
| | Experimentado | $\dot{V}O_2$ máx. carga-velocidad, Wingate | 1 o 2 |
| | Avanzado | $\dot{V}O_2$ máx. carga-velocidad, Wingate, tiempo límite al $\dot{V}O_2$ máx. | 2 a 4 octubre, enero, abril, julio |
| Deportes continuos de duración comprendida entre 3 y 10 minutos <i>Carrera de medio fondo, ciclismo en pista (persecución), natación de 400 a 800 m, remo (1.000 a 2.000 m)</i> | Medio* | $\dot{V}O_2$ máx. | 1 |
| | Experimentado | $\dot{V}O_2$ máx. carga-velocidad, Wingate | 1 o 2 |
| | Avanzado | $\dot{V}O_2$ máx. carga-velocidad, Wingate, tiempo límite al $\dot{V}O_2$ máx. | 2 a 4 octubre, enero, abril, julio |
| Deportes intermitentes de duración comprendida entre 3 y 10 minutos <i>Judo, lucha, escalada de competición</i> | Medio* | $\dot{V}O_2$ máx. | 1 |
| | Experimentado | $\dot{V}O_2$ máx. carga-velocidad, Wingate | 1 o 2 |
| | Avanzado | $\dot{V}O_2$ máx. carga-velocidad, Wingate, tiempo límite al $\dot{V}O_2$ máx. | 2 a 4 octubre, enero, abril, julio |
| Deportes continuos de duración inferior a 3 minutos <i>Natación (de 50 a 200 m), ciclismo (esprint), carrera (50-400 m), gimnasia</i> | Medio* | $\dot{V}O_2$ máx. | 1 |
| | Experimentado | $\dot{V}O_2$ máx. carga-velocidad | 1 o 2 |
| | Avanzado | $\dot{V}O_2$ máx. carga-velocidad, Wingate, | 2 a 4 octubre, enero, abril, julio |
| Deportes intermitentes de duración inferior a 3 minutos <i>Concurso: lanzadores, saltos,...</i> | Medio* | Salto vertical | 1 |
| | Experimentado | Salto vertical, test de Margaria, | 1 o 2 |
| | Avanzado | Salto vertical, test de Margaria, Carga-velocidad | 2 a 4 octubre, enero, abril, julio |

Ilustración 9. Elección del tipo de tests, de la frecuencia y del período en función de la especialidad deportiva y del nivel de práctica. (adaptado de Billat, 2002).

1.4 Tendencias actuales. Monitorización de la potencia en ciclismo.

Las valoraciones fisiológicas de la capacidad aeróbica del deportista es un concepto que viene siendo utilizado ampliamente por los científicos y entrenadores en el ámbito deportivo para evaluar la resistencia y así poder establecer las intensidades de entrenamiento adecuadas, si bien se han utilizado también en numerosos casos para la identificación de talentos.

En el caso del ciclismo en ruta, la validez de estas pruebas fisiológicas ha sido demostrada por varios estudios que muestran las relaciones significativas que existen entre el rendimiento de esta disciplina y el VO_{2max} , así como entre la producción de potencia y los distintos hitos fisiológicos (Hopkins, Schabort, y Hawley, 2001).

En el ámbito de las ciencias del deporte, los test de valoración que se han utilizado para conocer el potencial físico tienen como objetivo el evaluar la capacidad de rendimiento que tiene cada deportista individualmente, por lo que se abordan desde una perspectiva muy específica a la disciplina deportiva en la que se aplican.

En las pruebas de larga distancia, el rendimiento se ha podido asociar a un factor determinante de este, el VO_{2max} y también por la capacidad que tiene el deportista para aprovechar un alto porcentaje del VO_{2max} durante un tiempo determinado y predefinido (Bosquet, Leger, y Legros, 2002).

Actualmente en ciclismo, el análisis de la Potencia nos ofrece una mayor precisión para monitorizar el rendimiento y obtener datos como la Potencia Aeróbica Máxima (PAM) que se corresponde con el nivel de Potencia mecánica a partir del cual el VO_2 no aumenta y comienza a llegar a su límite, VO_{2max} .

A través de estos datos de potencia mecánica que pueden ser monitorizados en ciclismo mediante el uso de dispositivos electrónicos, algunos estudios que aparecen en la literatura sugieren modelos matemáticos que permiten determinar la potencia desarrollada por los ciclistas mediante comparaciones entre la potencia

estimada mediante el modelo matemático y la captada por el dispositivo en condiciones reales (Martin, Milliken, Cobb, McFadden, y Coggan, 1998).

En muchos casos y comparado con las dificultades que tienen algunos entrenadores y deportistas para el acceso a las tecnologías de valoraciones en laboratorio, estas metodologías de estimación de la potencia son un recurso accesible y que permite valorar al deportista con su propio material y en condiciones reales de competición o entrenamiento y según ha quedado demostrado en la literatura (Gonzalez-Haro, Ballarini, Soria, Drobic, y Escanero, 2007).

Durante los últimos años se han desarrollado estudios con el propósito de establecer modelos matemáticos para la estimación de la potencia desarrollada por el ciclista de manera indirecta, se trata de modelos que tienen en cuenta una multitud de factores que intervienen en este proceso, tales como la velocidad del viento, la resistencia a la rodadura, la gravedad, los elementos mecánicos de las bicicletas y se tiende a estudiar estos parámetros tanto en condiciones de terreno plano como en subida con el fin de controlar los posibles errores que afecten al resultado de las estimaciones de dichos modelos (Millet, Tronche, y Grappe, 2014).

Si nos referimos a las tendencias en el control del entrenamiento y su programación, una de las aplicaciones de la potencia en el ciclismo más extendida y compartida es la propuesta introducida por Hunter Allen y Andrew Coggan (2010). Estos establecieron el concepto de zona de intensidad de referencia del entrenamiento por potencia para modalidades de larga duración, el FTP (Functional Threshold Power) en sus siglas en inglés o UPF (Umbral Funcional de Potencia) en su adaptación al castellano.

El Umbral Funcional de Potencia UPF es el equivalente al Umbral Anaeróbico y que en términos de potencia se establece como la máxima potencia media que un ciclista puede desarrollar durante 60 minutos sin grandes alteraciones de esfuerzo.

Durante esta prueba para determinar el FTP no hay impacto articular, en el caso del ciclismo, y puede desarrollarse periódicamente por ciclistas experimentados para monitorizar el rendimiento y su evolución, pero la dureza intrínseca de la

prueba, aconseja que en deportistas de menor nivel esta prueba se realice durante 20 minutos aplicando un factor de corrección que puede variar de un 2 a un 10% en función de las capacidades aeróbicas del sujeto.

Una vez obtenidos los datos estos autores proponían una tabla con siete niveles o áreas de entrenamiento categorizados de manera que se puedan establecer programas de entrenamiento particularizados (ilustración 10).

TABLA 3.1 Niveles de entrenamiento de la potencia

| Nivel | Descripción | % de FTP* | % de FTHR* | TEP** | Duración típica de carrera continua | Duración típica del esfuerzo de intervalo |
|-------|------------------------|-----------|------------|--------|-------------------------------------|---|
| 1 | Recuperación activa | <55 | <68 | <2 | 30-90 min | N/A |
| 2 | Resistencia | 56-75 | 69-83 | 2-3 | 60-300 min | N/A |
| 3 | Ritmo | 76-90 | 84-94 | 3-4 | 60-180 min | N/A |
| 4 | Umbral de lactato | 91-105 | 95-105 | 4-5 | N/A | 8-30 min |
| 5 | VO ₂ max | 106-120 | >106 | 6-7 | N/A | 3-8 min |
| 6 | Capacidad anaeróbica | 121-150 | N/A | >7 | N/A | 30 s-3 min |
| 7 | Potencia neuromuscular | N/A | N/A | Máxima | N/A | <30 s |

*El porcentaje de potencia media y de ritmo cardiaco medio están al umbral funcional.
**La TEP utiliza la Escala de Borg de 10 puntos (ver tabla 3.3).

Ilustración 10. Propuesta de zonas de entrenamiento en ciclismo en función de la potencia (adaptado de Allen y Coggan, 2010).

Recientemente se ha demostrado que el FTP es el equivalente al comienzo de la concentración de lactato sanguíneo de 4,0 mMol/L (Gavin et al., 2012), con lo que estudios de este tipo apoyan y fomentan su uso en la actualidad.

Derivados de estos postulados de Allen & Coggan (2010) se han ido incorporando métricas basadas en la potencia desarrollada, aplicadas a ciclismo y triatlón, conceptos basados en la utilización de los potenciómetros y monitorizados directamente o con ayuda de plataformas y software online como es el caso de la plataforma TrainingPeaks Coach Edition ("Online Coaching Software & Workout Log for Coaches | TrainingPeaks," 2015).

Plataformas como Allinyourmind (Esteve-Lanao, 2015) introducen sistemas de entrenamiento basados en el control y la monitorización del perfil fisiológico del deportista con un seguimiento longitudinal y apoyados en el uso de estas métricas de la potencia (ilustración 12).

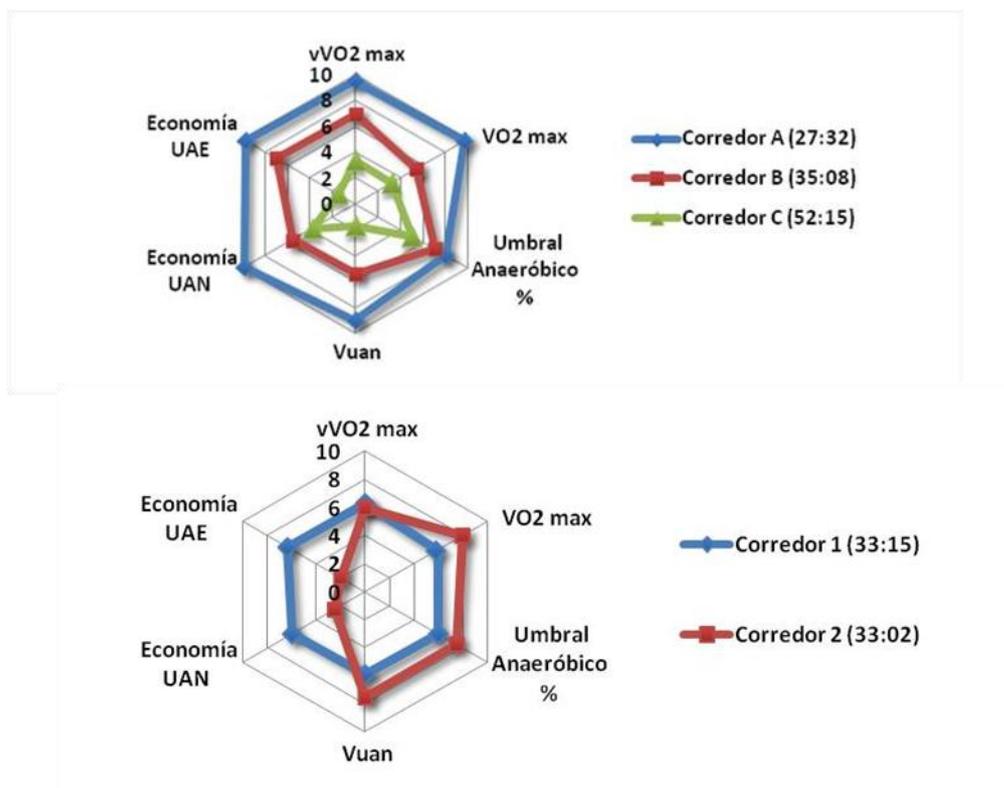


Ilustración 11. Ejemplo de gráficas de control y monitorización del perfil fisiológico de los deportistas (adaptado Esteve Lanao, 2015).

