



universidad
de león



TRABAJO DE FIN DE GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

Curso Académico 2022/2023

COMPARACIÓN DE DOS SISTEMAS DE REGISTRO DE LA
POTENCIA EN CICLISMO DURANTE EL TEST DE WINGATE:
INFLUENCIA DE LA POSICIÓN ADOPTADA (SENTADO VS. DE PIE)

Comparision of two powermeters measurements in cycling during the
Wingate test: influence of the cyclist position (standing vs. seated)

Autor: Pablo Bustingorri Eguaras

Tutor: Dr. Juan García López (Universidad de León)

Dr. Mikel Zabala Díaz (Universidad de Granada)

Fecha: 7 de Julio de 2023

VºBº AUTOR/A

RESUMEN

El principal objetivo de este estudio fue comparar los datos de potencia obtenidos en un test de Wingate de 30 segundos con un medidor de potencia móvil ubicado en los pedales de la bicicleta (PowerTap P1) y con un ergómetro estacionario de laboratorio (Wattbike). Además, se analizó la influencia de la posición adoptada (de pie vs. sentado) sobre los valores de potencia obtenidos. Para ello, se diseñó un protocolo de dos días en laboratorio donde los ciclistas adoptaron una posición determinada cada día en orden aleatorio. El primer día, los datos de potencia se registraron mediante el software que incorpora el cicloergómetro Wattbike. El segundo día, se colocaron los pedales PowerTap P1 en el mismo cicloergómetro (sincronizados con un ciclocomputador Garmin Edge 1030), para registrar los datos de manera simultánea con ambos sistemas. Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en los valores de potencia máxima e índice de fatiga, los cuáles fueron mayores al registrarlos con el medidor de potencia móvil PowerTap P1 (1.2 y 6.8% respectivamente), y en los valores de potencia media y mínima, los cuáles fueron superiores al registrarlos con el cicloergómetro Wattbike (1.3 y 11% respectivamente). También se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$), en función de la posición adoptada, en los valores de potencia máxima, media, índice de fatiga y RPE, los cuáles fueron superiores en la posición de pie (7.1, 2.4, 4.9 y 4.2%, respectivamente). En conclusión, para la correcta evaluación de la capacidad y potencia anaeróbica en ciclismo (test de Wingate), se debe de tener en cuenta tanto el sistema de medición como la posición adoptada por el ciclista.

Palabras clave: Wingate, Wattbike, PowerTap P1, intercambiabilidad.

ABSTRACT

The aim of this study was to compare the power values obtained in a 30-second Wingate test using a mobile powermeter located on the bicycle pedals (PowerTap P1) and a stationary laboratory cycle ergometer (Wattbike). Additionally, the influence of the adopted position (standing vs. seated) on the power values was analyzed. For this purpose, a two-day protocol was designed in which cyclists adopted a determinate position in a random order. The first day, the power values were obtained using the software incorporated in the Wattbike cycle ergometer. The second day, the pedals PowerTap P1 were installed on the same cycle ergometer (synchronized with a cycle computer Garmin Edge 1030) to record the data simultaneously with both systems. Significant differences ($P < 0.05$) were found in the values of peak power and fatigue index, which are higher in PowerTap P1 (1.2 and 6.8% respectively), and in average and minimum power, which were higher when recorded with the cycle ergometer Wattbike (1.3 and 11% respectively). Significant differences ($P < 0.05$) were found, based on the adopted position, in values of peak power, average power, fatigue

index and RPE, which were higher in standing position (7.1, 2.4, 4.9 y 4.2 % respectively). In conclusion, for the accurate assessment of the anaerobic capacity and power in cycling (Wingate test), the measurement system and the cyclist's position must be taken into account.

Keywords: Wingate, Wattbike, PowerTap P1, interchangeability.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Orígenes y modalidades del ciclismo	1
1.2 Factores que afectan al rendimiento en el ciclismo en ruta	1
1.3 Medición de la potencia en ciclismo	7
1.4 El test de Wingate: influencia de la posición adoptada	8
2. OBJETIVOS Y COMPETENCIAS	9
3. METODOLOGÍA	10
3.1 Participantes	10
3.2 Procedimiento	11
4. RESULTADOS	15
5. DISCUSIÓN	18
6. CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS	20
7. BIBLIOGRAFÍA	21
8. ANEXOS	28

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Orígenes y modalidades del ciclismo

El ciclismo es una de las actividades físicas más antiguas y actualmente se encuentra entre las más practicadas en diferentes países, tanto a nivel recreativo (e.g., marchas cicloturistas) como a nivel competitivo (e.g., carreras profesionales de reconocido prestigio como el Tour de Francia).