La aparición de métricas como el “Power Profile” o Perfil de Potencia (PP), nos permiten analizar los puntos fuertes y débiles del ciclista o clasificar su nivel con respecto a ciertos rankings de rendimiento.

Otros como la “Normalized Power” o Potencia Normalizada (FN) constituyen una mejor medida de la demanda fisiológica real que ha supuesto una determinada sesión de entrenamiento que el dato de la Potencia Media obtenido con el FTP. La Potencia Normalizada siempre será algo mayor que la Potencia Media ya que la

diferencia entre ambas será mayor cuanto más fluctuante haya sido la producción de potencia durante la etapa o la sesión de entrenamiento.

El “Intensity Factor” o Factor de Intensidad (FI), se define como el cociente entre la Potencia Normalizada PN y y el Umbral Funcional de Potencia FTP.

Otra métrica derivada del modelo es el “Training Stres Store”, que es un índice para cuantificar a carga y que tiene para deducirlo se tiene en cuenta tanto la intensidad del entrenamiento FI como la duración de cada sesión. El TSS es el producto de la duración del ejercicio (en horas) por el Factor de Intensidad al cuadrado.

Recientemente se desarrolló el concepto de “Record Power Profile” o (RPP) (Pinot y Grappe, 2010) que se ha utilizado con el fin de obtener el seguimiento de las calidades físicas de los ciclistas en función de los datos obtenidos de potencia desarrollada y el tiempo. Para hacer posible este seguimiento ha sido necesario la utilización de instrumentos de medición de potencia móviles validados científicamente e instalados en las bicicletas de los deportistas a lo largo de la temporada. Estos estudios muestran que mediante este nuevo concepto del RPP, se puede expresar el potencial físico de cada ciclista poniendo en relación los diferentes datos de Potencia obtenidos y el tiempo en el que se producen (Pinot y Grappe, 2011b), (ilustración 12).

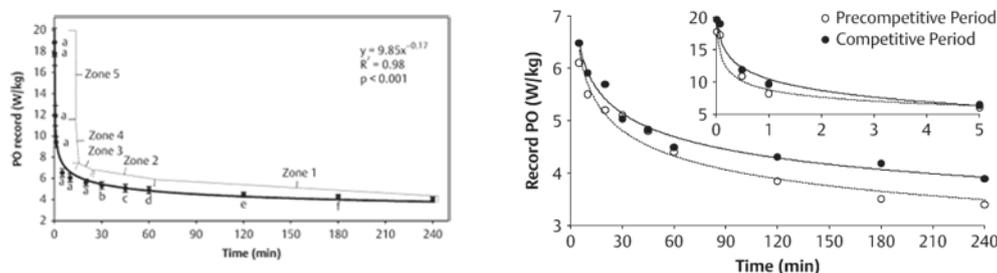


Ilustración 12. Ejemplos de aplicación del RPP en el seguimiento temporal de los ciclistas y comparativas entre ellos. (adaptado de Pinot & Grappe, 2011)

Este mismos autores han que demostrado que el RPP se puede considerar como un método innovador para el proceso del entrenamiento en ciclismo y para la

evaluación de las capacidades físicas de los ciclistas y contrastando este modelo con modelos matemáticos anteriores ya validados en la literatura (Pinot y Grappe, 2011a).

Otra líneas de investigación actuales en el campo de la biomecánica aplicada al ciclismo asocian los conceptos de Potencia y Fuerza (ilustración 13), versando sus estudios en lo que se refiere a las relaciones existentes entre la técnica de pedaleo a distintas intensidades y a la aplicación de las fuerzas ejercidas por el ciclista y su repercusión en el rendimiento y la prevención de lesiones (Bini, Hume, y Cerviri, 2011).

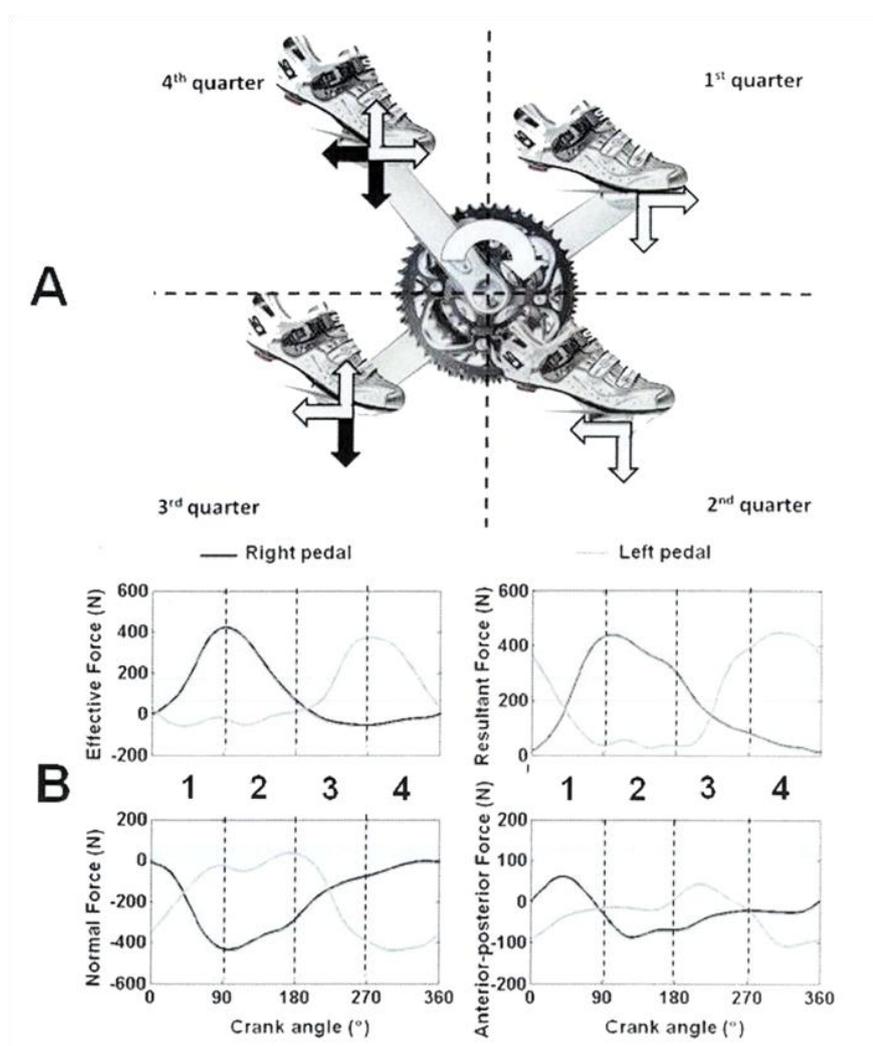


Ilustración 13. A. Diagrama de fuerzas efectivas durante el ciclo de pedaleo y B. Cuadrantes fuerzas normal y efectiva (adaptado de Bini y Carpes, 2014)

Para ello han venido utilizando instrumental que se empleaba en laboratorio y que asociaba métricas de potencia desarrollada por el ciclista con pedales instrumentados que permiten analizar los momentos de fuerza aplicados en los pedales para de este modo comprobar las interrelaciones que existen entre la carga y la efectividad de las fuerzas aplicadas en cada pierna ya que la correcta aplicación de esta implica una mejora en la producción de potencia y por consiguiente una mejora en el rendimiento (Bini, Diefenthaler, y Carpes, 2014). Efectivamente, un gran porcentaje del trabajo mecánico producido muscularmente por el tren inferior en posición sentado se traduce en el total de las fuerzas aplicadas sobre los pedales y estas se pueden representas siguiendo las tres componentes ortogonales de la fuerza a través de estos ejes (x, y, z) (ilustración 14).

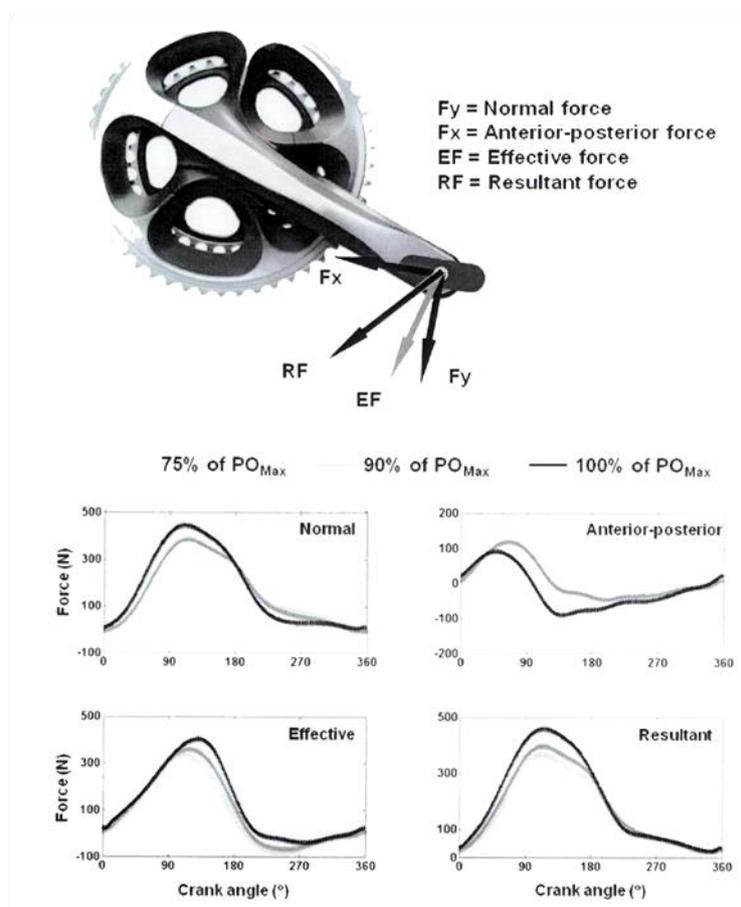


Ilustración 14. Diagrama de la descomposición de fuerzas aplicadas en el pedal utilizadas en ciclismo y grados de intensidad durante un test incremental (adaptado de Bini y carpes, 2014).

De este modo se ha podido estudiar las relaciones que existen entre factores que afectan al rendimiento y la producción de fuerzas aplicadas, relacionando parámetros como la cadencia, la carga aplicada, la posición del ciclista, posición de las bielas con respecto al eje pedalier, etc

Tendencias recientes estudian la existencia o de asimetrías bilaterales durante el pedaleo e incluyen en los análisis cinemáticos que se venían empleando, pedales instrumentados que permiten el control de las cargas por potencia y al mismo tiempo también estudian los momentos de fuerza aplicados (Bini y Hume, 2014; Diefenthaler, Bini, Carpes, y Vaz, 2007; Carpes, Faria, y Mota, 2007)

1.5 Estado actual en cuanto a validez y reproducibilidad de instrumentos de medida para la monitorización de la potencia en ciclismo.

Desde hace una década la potencia desarrollada por los ciclistas ha podido ser medida mediante el uso de dispositivos electrónicos instalados en las bicicletas y numerosos sistemas han aparecido en el mercado con este fin (SRM, Powertap, Keo power, Garmin Vector, Stages cycling,...), midiendo la potencia desarrollada por los ciclistas durante los entrenamientos y también en competición.

Estos dispositivos están diseñados en su mayoría para poder registrar los valores de potencia durante los test de campo y de laboratorio, pero también durante el propio entrenamiento regular y la competición.

Las valoraciones en de laboratorio han tenido como finalidad el estudio y monitorización de los factores fisiológicos de rendimiento en ciclismo y ya cada vez más se usan para conocer los momentos de fuerza aplicados por el ciclista en situaciones de intensidad distintas donde aparecen otros factores biomecánicos que tienen gran importancia en el rendimiento.

Los cicloergómetros miden la potencia desarrollada por el ciclista cuando intenta contrarrestar la suma de las fuerzas resistivas que se le oponen. En los cicloergómetros estáticos de laboratorio tienen integrados la carga a vencer como parte del dispositivo ya sea por fricción de una rueda de inercia, por un freno electromagnético o por resistencia del aire.

Al tratarse de dispositivos relativamente recientes, se hace difícil encontrar en la literatura estudios sobre la validez y reproducibilidad de este tipo de instrumentos para sus distintos usos, laboratorio, pruebas de campo o ambos.

En cuanto a las pruebas de laboratorio los cicloergómetros más comúnmente utilizados y cuyos parámetros de reproducibilidad y fiabilidad han sido estudiados anteriormente son Monark (Maxwell et al., 1998), Lode Excalibur Sport (Earnest, Wharton, Church, y Lucia, 2005) y Kingcicle (Balmer, Davison, Coleman, y Bird, 2000) (ilustración 15).



Ilustración 15. Cicloergómetros generalmente utilizados en valoraciones en laboratorio, Monark y Lode Excalibu Sport.

Con la aparición de protocolos como el ANT+ o el Bluetooth que permiten enlazar y conectar dispositivos a muy bajas frecuencias en los últimos años han ido apareciendo multitud de dispositivos electrónicos que permiten monitorizar la potencia desarrollada en ciclismo en condiciones reales de uso ya que van

integrados en las propias bicicletas. Este tipo de protocolos permite a entrenadores y deportistas realizar un seguimiento instantáneo de su rendimiento y también realizar análisis a lo largo de periodos del tiempo.

El entrenamiento es la clave para la mejora del rendimiento en ciclismo y en deporte en general por lo que es imperativo el poder cuantificar, monitorizar y analizar los datos para progresar. Los instrumentos de medición de potencia nos posibilitan realizar mediciones precisas de la potencia del ciclista a la vez que enlazados con otros dispositivos nos permiten monitorizar por parte del ciclista y entrenador datos relativos a las cargas programadas, la táctica a emplear, las condiciones del terreno, etc. Al terminar las sesiones los numerosos software y plataformas nos permiten un análisis más pormenorizado de estos datos para poder programar entrenamiento con mayor exactitud y focalizando en objetivos concretos al mismo tiempo que permiten contrastar el “feedback” que tiene el deportista con la realidad de los datos que ha producido durante los entrenos o en competición.

Los software asociados o compatibles con los dispositivos permiten el posterior análisis de los datos recogidos por los potenciómetros y sirven para analizar métricas como picos de potencia, el tiempo que se ha estado en las diferentes zonas de intensidad, datos de potencia y frecuencia cardiaca, velocidad. Incluso hay algunos que tienen integrados métricas para la carga de entrenamiento actuales hoy en día como el TSS, la potencia Normalizada NP o el Factor de intensidad IF, permitiendo un seguimiento objetivo del rendimiento a largo plazo con el fin de optimizar el entrenamiento y la competición (ilustración 16).



Ilustración 16. Esquema gráfico del procedimiento de toma de datos de potencia en ciclismo.

Los dispositivos actuales para la medición de la potencia en ciclismo se pueden situar en distintas partes de la bicicleta y podemos diferenciarlos en función de su situación en la bicicleta (ilustración 17).



Ilustración 17. Localización de los instrumentos de medición de potencia integrados en la propia bicicleta. Plato buje trasero, bielas y pedales.

El dispositivo que está considerado como el “Gold Estándar”, el patrón de oro es el SRM, este dispositivo fue creado en 1986 por el ingeniero alemán Ulrich Schoberer y progresivamente ha sido utilizado hasta nuestros días por la mayoría de los equipos profesionales del pelotón ya que han comprendido rápidamente la utilidad de este tipo de dispositivos para la preparación de sus deportistas (ilustración 18).



Ilustración 18. Medidor de potencia SRM (Schoberer Rad Meßtechnik, Fuchsend, Germany).

El SRM (Schoberer Rad Meßtechnik, Fuchsend, Germany) es un dispositivo integrado en un set que incluye platos y bielas de la bicicleta y basa su tecnología en el principio tecnológico de la medida de las deformaciones que se producen en las bielas, datos que se obtienen a través de unas galgas extensiométricas muy sensibles que dependiendo de los modelos van de 4, 8 y 20 respectivamente en función de que se trate de modelos de inicio de gama o profesional y científicos.

El SRM calcula la Potencia Desarrollada multiplicando la fuerza aplicada en las bielas, recogida por las galgas extensiométricas situadas en el interior del eje pedalier. La validez y reproducibilidad de este dispositivo ha sido probada científicamente y su uso continuado por otros investigadores para sus investigaciones lo convierten en el dispositivo móvil para la medición de potencia de referencia actualmente y se está usando para validar nuevos potenciómetros actualmente en el mercado (Gardner et al., 2004).

Test de valoraciones para el rendimiento en ciclismo donde se utilizaron tanto cicloergómetros de laboratorio como potenciómetros móviles, indicaban que los resultados de medición de potencia de este dispositivo lo convertían en el dispositivo más adecuado para medir el rendimiento del ciclista debido a la que el error en su medida era prácticamente despreciable (Paton y Hopkins, 2001).

Otro dispositivo que también está reconocido por la comunidad científica y los profesionales del ciclismo es el sistema PowerTap (Cycleops, Madison, U.S.A.), este es un sistema integrado en el buje de la rueda trasera, permitiendo así una cierta movilidad del dispositivo ya que es muy fácil de trasladar de una bicicleta a otra cambiando la rueda trasera. Al igual que el SRM tiene integrado el sistema ANT+ con lo que se enlaza fácilmente con la gran mayoría de los dispositivos para poder intercambiar los datos y monitorizarlos al instante (ilustración 19).



Ilustración 19. Medidor de potencia PowerTap (Cycleops, Madison, U.S.A.).

El PowerTap utiliza una tecnología similar al SRM basada en la utilización de 8 galgas extensiométricas situadas en el interior del buje de la rueda trasera y que miden las deformaciones producidas en este y nos dan la medida del momento de fuerza que se produce en el buje. El hecho de que PowerTap mida el par en el buje hace necesario medir la velocidad angular en el mismo sitio, esta se mide por unos sensores situados en el mismo lugar para el cálculo de la potencia.

La validez de este dispositivo, considerado como otro dispositivo de referencia para su uso en ciclismo al igual que el SRM ha sido probada y se viene utilizando en

el ámbito del ciclismo apoyado en su versatilidad y fiabilidad (Bertucci, Duc, Villerius, y Grappe, 2005; Gardner et al., 2004).

Si bien estos dos dispositivos, el SRM y el PowerTap son considerados como los dispositivos de referencia en este ámbito, en los últimos diez años han ido apareciendo una serie de dispositivos con tecnologías diferentes sobre los que se han realizado una serie de estudios en visos comprobar la validez y la reproducibilidad de sus medidas de potencia. Algunos obtuvieron resultados positivos en cuanto a la reproducibilidad de sus medidas como el Axiom Powertrain Ergometer, dispositivo de medición de potencia estacionario que integraba una tecnología basada en un freno electromagnético (Bertucci, W et al., 2005).

Sin embargo otros estudios mostraron por el contrario que los resultados de potencia obtenidos con el dispositivo alemán ErgomoPro, (SG Sensoetechnik GmbH & Co, KG, Mörfeldn-Walldorf, Germany) integrado en el eje pedaliar reflejaban datos menos válidos y reproducibles que los obtenidos con los sistemas SRM y PowerTap (Duc, Villerius, Bertucci, y Grappe, 2007).

El sistema Velotron,(RacerMate, INC., Seattle, Whashington U.S.A.) consiste en un cicloergómetro controlado por computadora y que usa una tecnología basada en una rueda de inercia trasera a la cual se someten las cargas de un freno electromagnético junto con unos platos con desarrollos (ilustración 20).



Ilustración 20. Medidor de potencia velotron (RacerMate, INC., Seattle, Whashington U.S.A.).

Este sistema fue estudiado y comparado con el SRM. Las medidas de potencia obtenidas por el Velotron comparadas con el SRM indicaban que eran válidas para determinados test realizados a carga constante, sin embargo, sometido a pruebas con cargas más heterogéneas la validez de la medida era inferior (Abbiss, Quod, Levin, Martin, y Laursen, 2009).

Recientemente ha llegado al mercado un cicloergómetro indoor de fabricación inglesa denominado Wattbike, (Wattbike Ltd., Nottingham, U.K.) cuya especificidad reside en que tiene una gran adaptabilidad en cuanto a las posiciones que puede adoptar el ciclista al usarla ya que permite el cambio de dimensiones como la altura del sillín la posición del manillar y también permite utilizar el material del propio ciclista, como pedales y el sillín, lo que lo aproxima a una postura similar a la que trae el ciclista. Este cicloergómetro presenta un sistema de frenado dual basado en un freno de aire en la rueda delantera asociado a un freno electromagnético incorporado (ilustración 21).



Ilustración 21. Medidor de potencia Wattbike (Wattbike Ltd., Nottingham, U.K.).

Sobre este cicloergómetro se realizó un estudio para comprobar su validez y reproducibilidad comparándolo con SRM y se obtuvieron resultados que indicaban que a ciertas cargas los datos se acercaban a los del SRM pero sin embargo a bajas cargas los datos obtenidos se deberían tratar con cierta cautela (Hopker, Myers, Jobson, Bruce, y Passfield, 2010)

Otras disciplinas como el BMX visto la llegada de potenciómetros a para ser utilizados en condiciones reales de campo, el dispositivo G-Cog (Renen Design Group, Middleboro, Massachusetts, U.S.A.) consiste en un sistema de medición electrónico situado en un engranaje que se reemplaza en la propia bicicleta del ciclista, su validez y reproducibilidad han sido estudiadas recientemente concluyendo que sus medidas no pueden ser consideradas válidas comparadas con el dispositivo SRM y el PowerTap (Bertucci, Crequy, y Chiementin, 2012).