La primera competición de ciclismo reconocida fue en 1893 en Chicago, donde se celebró el primer campeonato del mundo de ciclismo en pista. Años más tarde, este deporte fue incluido en el programa de los primeros JJOO de la era moderna en Atenas 1896. Sin embargo, no fue hasta 1900 cuando se creó la Unión Ciclista Internacional (UCI) en París, la cual actualmente agrupa a 201 federaciones nacionales (Unión Ciclista Internacional, 2023). La Unión Ciclista Internacional actualmente reconoce diferentes disciplinas como son el ciclismo de carretera, ciclismo de pista, mountainbike, BMX (en su modalidad de freestyle y Racing), ciclismo indoor, trial, ciclocross, gravel, ciclismo virtual y paraciclismo (Unión Ciclista Internacional, 2023).

En España, el ciclismo este último año fue practicado por un 28,4% de la población siendo superado únicamente por el senderismo y montañismo (30,8%), según las encuestas de hábitos deportivos realizadas por el Ministerio de Cultura y Deporte (2022). Esto, puede estar relacionado según estas encuestas con que el 54,3% de la población dispone de bicicletas en el hogar, las cuáles son el equipamiento más disponible entre la población española.

En cuanto a licencias federativas, según los datos del Ministerio, en 2022, se realizaron 77972 licencias, aumentando ligeramente con respecto a años anteriores y aumentando el número de licencias entre las mujeres (Ministerio de Cultura y Deporte, 2022).

1.2 Factores que afectan al rendimiento en el ciclismo en ruta

En el ciclismo en ruta se han descrito diferentes factores que influyen en el rendimiento en competición como son los fisiológicos, medioambientales, psicológicos, los relacionados con el entrenamiento, nutricionales y biomecánicos (Ferrer Roca, 2015). Partiendo de esta clasificación, en el presente trabajo se va a realizar una síntesis y agrupación de los factores más determinantes en esta disciplina (*Figura 1*).



Figura 1.-Factores que afectan al rendimiento del ciclismo en ruta (Adaptada de Ferrer-Roca 2015).

- Factores fisiológicos

Los factores fisiológicos que más influyen en el rendimiento en el ciclismo en ruta son el consumo máximo de oxígeno, la potencia aeróbica máxima, la máxima potencia sostenida en el umbral anaeróbico y la eficiencia mecánica de pedaleo (Ferrer Roca, 2015).

El consumo máximo de oxígeno o VO₂ máx al igual que en otras disciplinas de resistencia presenta valores elevados entre ciclistas, dada su relación con el rendimiento en competición. Los ciclistas profesionales pueden llegar a alcanzar valores de entre 76 y 82 ml/kg/min (Santalla et al., 2012). Estos mismos autores añaden además que para poder disputar el tour de Francia los ciclistas deberían de presentar como mínimo, valores de 80 ml/kg/min. Sin embargo, parece que la potencia generada en el VO₂ máx es un valor más determinante del rendimiento cuando se comparan ciclistas profesionales (Ferrer Roca, 2015), los cuáles alcanzan valores de entre 6-6,5 W/kg en una prueba incremental con estadios de 4 minutos. Estos valores pueden variar en función del protocolo utilizado para su evaluación, dado que con estadios de menos de 1 minuto se han encontrado potencias máximas más elevadas, de en torno a 6.5-7.5 W/kg (Santalla et al., 2012).

La potencia sostenida en el umbral anaeróbico es otro de los factores que muestra valores elevados en ciclistas profesionales, dada su capacidad de trabajar a alta intensidad durante largos periodos de tiempo (Santalla et al., 2012) siendo esta uno de los indicadores más utilizados para describir la intensidad durante el pedaleo (Atkinson et al., 2003). Podemos encontrar entre ciclistas de elite que el umbral anaeróbico se sitúa en torno al 90% del VO₂ máx, con valores de potencia de 400-450 watios (Santalla et al., 2012). Estos valores de potencia en el umbral anaeróbico se correlacionan con el rendimiento en pruebas de contrarreloj, siendo los especialistas de esta disciplina los que mejores valores suelen mostrar (Earnest et al., 2009).

La eficiencia mecánica gruesa de pedaleo se define como el cociente entre la potencia mecánica producida y el consumo de energía necesario para realizarla, pudiendo ser de

hasta un 25% en ganadores del Tour de Francia (Santalla et al., 2012). Esta, parece que puede ser un factor de rendimiento diferencial entre ciclistas de elite y ciclistas de categoría sub-23, lo cuál puede ser explicado por el menor volumen e intensidad durante los entrenamientos que realizan los jóvenes (Artetxe-Gezuraga et al., 2019). Se ha demostrado además como esta eficiencia se puede mejorar con el entrenamiento (Hopker et al., 2010) y que mejorándola en un 0.9% se pueden ganar hasta 25.6 segundos en una contrarreloj de 20 km (Hettinga et al., 2007).