Hemos tratado algunos de los más relevantes estudios científicos que tratan sobre la validez y la reproducibilidad de algunos potenciómetro integrados en la bicicleta del ciclista y en algún caso formando parte de un sistema de ciclismo indoor Recientemente también se han estudiado estos parámetros en rodillos de entrenamiento para ciclismo como es el caso del Fortius Virtual Reality cycle trainer (Tacx B.V., Wassenaar, the Netherlands), este rodillo como muchos de los que se comercializan en la actualidad permite asociar mediante un software un sistema de video vinculado don un GPS para realizar recorridos virtuales simulando recorridos grabados previamente que reflejan las condiciones del terreno. La validez y reproducibilidad de este dispositivo se comprobó comparando sus datos con el PowerTap y obteniendo resultados satisfactorios en un primer estudio (Peiffer y Losco, 2011), aunque de un estudio posterior demostraba que la potencia obtenida con este dispositivo sobre estimaba la obtenida con el PowerTap pero en cualquier caso encontró que el error típico de a medida era reproducible, con lo que aplicando un factor corrector sobre la medida de potencia obtenida mediante un software de calibración, los datos podrían ser validos (Bertucci, 2012).

Las últimas tendencias en cuanto a medidores de potencia integrados en la propia bicicleta del ciclista nos muestran la aparición de dispositivos integrados en

los pedales, que además de los datos de potencia mecánica aplicada sobre ellos también aportan datos sobre la intensidad y dirección de las fuerzas aplicadas y nos permiten manejar datos aplicables en el campo de la biomecánica del ciclismo asociando potencia y fuerza.



Ilustración 22. Medidor de potencia Polar Look Keo Power (Look, Cadex, France).

Este es el caso de los pedales instrumentados Look Keo Power Pedals, (Look, Cadex, France) que llevan integrados en el eje del pedal 8 calibradores de tensión cuyos datos asociados a la cadencia permiten extraer los datos de potencia mecánica aplicada sobre ellos (ilustración 22).

Un reciente estudio reflejaba que los datos de este dispositivo cuando se compara con el SRM sugieren que no son reproducibles y por lo tanto limita su uso en el campo de las ciencias del deporte (Sparks, Dove, Bridge, Midgley, y McNaughton, 2015).

De igual modo otra reciente investigación se ha ocupado de estudiar la validez y reproducibilidad del dispositivo Stages Cycling, (Stages Cycling, Saddleback Ltd., U.K.), dispositivo que estima la potencia en función de los datos obtenidos por unos sensores integrados en las bielas. El estudio se realizó en la disciplina de ciclismo de montaña comparado con SRM, estableciendo que los resultados arrojados por Stages Cycling indican que los datos de potencia media de los dos dispositivos son reproducibles, sin embargo el Stages infra estima la

potencia con respecto a SRM (Hurst, Atkins, Sinclair, y Metcalfe, 2015) (ilustración 23).



Ilustración 23. Medidor de potencia en las bielas Stages Cycling (Stages Cycling, Saddleback Ltd., U.K.).

Numerosos son los dispositivos que han ido apareciendo en el mercado recientemente para medir la potencia algunos de ellos como son el Quark, Power2max, Rotor Power, Pioneer pero actualmente no existen datos en publicaciones científicas sobre su validez y reproducibilidad (ilustración 24).



Ilustración 24. Medidores de potencia Power2max, Rotor Power, Quark, y Pioneer.

Finalmente ha aparecido en el mercado recientemente el medidor de potencia integrado en los pedales Garmin Vector, (VCT, Olathe, U.S.A.), se trata de un sistema basado en los pedales y compatible con calas Look Keo (Look, Cadex, France), cuenta con un sensor de cadencia integrado en el eje del pedal, el sistema mide la flexión que se ejerce sobre este gracias a unos sensores integrados en este y que asociados a un acelerómetro, que nos proporciona los datos de la velocidad angular, permite calcular la potencia. El sistema va integrado en ambos pedales, por lo que es capaz de proporcionar los datos de potencia por separado y así podemos identificar las posibles desviaciones de potencia producidas en cada pierna (ilustración 25).

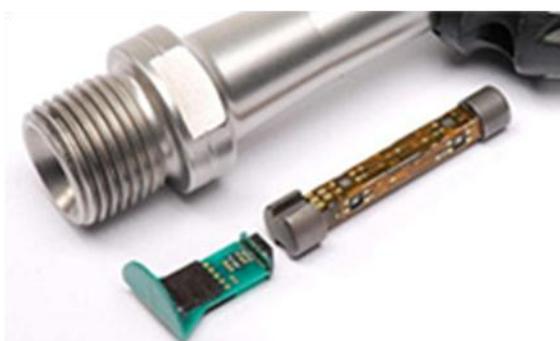


Ilustración 25. Medidor de potencia en los pedales Garmin Vector (VCT, Olathe, U.S.A.).

El elevado coste de la mayoría de sistemas ha llevado a los fabricantes a desarrollar tecnologías más asequibles y que puedan ser utilizadas tanto en campo como en laboratorios por los deportistas e investigadores, debido a lo reciente aparición de estos dispositivos no existen estudios que comprueben la validez y la reproducibilidad de estos dispositivos para su uso por parte de la comunidad científica y sus correspondientes aplicaciones al entrenamiento y rendimiento.

Por tanto se hace necesario comprobar la validez y reproducibilidad de los registros de potencia obtenidos con estos nuevos dispositivos. En caso de obtener medidas robustas y precisas, la adquisición de estos instrumentos menos costosos y logísticamente más sencillos que el Gold Standard permitirá hacer más accesible al ciclista amateur o de tecnificación una herramienta con gran aplicación práctica en la valoración y monitorización del entrenamiento y del ciclista.

2. OBJETIVOS

Una vez realizada la revisión bibliográfica, conocido el marco teórico y definido el problema de estudio nos planteamos los siguientes objetivos:

- Estudiar la validez de los resultados obtenidos con los medidores de potencia Garmin Vector y PowerTap durante la realización de una prueba incremental submáxima en condiciones de laboratorio.
- Describir los índices de reproducibilidad inter-sujeto de los pedales Garmin Vector y PowerTap.

3. HIPÓTESIS

En base a estos objetivos, las hipótesis que nos planteamos antes de la realización de este estudio son:

- Hipótesis 1: Los datos obtenidos por el medidor de potencia situado en los pedales Garmin Vector y los del PowerTap, situado en el buje de la rueda trasera, son válidos comparados con el potenciómetro SRM considerado como patrón de oro e instrumentos de medición de referencia en el ámbito del ciclismo y triatlón.
- Hipótesis 2: Los dispositivos Garmin Vector y PowerTap arrojan índices de reproducibilidad satisfactorios y en consecuencia pueden ser utilizados por la comunidad científica para realizar valoraciones y monitorizar el rendimiento en las disciplinas de ciclismo y triatlón.

4. METODOLOGÍA

4.1 Tipo de investigación

La metodología de este Trabajo Fin de Máster queda determinada por el tipo de investigación que pretendamos hacer y, más concretamente, por los objetivos buscados, la naturaleza de las variables y los sujetos que conforman la muestra.

Dadas las características de los datos y las variables dependientes nuestro estudio se puede considerar como de tipo cuantitativo no experimental y descriptivo. Por último, la investigación es de carácter transversal, ya que la relación entre los datos se analizó en un momento determinado, y no consideramos posibles cambios que pudieran producirse con los diferentes procesos de entrenamiento y competición.

4.2 Muestra

Para este estudio se ha realizado un muestreo de tipo casual o incidental. Un total de ocho ciclistas experimentados participaron de forma voluntaria en el estudio. La característica común en todos ellos es que entrenaban y competían en bicicleta en sus respectivas modalidades y especialidades. Las características generales de la muestra aparecen en la Tabla 3.

Tabla 3. Características de la muestra.

| | Edad (años) | Masa Corporal (kg) | Talla (cm) | IMC (kg/m ²) | Años de Etto. (años) | Altura Sillín (cm) | Desarrollo (plato/piñones) | Biela (mm) |
|--------------|----------------|-----------------------|---------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------|
| S1 | 28 | 75,6 | 174,5 | 24,8 | 10 | 73,8 | 53/21 | 175 |
| S2 | 23 | 65,2 | 165,2 | 23,9 | 7 | 68,6 | 53/21 | 175 |
| S3 | 35 | 83,5 | 179,1 | 26,0 | 12 | 74,8 | 53/21 | 175 |
| S4 | 36 | 74,3 | 180,2 | 22,9 | 20 | 74,8 | 53/21 | 175 |
| S5 | 22 | 70,1 | 174,3 | 23,1 | 6 | 71,1 | 53/21 | 175 |
| S6 | 41 | 73,9 | 181,2 | 22,5 | 16 | 74,1 | 53/21 | 175 |
| S7 | 34 | 71,5 | 177,3 | 22,7 | 13 | 75,2 | 53/21 | 175 |
| S8 | 37 | 76,3 | 176,7 | 24,4 | 8 | 73,5 | 53/21 | 175 |
| Media | 32 | 73,8 | 176,1 | 23,8 | 11,5 | 73,2 | 53/21 | 175 |
| DE | 6,9 | 5,3 | 5,0 | 1,2 | 4,8 | 2,3 | --- | --- |

NOTA: Altura del sillín, se refiere desde el centro anatómico de este hasta el eje pedalier.

Los deportistas y entrenadores fueron debidamente informados sobre los procedimientos experimentales y los posibles riesgos y beneficios del proyecto. El estudio, siguió los preceptos de la Declaración de Helsinki y se obtuvo el consentimiento informado de cada deportista antes de participar (Anexo 1).

Se establecen los siguientes criterios de inclusión para participar en el estudio:

1. Mínimo de años de cinco años de experiencia en el entrenamiento y competición de ciclismo o triatlón.
2. Estar activos en la práctica competitiva
3. No sufrir ninguna enfermedad o lesión que limitase su rendimiento deportivo

4.2.1. Valoración de la composición corporal.

Se procedió a medir la talla de los participantes en el estudio en un tallímetro (Seca 202, Seca Ltd., Hamburg, Alemania), para medir la masa corporal se utilizó una báscula de mecánica de columna (Seca 700, Seca Ltd., Hamburg, Alemania), y se calculó el índice de masa corporal atendiendo a la ecuación: $IMC = \text{masa corporal (kg)} \times \text{talla}^2 \text{ (m)}$.

4.2.2 Fase de familiarización.

Todos los participantes realizaron un test de familiarización equivalente a un calentamiento previo 5 de minutos a intensidad y cadencia libre, que efectuaron en la misma bicicleta y rodillo de tal modo que obtuvieran sensaciones de incremento de carga y encontrasen un desarrollo adecuado para que posteriormente fuese el que se utilizase en el test real.

Este test inicial nos permitió minimizar los posibles efectos del aprendizaje y reducir la variabilidad biológica intra-sujeto.

4.3. Material e instrumentos.

Para llevar a cabo el protocolo de test incremental se utilizaron los siguientes materiales e instrumentos de medición:

4.3.1. Bicicleta.

Todos los participantes en la prueba realizaron el test sobre la misma bicicleta. Se utilizó una bicicleta de la modalidad de carretera, marca Specialized modelo S-Works (Specialized Bicycle Components, Inc, Morgan Hill. CA, U.S.A.) Se controló la presión de aire en los neumáticos hasta llegar a 700 kPa (ilustración 26).



Ilustración 26. Bicicleta Specialized modelo S-Works (Specialized Bicycle Components, Inc, Morgan Hill. CA, U.S.A.) utilizada para los test.

4.3.2. Dispositivos de medición de potencia.

4.3.2.1 SRM (Schoberer Rad Meßtechnik, Fuchsend, Garmany)

Sobre la bicicleta iba montado el medidor de potencia integrado en los platos y bielas que está considerado como el “Gold Standard” de los instrumentos de medición de potencia en el ámbito científico, cuya validez y reproducibilidad ha sido ya probada anteriormente (Gardner et al., 2004; Paton y Hopkins, 2001).

En esta ocasión se instaló el modelo SRM FSA K-Force Light con un inter eje de 130 milímetros que lleva integrado un plato con un desarrollo estándar de 53/39, junto con unas bielas de 175 milímetros de longitud Este Sistema integrado de medición lleva incorporadas 8 galgas extensiométricas y según datos del fabricante tiene una precisión de +/- 1%. Acepta el protocolo de conexión inalámbrica ANT+, que permite enlazarlo con otros dispositivos electrónicos de control (ilustración 27).



Ilustración 27. Sistema SRM FSA K-Force Light (Schoberer Rad Meßtechnik, Fuchsend, Germany) .

4.3.2.2 PowerTap (Cycleops, Madison, U.S.A.).

En la rueda trasera de la bicicleta iba montado el dispositivo para medir la potencia PowerTap modelo G3, al igual que el SRM tiene integrado el sistema ANT+ con lo que se enlaza fácilmente con la gran mayoría de los dispositivos.

Este sistema utiliza una tecnología similar al SRM basada en la utilización de 8 galgas extensiométricas situadas en el interior del buje y su validez y reproducibilidad ya han sido probados (Bertucci, Duc, Villerius, Pernin y Grappe, 2005b; Gardner et al., 2004) alcanzando una precisión, según datos del fabricante, del +/- 1,5% (ilustración 28).

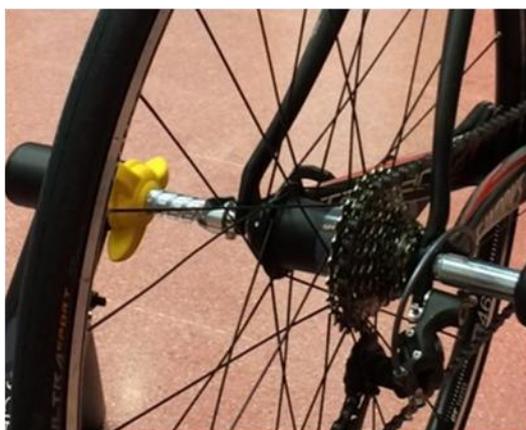


Ilustración 28. Buje trasero PowerTap modelo G3 (Cycleops, Madison, U.S.A.).

4.3.2.3 Garmin Vector (VCT, Olathe, U.S.A.).

La bicicleta se completó con el montaje de los pedales, el dispositivo Garmin Vector compuesto por dos pedales compatibles con calas Look Keo (Look, Cadex, France), cuenta con un sensor de cadencia en cada pedal y unos sensores piezoeléctricos integrados en el eje de cada pedal que son sensibles a las

deformaciones y de donde se extraen los datos para el cálculo de la potencia con una precisión, según datos del fabricante, del +/- 1,5%.

El sistema compatible con el protocolo ANT+ y a día de hoy no existen datos en la literatura sobre su validez y reproducibilidad, valores que se pretenden obtener en esta investigación (ilustración 29).



Ilustración 29. Sistema medición de potencia en los pedales Garmin Vector (VCT, Olathe, U.S.A.).

4.3.2.4 PowerBeam Pro Series (Cycleops, Madison, U.S.A.).

La bicicleta con todos los dispositivos de medición integrados se instaló en un rodillo con una resistencia electromagnética controla electrónicamente de la marca Cycleops, modelo PowerBeam Pro Series. Se trata de un rodillo electromagnético que permite medir la potencia y programar cargas para establecer protocolos a través de un software asociado, al igual que en un cicloergómetro, permitiendo así establecer protocolos de test usando la propia bicicleta del deportista. Al igual que los anteriores dispositivos es compatible con el protocolo de comunicación ANT+ y su precisión según datos del fabricante se estima en +/- 5% (ilustración 30).



Ilustración 30. Rodillo electrogagnético programable PowerBeam Pro Series (Cycleops, Madison, U.S.A.).

4.3.3. Dispositivos para monitorizar la potencia y cadencia.

Debido a la gran cantidad de sistemas de medición de potencia instalados en la bicicleta (ilustración 31) a cada potenciómetro se la ha enlazado por separado, para evitar las interferencias entre dispositivos, con otro dispositivo a través del protocolo ANT+ para monitorizar los datos y posteriormente descargarlos para su interpretación con software compatibles con estos dispositivos según podemos ver en la siguiente (Tabla 4).



Ilustración 31. De izquierda a derecha. Joule GPS, Garmin Edge 800, Garmin Edge 500 y Garmin Foreruner 910 xt.

Tabla 4. Dispositivos para monitorizar la potencia y cadencia y potenciómetro y software asociado.

| Potenciómetros, ciclocomputadores vinculados y software recogida de datos | | | | | | |
|--|--|-----------------|--|-----------------|--|-----------------|
| Joule GPS (Cycleops, Madison, U.S.A.) | Garmin EDGE 500 (Garmin Ltd., Olathe, KS, U.S.A.) | | Garmin EDGE 800 (Garmin Ltd., Olathe, KS, U.S.A.) | | Garmin Forerunner 910XT (Garmin Ltd., Olathe, KS, U.S.A.) | |
| PowerBeam Pro Series | SRM FSA K-Ligth | | Garmin Vector | | PowerTap G3 | |
| Power Agent v 7.7.5 (Cycleops, Madison, U.S.A.) | Golden Chetaah v 3.1.0 (GNU General Public License) | | Golden Chetaah v 3.1.0 (GNU General Public License) | | Golden Chetaah v 3.1.0 (GNU General Public License) | |
| <i>Control del la carga durante protocolo incremental</i> | <i>Potencia</i> | <i>Cadencia</i> | <i>Potencia</i> | <i>Cadencia</i> | <i>Potencia</i> | <i>Cadencia</i> |
| | SI | SI | SI | NO | SI | NO |

NOTA: Todos los dispositivos utilizados en este estudio cumplen el protocolo ANT+.

4.4. Protocolos de valoración

4.4.1. Ajuste parámetros de la bicicleta y condiciones de laboratorio.

Tras la valoración de la composición corporal y el test de familiarización de los deportistas que formaban la muestra se procedió a trasladar a la bicicleta el parámetro de altura del sillín de cada ciclista individualmente, entendiendo este parámetro como la altura desde el centro anatómico del sillín hasta el centro del eje de pedalier.

Previo al comienzo de cada sesión los dispositivos de medición de potencia fueron debidamente calibrados siguiendo las instrucciones del fabricante.

Del mismo modo, se estableció un desarrollo de engranajes en la bicicleta que permitiese mantener hasta el agotamiento el control del pedaleo manteniendo

una determinada cadencia de 90 ± 2 rpm y que quedó establecido el desarrollo en 53/21 y se procedió al control del inflado y presión de aire en el neumático de la rueda instalada en el rodillo manteniéndolo previo a cada test en 700 kPa.

Se controlaron también las condiciones de laboratorio donde se realizaron los test en cuanto a temperatura y humedad relativa, manteniéndolas bajo similares condiciones ambientales (21-24°C y 45-55% humedad relativa).

4.4.2. Test incremental sub máximo hasta agotamiento

Las pruebas se realizaron siempre a la misma hora del día en cada participante para controlar los efectos del ritmo circadiano (Atkinson, Todd, Reilly y Waterhouse, 2005; Mora-Rodriguez, Garcia Pallares, Lopez-Samanes, Fernando Ortega, y Fernandez-Elias, 2012) en la misma bicicleta con la altura del sillín ajustada individualmente, manteniendo un desarrollo de 53/21 y se desarrollaron durante tres jornadas consecutivas hasta que cada participante pudo realizar una vez el test.

El Protocolo de cargas aplicadas en el rodillo se programó previamente en el dispositivo de control Joule GPS (Cycleops, Madison, U.S.A.), a través del software Power Agent v7.7.5 (Cycleops, Madison, U.S.A.), donde se generaron los datos de control para la aplicación incremental de las cargas en el rodillo.

Los ciclistas realizaron un ejercicio incremental a intensidad sub máxima en rampa, que comenzaba con un calentamiento inicial de tres minutos a 100 vatios (W) y con una cadencia de pedaleo controlada visualmente de 90 ± 2 rpm, tras lo que se incrementó la carga hasta 150 W, a partir de este palier se produjeron incrementos de 25 W/min hasta completar la carga de 350 W, resistencia que fue submáxima para todos los participantes.

4.4.3. Adquisición de datos.

Una vez efectuados los test y recogidos los datos por cada uno de los dispositivos para monitorizar la potencia se procedió al volcado de la totalidad de los datos obtenidos mediante el software Golden Chetaah v3.1.0 (GNU General Public License) y se seleccionaron los datos generados por los dispositivos entre el segundo 20 y 40 de cada palier de 25W.

4.5. Análisis estadístico.

Se emplearon métodos estadísticos estándar para el cálculo de los valores promedio y las desviaciones estándar. El estudio de la validez de los datos de potencia mecánica obtenidos por los dispositivos Garmin Vector y PowerTap se realizó por medio de 3 técnicas estadísticas:

1. Una vez confirmada la distribución normal de la muestra, se realizó un estudio de las diferencias entre los valores promedio (W) en cada intensidad de test de los potenciómetros Garmin Vector y PowerTap con el “Gold Standard” (SRM) mediante una prueba ANOVA de una vía de medidas repetidas. Una vez registrada una interacción F significativa, las diferencias entre medias se analizaron mediante el post-hoc de Bonferroni. Se estableció un nivel de significación del 5% ($p \leq 0.005$).
2. Se estudió la relación entre las variables por medio del *Coefficiente de correlación de Pearson (r)* y el grado de significación de esta relación teniendo en cuenta $n-2$ grados de libertad.

Para la interpretación del coeficiente de correlación se empleó la referencia de Vincent (Vincent, 2005):

- Valor de $r < 0.7$ = Correlación baja
- Valor de r entre 0.7 y 0.8 = Correlación moderada
- Valor de $r > 0.8$ = Correlación alta

3. Se emplearon Bland-Altman plots para analizar por pares el grado de concordancia entre los resultados de los dispositivos Vector y PTAP con respecto al Gold Standard SRM. Se calculó el coeficiente de concordancia de cada relación como $1.96 \cdot \sqrt{((d2-d1)^2/n-1)}$, siendo $d2-d1$ la diferencia entre las dos determinaciones (Bland y Altman, 1999). Este procedimiento permite confirmar si la concordancia de ambas medidas está relacionada con el tamaño de la característica que quiere ser medida para evitar las limitaciones de las correlaciones bivariadas (e.g., correlación Pearson) y su dependencia con el rango de la medida y la ausencia de relación con la verdadera escala de medida (i.e., % de cambio vs. cambio en valor absoluto en W) (Bland y Altman, 1995).

Por su parte, para determinar la reproducibilidad de la medida en cada dispositivo se aplicó el Coeficiente de Variación mediante el estudio la relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de los datos registrados ante cada carga del test ($CV\% = \text{Desviación Estándar} / \text{Promedio}$).

Para este análisis estadístico se empleó el paquete informático IBM SPSS Statistics para Windows (versión 19.0, SPSS Inc., Chicago, Illinois, U.S.A.).

5. RESULTADOS

5.1. Estudio de la validez.

Una vez realizada la prueba ANOVA que muestra las diferencias entre los valores promedio (W) en cada intensidad de test de los potenciómetros Garmin Vector y PowerTap con el “Gold Standard” (SRM) se observa que en general estas son estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para los dos potenciómetros a lo largo de todas las cargas del test incremental, a excepción las cargas de 325 W y 350 W ($p = 0,330$ y $p = 0,639$ respectivamente) en el dispositivo PowerTap (Tabla 5).

Tabla 5. Promedios y diferencia de medias entre dispositivos para cada carga programada.

| PowerBeam Pro Series | SRM (W) | | G. Vector (W) | | PTap (W) | | Diferencia de medias | | | |
|-------------------------|---------|-------|---------------|-------|----------|-------|----------------------------|--------|------------------------|--------|
| | | | | | | | SRM vs. G.Vector (W) | | SRM vs. PTap (W) | |
| | media | DE | media | DE | media | DE | media | DE | media | DE |
| 150 W | 133,5 | ± 2,5 | 112,7 | ± 4,1 | 125,4 | ± 5,0 | 20,8 | ± 3,9* | 8,1 | ± 4,0* |
| 175 W | 156,0 | ± 2,3 | 136,5 | ± 5,0 | 149,3 | ± 5,2 | 19,4 | ± 5,5* | 6,7 | ± 3,8* |
| 200 W | 179,2 | ± 2,0 | 159,1 | ± 3,6 | 172,0 | ± 5,1 | 20,1 | ± 2,9* | 7,3 | ± 4,7* |
| 225 W | 203,0 | ± 2,5 | 182,4 | ± 6,2 | 196,9 | ± 5,1 | 20,7 | ± 4,8* | 6,1 | ± 4,1* |
| 250 W | 229,0 | ± 2,3 | 208,6 | ± 3,9 | 221,8 | ± 4,8 | 20,3 | ± 4,1* | 7,2 | ± 5,2* |
| 275 W | 252,2 | ± 3,4 | 233,2 | ± 3,1 | 246,8 | ± 6,2 | 19,0 | ± 4,0* | 5,3 | ± 3,8* |
| 300 W | 277,1 | ± 2,2 | 257,5 | ± 3,6 | 271,6 | ± 6,5 | 17,2 | ± 7,7* | 5,6 | ± 4,9* |
| 325 W | 303,4 | ± 4,7 | 280,7 | ± 4,9 | 298,4 | ± 6,7 | 22,7 | ± 4,6* | 5,0 | ± 7,1 |
| 350 W | 325,8 | ± 4,8 | 305,8 | ± 4,4 | 322,4 | ± 7,9 | 17,1 | ± 9,3* | 2,8 | ± 5,4 |

NOTA: * Nivel de significación $p \leq 0,05$. DE (Desviación estándar).

Los datos obtenidos mediante este análisis sugieren que cuando comparamos la potencia obtenida con el dispositivo Garmin Vector y el PowerTap, estos sobre estiman la potencia en $20,3 \pm 4,13$ W y $6,18 \pm 4,75$ W respectivamente, con respecto a la potencia estimada con el SRM.

Por su parte, el análisis de la correlación de Pearson entre los resultados reflejados tanto por el Garmin Vector ($r = 0,998$, $p < 0,001$) como por el PowerTap ($r = 0,997$, $p < 0,001$) y los obtenidos por el SRM arrojan una muy alta correlación entre estos dispositivos y el “Gold Standard” (ilustración 32).

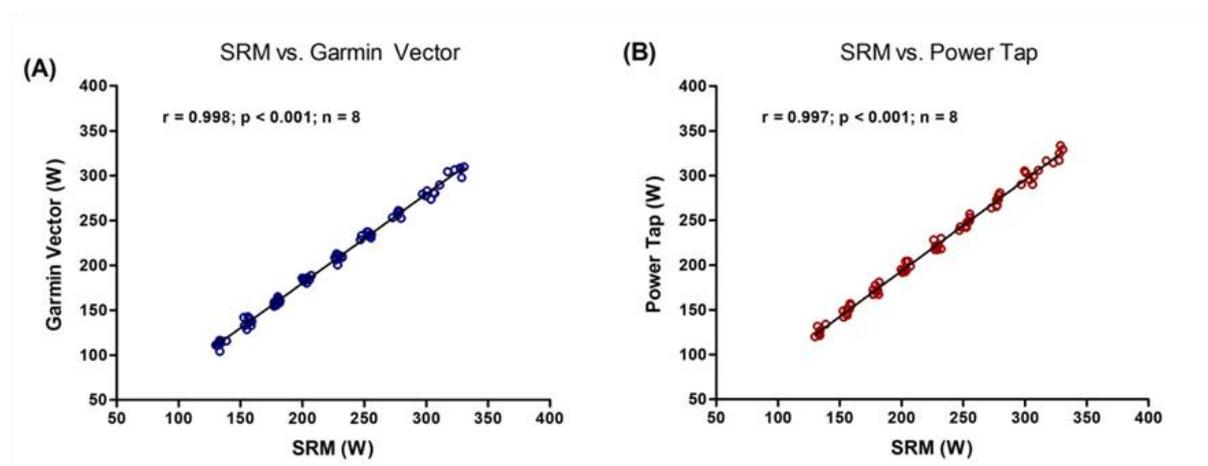


Ilustración 32. Correlación de Pearson (valor r y p) entre dispositivos. (A) SRM vs. Garmin Vector y (B) STR vs. PowerTap

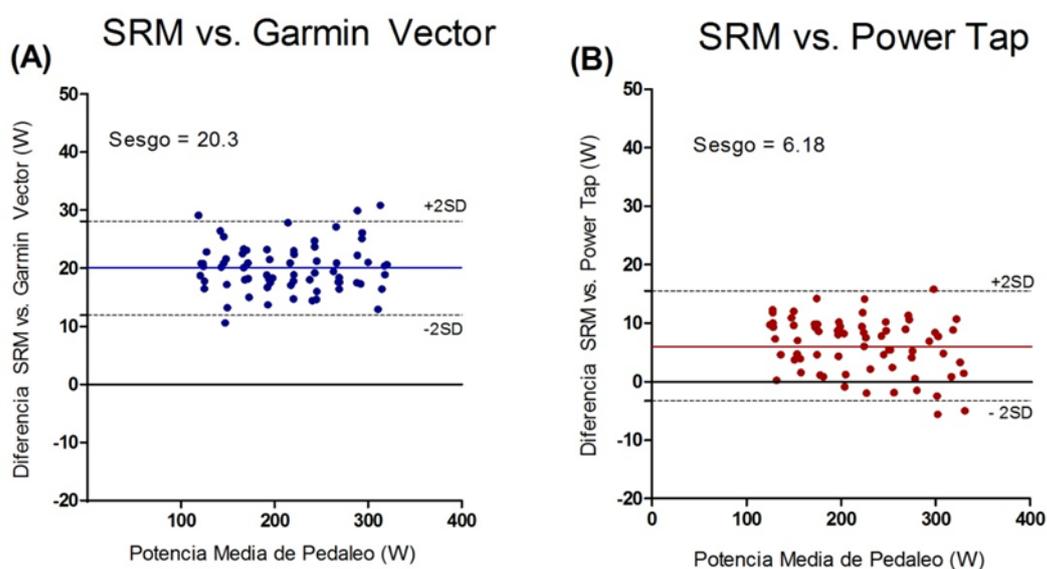


Ilustración 33. Grafico Bland Altman. (A) Acuerdo de las diferencias SRM vs. Garmin Vector y Potencia media (B) Acuerdo de las diferencias SRM vs. PowerTap y Potencia media

El análisis de la concordancia entre métodos Bland Altman que representa la diferencia entre cada pareja de valores frente a la media de valores, devolvió que el menor sesgo con respecto al SRM correspondía al PowerTap ($6,18 \pm 4,75$ W) (ilustración 33., Panel B) frente al que se obtuvo por el (Garmin Vector $20,3 \pm 4,13$ W) (ilustración 33., Panel A).

Extraemos también de este análisis los límites de confianza del 95% (Tabla 6) para esas diferencias tanto para el Garmin Vector (95% IC: 11,94 – 28,12) (ilustración 32., Panel A), como para el PowerTap (95% IC: -3,13 – 15,50) (ilustración 32., Panel B).

Tabla 6. Validez de los dispositivos Garmin Vector y PowerTap

| | | Garmin Vector | PowerTap |
|------------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
| ANOVA | | 0,000 | 0,000* |
| CCI | | | |
| valor r | | 0,998 | 0,997 |
| valor p | | p < 0,001 | p < 0,001 |
| Bland Altman | | | |
| Sesgo | | 20,30 | 6,18 |
| DE del Sesgo | | 4,13 | 4,75 |
| Límites del 95% | Superior | 11,94 | -3,13 |
| | Inferior | 28,12 | 15,50 |

NOTA: * Nivel de significación $p \leq 0,005$ excepto a 325 W y 350 W $p \geq 0,005$. DE (desviación estándar); CCI (Coeficiente Correlación Intraclase); ANOVA (Análisis de varianza con medidas repetidas).

5.2. Estudio de la reproducibilidad.

Se analizó el porcentaje del coeficiente de variación para cada dispositivo (CV% = Desviación Estándar / Promedio) obteniendo como resultados $1,32 \pm 0,32$ para el SRM, $2,08 \pm 0,93$ para Garmin Vector y $2,75 \pm 0,62$ para PowerTap, teniendo como datos mínimo y máximo de este Coeficiente, (0,79 – 1,84), (1,33 – 3,66) y (2,18 – 4,00) para SRM, Garmin Vector y PowerTap respectivamente (Tabla 7).

Tabla 7. Promedio CV inter-sujetos para todas las cargas.

| PowerBeam Pro Series | SRM (W) | VECTOR (W) | PTAP (W) |
|----------------------|---------|------------|----------|
| | CV % | CV % | CV % |
| 150 W | 1,84 | 3,60 | 4,00 |
| 175 W | 1,50 | 3,66 | 3,50 |
| 200 W | 1,13 | 2,24 | 2,95 |
| 225 W | 1,24 | 1,43 | 2,57 |
| 250 W | 0,98 | 1,85 | 2,18 |
| 275 W | 1,35 | 1,33 | 2,49 |
| 300 W | 0,79 | 1,40 | 2,40 |
| 325 W | 1,57 | 1,76 | 2,25 |
| 350 W | 1,49 | 1,43 | 2,44 |
| Media | 1,32 | 2,08 | 2,75 |
| Min | 0,79 | 1,33 | 2,18 |
| Max | 1,84 | 3,66 | 4,00 |

NOTA: (CV) Porcentaje del Coeficiente de Variación.

6. DISCUSIÓN

El propósito de esta investigación fue determinar los índices de validez y reproducibilidad de los medidores de potencia para ciclismo Garmin Vector y Powertap en condiciones de laboratorio como alternativa a los dispositivos actualmente utilizados y que tienen un costo relativamente elevado.

Actualmente el dispositivo de medición de potencia considerado como el “Gold Estándar” es el SRM cuyos altos índices de validez y reproducibilidad ya han sido probados anteriormente (Gardner et al., 2004).

En consecuencia y para que los dispositivos que hemos estudiado puedan ser utilizados por la comunidad científica en el ámbito de las ciencias del deporte, ambos deberían tener unos niveles de validez y reproducibilidad similares al SRM.

Los datos obtenidos durante el protocolo del test incremental a lo largo de todas las cargas indican que los promedios de las diferencias de potencia obtenidas por el Garmin Vector y por el PowerTap son significativas ($p < 0,05$) con respecto a las obtenidas con el SRM. Sin embargo en cuanto a los índices de Correlación de Pearson encontramos una muy alta correlación entre el Garmin Vector y el SRM ($r = 0,998$, $p < 0,001$) y también en el PowerTap ($r = 0,997$, $p < 0,001$), con respecto al SRM y en consecuencia es posible establecer una ecuación lineal entre los datos obtenidos con cada dispositivo. Resultados de validez y reproducibilidad similares se han descrito para este potenciómetro en estudios previos (W. Bertucci, et al., 2005a; W. Bertucci, et al., 2005b; Peiffer y Losco, 2011).

Sin embargo el hecho de que exista una alta correlación entre los dispositivos no tiene en cuenta el grado de acuerdo o concordancia entre las variables por lo que se realizaron los análisis Bland Altman en los que se aprecia que el sesgo del Garmin Vector $20,3 \pm 4,13$ W cuando lo comparábamos con SRM por lo que infraestima la potencia del SRM.

El hallazgo más importante de esta investigación es que tanto el potenciómetro Garmin Vector como el PowerTap arrojan datos válidos y reproducibles ante intensidades sub máximas entre 150 W y 350 W cuando se comparan con el dispositivo de medición de potencia que es considerado como el “Gold Standard”, el SRM.

Hemos detectado un bajo valor del Coeficiente de Variación CV ($2,08 \pm 0,93\%$) para el potenciómetro Garmin Vector, lo que nos indica que la potencia obtenida por este dispositivo es reproducible, efectivamente este dato es similar a los obtenidos en otros estudios para el SRM (CV de 0,7 – 2,1%) (Bertucci, 2012; Bertucci, Grappe, y Crequy, 2011; Duc et al., 2007; Millet, Tronche, Fuster, Bentley, y Candau, 2003).

La reproducibilidad de la medida es una de las mayores calidades de un potenciómetro, en efecto una pequeña variación en estas métricas en los deportistas de alto nivel puede hacer la diferencia entre obtener un buen resultado en competición, del mismo modo que es un parámetro muy cotizado a la hora de detectar los posibles cambios en la fisiología del deportista por ejemplo cuando se somete a un programa de entrenamiento.

Para obtener un dato válido de potencia con este potenciómetro es necesario tener en cuenta un error sistemático reproducible ($20,3 \pm 4,13$ W). Teniendo en cuenta este error sistemático el potenciómetro Garmin Vector ofrece una gran validez comparado con el SRM (ilustración 32, Panel A).

Al igual que con el Garmin Vector ocurre con el PowerTap, en este caso hemos detectado un bajo valor del Coeficiente de Variación CV ($2,75 \pm 0,62\%$), ligeramente superior a un 2% y similar a otros estudios sobre este dispositivo (CV de 0,9 – 2,9%) (W. Bertucci, et al., 2005a; W. Bertucci, et al., 2005b; W. M. Bertucci et al., 2011; Gardner et al., 2004), lo que nos indica que el PowerTap es también reproducible.

Para este dispositivo se ha detectado un error ($6,18 \pm 4,75$ W) menor que el del Garmin Vector y más próximo al SRM, tiene una tendencia a reducirse a medida que aumentan las cargas, con lo que podemos afirmar que el PowerTap tiene un alto índice de validez comparado con el SRM (ilustración 32, Panel B).

En este caso el sesgo que arroja el PowerTap es menor que el del Garmin Vector, teniendo en cuenta las diferencias de medias entre PowerTap y SRM vemos que a medida que aumentan las cargas el PowerTap tiende a aproximarse a las producidas por el SRM, lo que interpretamos como que aún siendo los datos obtenidos por este potenciómetro válidos y reproducibles para la medición de potencia en intensidades de 150W a 350W en condiciones de laboratorio, los datos a bajas intensidades deben ser tomados con cautela.

7. CONCLUSIONES

En base a las hipótesis planteadas para este Trabajo Fin de Máster, se formulan a continuación las conclusiones generales:

Hipótesis 1^a: *Los datos obtenidos por el medidor de potencia situado en los pedales Garmin Vector y los del PowerTap, situado en el buje de la rueda trasera, son válidos comparados con el potenciómetro SRM considerado como patrón de oro e instrumentos de medición de referencia en el ámbito del ciclismo y triatlón.*

Esta hipótesis queda corroborada una vez confirmados los índices de validez (diferencia de medias, altos valores de correlación y concordancia), si bien al haberse detectado un error sistemático en las diferencias de medias se hace necesario para confirmar este índice de validez la aplicación de un factor de corrección para cada dispositivo y que permitirían su utilización por parte de la comunidad científica y en las ciencias del deporte en general para monitorizar los efectos de sus programas de entrenamiento e individualizar las cargas de trabajo, al tiempo que se minimizan las dificultades logísticas y los recursos humanos y materiales necesarios.

Hipótesis 2^a: *El dispositivo Garmin Vector y el PowerTap arrojan índices de reproducibilidad satisfactorios y en consecuencia pueden ser utilizados por la comunidad científica para realizar valoraciones y monitorizar el rendimiento en las disciplinas de ciclismo y triatlón.*

Esta hipótesis queda corroborada una vez confirmados los índices de reproducibilidad (bajos Coeficientes de Variación) que son similares a los ya estudiados y publicados en la literatura en estudios similares y que permiten en consecuencia que estos dispositivos puedan ser utilizados para la realización de valoraciones y para monitorizar el rendimiento tanto en ciclismo como en triatlón.

8. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Aunque pensamos que el presente estudio aporta datos relevantes sobre la validez y reproducibilidad de los dispositivos Garmin Vector y PowerTap y pueden ser utilizados en consecuencia en el ámbito de científico y en las ciencias del deporte en particular, somos conscientes de que también tiene algunas limitaciones que deben tenerse en cuenta a la hora de interpretar los resultados.

1. Tipo de test: En este estudio solo se ha hecho un test incremental sub máximo en condiciones de laboratorio por lo que sería necesario realizar otros tipos en estas condiciones como sprint test, submáximos continuos, etc. De igual modo sería necesario y puesto que estos dispositivos lo permiten, el realizar pruebas de campo para comprobar los resultados en condiciones diferentes a las de laboratorio.
2. Test intra sujetos: Por limitaciones logísticas los índices de reproducibilidad se han estudiado inter sujetos, por lo que sería recomendable realizar un estudio complementario sobre la reproducibilidad intra sujeto realizando dos veces el mismo test al mismo ciclista bajo las mismas condiciones.
3. Nivel de rendimiento: los participantes en este estudio poseían un nivel de rendimiento muy concreto, lo cual no hace extrapolable los resultados obtenidos a otra población con niveles deportivos diferentes a los del estudio.
4. Modalidad deportiva: Estos hallazgos pueden y deben contextualizarse exclusivamente en el gesto técnico del pedaleo y con una bicicleta de ruta, siendo necesario su confirmación en otras disciplinas del ciclismo como el MTB o el BMX que involucran otra serie de esfuerzos y técnicas de pedaleo.

9. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Algunas de las posibles líneas de estudio que se abren a partir de los hallazgos de este estudio son:

1. Confirmación de los resultados obtenidos en este estudio bajo las condiciones expuestas en el apartado anterior de limitaciones del estudio (reproducibilidad intra sujetos, pruebas de campo versus pruebas laboratorio, nivel competitivo, etc.)
2. Estudio de la validez de otros instrumentos en base a esta metodología utilizando los dispositivos de este estudio como patrón de referencia junto con el Gold Standard.
3. Estudiar los datos que ofrece Garmin Vector en cuanto a métricas que ponen en relación Potencia y Fuerza para el análisis de la técnica de pedaleo.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbiss, C. R., Quod, M. J., Levin, G., Martin, D. T., & Laursen, P. B. (2009). Accuracy of the Velotron Ergometer and SRM Power Meter. *International Journal of Sports Medicine*, 30(2), 107-112. doi:10.1055/s-0028-1103285
- Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring. *Sports medicine*, 33(7), 517-538.
- Allen, H., & Coggan, A. (2010). *Training and racing with a power meter*. VeloPress.
- Atkinson, G., Todd, C., Reilly, T., & Waterhouse, J. (2005). Diurnal variation in cycling performance: Influence of warm-up. *Journal of Sports Sciences*, 23(3), 321-329. doi:10.1080/02640410410001729919
- Balmer, J., Davison, R., Coleman, D., & Bird, S. (2000). The validity of power output recorded during exercise performance tests using a Kingcycle air-braked cycle ergometer when compared with an SRM powermeter. *International Journal of Sports Medicine*, 21(3), 195-199.
- Bertucci, W. (2012). Analysis of the agreement between the Fortius cycling ergometer and the PowerTap powermeter PO during time trials of 6 and 30 min. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 15 Suppl 1, 212-214.
- Bertucci, W., Crequy, S., & Chiementin, X. (2012). Validity and Reliability of the G-Cog BMX Powermeter. *International Journal of Sports Medicine*, 34(6), 538-543. doi:10.1055/s-0031-1301319
- Bertucci, W., Duc, S., Villerius, V., & Grappe, F. (2005a). Validity and reliability of the axiom powertrain cycle ergometer when compared with an SRM powermeter. *International Journal of Sports Medicine*, 26(1), 59-65. doi:10.1055/s-2004-817855
- Bertucci, W., Duc, S., Villerius, V., Pernin, J. N., & Grappe, F. (2005b). Validity and reliability of the PowerTap mobile cycling powermeter when compared with the

- SRM device. *International Journal of Sports Medicine*, 26(10), 868-873.
doi:10.1055/s-2005-837463
- Bertucci, W. M., Grappe, F., & Crequy, S. (2011). Original characteristics of a new cycle ergometer. *Sports Engineering*, 13(4), 171-179.
- Billat, V. (2002). *Fisiología y metodología del entrenamiento. De la teoría a la práctica* (Vol. 24): Editorial Paidotribo.
- Bini, R. R., Diefenthaler, F., & Carpes, F. P. (2014). Determining force and power in cycling: a review of methods and instruments for pedal force and crank torque measurements: review article. *International SportMed Journal*, 15(1), 96-112.
- Bini, R. R., & Hume, P. A. (2014). Assessment of Bilateral Asymmetry in Cycling Using a Commercial Instrumented Crank System and Instrumented Pedals. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(5), 876-881.
doi:10.1123/ijsp.2013-0494
- Bini, R. R., Hume, P. A., & Cerviri, A. (2011). A comparison of cycling SRM crank and strain gauge instrumented pedal measures of peak torque, crank angle at peak torque and power output. *5th Asia-Pacific Congress on Sports Technology (Apcst)*, 13, 56-61. doi:10.1016/j.proeng.2011.05.051
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (1995). COMPARING METHODS OF MEASUREMENT - WHY PLOTTING DIFFERENCE AGAINST STANDARD METHOD IS MISLEADING. *Lancet*, 346(8982), 1085-1087. doi:10.1016/s0140-6736(95)91748-9
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (1999). Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical Methods in Medical Research*, 8(2), 135-160.
doi:10.1191/096228099673819272
- Bosquet, L., Leger, L., & Legros, P. (2002). Methods to determine aerobic endurance. *Sports Medicine*, 32(11), 675-700. doi:10.2165/00007256-200232110-00002

- Carpes, F., Faria, E., & Mota, B. (2007). Influence of exercise intensity on bilateral pedaling symmetry.
- Chicharro, J. L., & Vaquero, A. F. (2006). *Fisiología del ejercicio/Physiology of Exercise*: Ed. Médica Panamericana.
- Cronin, J., & Sleivert, G. (2005). Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance. *Sports Medicine*, 35(3), 213-234. doi:10.2165/00007256-200535030-00003
- Diefenthaler¹², F., Bini, R. R., Carpes, F. P., & Vaz, M. A. (2007). Analysis of pedaling technique during a maximal cycling exercise.
- Duc, S., Villerius, V., Bertucci, W., & Grappe, F. (2007). Validity and Reproducibility of the Ergomo (R) Pro Power Meter Compared With the SRM and Powertap Power Meters. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(3), 270-281.
- Earnest, C. P., Wharton, R. P., Church, T. S., & Lucia, A. (2005). Reliability of the Lode Excalibur Sport Ergometer and applicability to Computrainer electromagnetically braked cycling training device. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(2), 344-348.
- Esteve-Lanao, J. (2007). *Periodización y control del entrenamiento en corredores de fondo*. Tesis doctoral. [Universidad Europea de Madrid].
- Esteve-Lanao, J. (2015). ALL IN YOUR MIND | Sistema de entrenamiento – Training System. Retrieved from <http://allinyourmind.es/>
- Faria, E. W., Parker, D. L., & Faria, I. E. (2005). The science of cycling: factors affecting performance-part 2. *Sports medicine*(35), 313-337.
- Foster, C. (1989). Physiologic testing: does it help the athlete? *Physician and sportsmedicine*, 17(10), 103-110.

- García-Pallarés, J., & Morán-Navarro, R. M. (2012). Propuesta metodológica para el entrenamiento de la resistencia cardiorrespiratoria. *Journal of sport and health research*, 4(2), 119-136.
- Gardner, A. S., Stephens, S., Martin, D. T., Lawton, E., Lee, H., & Jenkins, D. (2004). Accuracy of SRM and power tap power monitoring systems for bicycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(7), 1252-1258. doi:10.1249/01.mss.0000132380.21785.03
- Gavin, T. P., Van Meter, J. B., Brophy, P. M., Dubis, G. S., Potts, K. N., & Hickner, R. C. (2012). Comparison of a field-based test to estimate functional threshold power and power output at lactate threshold. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(2), 416-421.
- Gonzalez-Haro, C., Ballarini, P. A. G., Soria, M., Drobnic, F., & Escanero, J. F. (2007). Comparison of nine theoretical models for estimating the mechanical power output in cycling. *British Journal of Sports Medicine*, 41(8), 506-509. doi:10.1136/bjism.2006.034934
- González-Haro, C. (2008). Validación de una prueba de campo para determinar la potencia aeróbica máxima en ciclismo. *Tesis doctoral*. [Universidad de Zaragoza].
- Grappe, F., Bertucci, W., Baaron, B., & Georges, M. (2012). *Puissance et performance en cyclisme*. De Boeck
- Hopker, J., Myers, S., Jobson, S. A., Bruce, W., & Passfield, L. (2010). Validity and Reliability of the Wattbike Cycle Ergometer. *International Journal of Sports Medicine*, 31(10), 731-736. doi:10.1055/s-0030-1261968
- Hopkins, W. G., Schabert, E. J., & Hawley, J. A. (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports Medicine*, 31(3), 211-234. doi:10.2165/00007256-200131030-00005

- 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. *Journal of Science and Cycling*.
- Knudson, D. V. (2009). CORRECTING THE USE OF THE TERM "POWER" IN THE STRENGTH AND CONDITIONING LITERATURE. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(6), 1902-1908. doi:10.1519/JSC.0b013e3181b7f5e5
- 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. *Journal of applied biomechanics*, 14, 276-291.
- Maxwell, B., Withers, R., Ilesley, A., Wakim, M., Woods, G., & Day, L. (1998). Dynamic calibration of mechanically, air-and electromagnetically braked cycle ergometers. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 78(4), 346-352.
- Millet, G. P., Tronche, C., Fuster, N., Bentley, D. J., & Candau, R. (2003). Validity and reliability of the Polar((R)) S710 mobile cycling powermeter. *International Journal of Sports Medicine*, 24(3), 156-161. doi:10.1055/s-2003-39083
- Millet, G. P., Tronche, C., & Grappe, F. (2014). Accuracy of Indirect Estimation of Power Output From Uphill Performance in Cycling. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(5), 777-782. doi:10.1123/ijsp.2013-0320
- Mora-Rodriguez, R., Garcia Pallares, J., Lopez-Samanes, A., Fernando Ortega, J., & Fernandez-Elias, V. E. (2012). Caffeine Ingestion Reverses the Circadian Rhythm Effects on Neuromuscular Performance in Highly Resistance-Trained Men. *Plos One*, 7(4). doi:10.1371/journal.pone.0033807
- Morán-Navarro, R. (2014). *Validez y Reproducibilidad de Umbrales Ventilatorios y Lácticos*. Trabajo de Fin de Máster. Murcia: Universidad de Murcia.

- Newton, R. U., & Kraemer, W. J. (1994). Developing Explosive Muscular Power: Implications for a Mixed Methods Training Strategy. *Strength & Conditioning Journal*, 16(5), 20-31.
- Online Coaching Software & Workout Log for Coaches | TrainingPeaks. (2015). Retrieved from <http://home.trainingpeaks.com/products/products-for-coaches>
- Paton, C. D., & Hopkins, W. G. (2001). Tests of cycling performance. *Sports Medicine*, 31(7), 489-496. doi:10.2165/00007256-200131070-00004
- Peiffer, J. J., & Losco, B. (2011). Reliability/Validity of the Fortius Trainer. *International Journal of Sports Medicine*, 32(5), 353-356. doi:10.1055/s-0031-1271772
- Pinot, J., & Grappe, F. (2010). The 'Power Profile' for determining the physical capacities of a cyclist. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 13, 103-104. doi:10.1080/10255842.2010.495580
- Pinot, J., & Grappe, F. (2011a). The Peronnet-Thibault mathematical model applied to the record power profile in cycling. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 14, 219-220. doi:10.1080/10255842.2011.595193
- Pinot, J., & Grappe, F. (2011b). The Record Power Profile to Assess Performance in Elite Cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 32(11), 839-844. doi:10.1055/s-0031-1279773
- Sapega, A. A., & Drillings, G. (1983). The definition and assessment of muscular power. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 5(1), 7-9.
- Sparks, S. A., Dove, B., Bridge, C. A., Midgley, 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. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(1), 39-45. doi:10.1123/ijsp.2013-0317
- Vincent, W. (2005). 3rd Statistics in Kinesiology: Champaign, IL: Human Kinetics.

11. ANEXOS

11.1. Anexo I: Consentimiento Informado.

HOJA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

NOMBRE Y APELLIDOS DEL PARTICIPANTE _____

Fecha Nacimiento _____

DNI _____

Dirección _____

Teléfono _____

En caso de que el participante sea menor de edad, complete esta información:

NOMBRE Y APELLIDOS DEL PADRE, MADRE O TUTOR _____

DNI _____

Dirección _____

Teléfono _____

NOMBRE INVESTIGADOR PRINCIPAL _____

1. He leído la hoja de información del proyecto y he tenido la posibilidad de discutir los detalles con el investigador principal y preguntarle cualquier tipo de dudas. El responsable del proyecto me ha explicado el propósito de las pruebas que van a realizarme y he entendido completamente todo lo que se me ha explicado.

2. Estoy de acuerdo en tomar parte de este estudio de forma voluntaria, y entiendo que soy completamente libre para abandonarlo en cualquier momento que desee o negarme a la realización de alguno de los procedimientos de medición.

3. Entiendo que las pruebas realizadas son parte de un proyecto de investigación que no me aportará ningún lucro personal, sino que están destinados a promover el

conocimiento en Ciencias Biomédicas, cuyo protocolo ha sido aprobado por un comité de ética médica.

4. Estoy de acuerdo en que mis datos se guarden por el investigador principal, de forma confidencial, para su posterior análisis, y que los resultados de esta investigación, en caso de publicarse, no estarán nunca referidos a mi persona, respetándose la confidencialidad de los mismos y mi intimidad.

5. He sido también informado/a de que mis datos personales serán protegidos e incluidos en un fichero que deberá estar sometido a y con las garantías de la ley 15/1999 de 13 de diciembre.

Consiento total y libremente a participar en el proyecto titulado: “*Estudio de la validez y reproducibilidad potenciómetros Garmin Vector y PowerTap.*”, el cual me ha sido detalladamente explicado.

Firma del voluntario o padre, madre o tutor en su caso _____

Lugar y Fecha _____

Confirmando que he explicado al voluntario (arriba nombrado) el propósito y riesgos de las pruebas que van a realizársele.

Firma del Investigador _____

Lugar y Fecha _____