- *Factores biomecánicos*

Los factores biomecánicos, juegan un papel importante en el rendimiento del ciclismo de ruta, donde se busca minimizar las fuerzas que se oponen al avance del conjunto ciclista-bicicleta (resistencia aerodinámica, fuerza de la pendiente y fuerza de rozamiento por rodadura) y mejorar las que favorecen el avance, las cuales están relacionadas con la mejora de la coordinación muscular y con la mejora de la aplicación de fuerza a los pedales y bielas durante el pedaleo (García-López, 2008).

La resistencia aerodinámica en ciclismo en ruta, a diferencia de otras modalidades, supone en torno a un 80-90% de las fuerzas resistivas cuando se rueda en llano y en solitario a velocidades superiores a 30 km/h, dependiendo del tipo de bicicleta (García-López et al., 2014). Esta resistencia depende de la densidad del aire, área frontal formada por el complejo ciclista-bicicleta, el coeficiente de arrastre y la velocidad, y varía en función de la posición adoptada por el ciclista y de los materiales utilizados. En este sentido parece que el área frontal puede disminuir en torno a un 30% si variamos el agarre del manillar, y si inclinamos más o menos el tronco respecto a la horizontal del suelo (García-López et al., 2014). En relación con esto, se debe controlar que la posición adoptada no afecte a la producción de potencia, siendo necesario buscar el equilibrio entre ambas variables.

La fuerza de la pendiente aparece cuando el ciclista afronta un desnivel positivo, donde actúa la fuerza de la gravedad dificultando su avance. Se ha demostrado como en etapas de montaña con pendientes superiores al 5%, el 90% de la resistencia al avance del complejo ciclista-bicicleta se debe a la fuerza de la pendiente (García-López, 2008). Algunas variables que parece importante controlar para afrontar este tipo de terrenos son el peso del ciclista, el peso de los diferentes materiales utilizados y la posición adoptada por el corredor (normalmente con agarre alto del manillar) (García-López, 2008).

Otra de las fuerzas resistivas al avance es la fuerza de rozamiento por rodadura. Esta aparece cuando la rueda avanza por una superficie y se deforma, provocando la pérdida de energía. Depende directamente del peso del sistema ciclista-bicicleta y del coeficiente de

rozamiento por rodadura. Se ha observado como a velocidades superiores a 40 km/h las pérdidas por rozamiento de rodadura están por debajo de un 10% del total de potencia producida, mientras que a velocidades inferiores a 15 km/h la resistencia por rodadura afecta de forma significativa al gasto energético total (García-López, 2008). Otros factores que pueden influir son la temperatura, presión y tipo de neumático o la rugosidad del terreno, por lo que parece importante adecuar el material en función del tipo de terreno para buscar disminuir esta fuerza de rozamiento (e.g., adecuando las presiones de los neumáticos a las condiciones ambientales).

Frente a estas fuerzas resistivas aparecen fuerzas propulsivas que favorecen el avance del sistema ciclista-bicicleta, las cuáles son producidas sobre los tres puntos de apoyo de la bicicleta, los pedales, el sillín y el manillar (Ferrer-Roca et al., 2017). Las fuerzas de mayor importancia son las ejercidas por las extremidades inferiores a los pedales, aunque se deben considerar las ejercidas por las extremidades superiores sobre el manillar, especialmente en terrenos con pendiente debido a que parte de estas fuerzas se transfieren a los pedales. En este sentido, García-López et al., 2016 demostraron que los ciclistas de mayor nivel tienen una mejor técnica de pedaleo que los de menor nivel competitivo, lo que hace que apliquen menos fuerza resistiva sobre los pedales en la fase de recobro de la pierna, algo que mejora su eficiencia de pedaleo (determinante durante el pedaleo submáximo, habitual en carreras de larga duración).

- *Factores relacionados con el entrenamiento*

Los factores relacionados con el entrenamiento que podemos diferenciar en ciclistas de ruta son el entrenamiento de la resistencia, el entrenamiento de fuerza, la aclimatación al calor y el entrenamiento en altura.

El entrenamiento de resistencia es uno de los pilares del rendimiento en ciclismo en ruta dada la duración y demandas de las carreras. Este tipo de entrenamiento provoca mejoras en el VO_2 máx, economía de trabajo y mejora la cinética del VO_2 , el umbral ventilatorio y de lactato (en términos absolutos y/o relativos al VO_2 máx) (Jones & Carter, 2000). Para conseguir estas adaptaciones, es necesario realizar una correcta monitorización del entrenamiento, controlando tanto variables de carga externa (volumen, intensidad o frecuencia de entrenamiento) como variables internas, que ayudan a entender la adaptación del organismo a estas cargas, siendo estableciendo posteriormente la relación entre ambas (Halson, 2014). Para este proceso de monitorización de la carga de entrenamiento, los entrenadores habitualmente establecen diferentes zonas de entrenamiento en base a los datos obtenidos con medidores de frecuencia cardíaca y/o potencia en test o competiciones,

que permiten determinar la intensidad del esfuerzo realizado (Pallarés & Morán-Navarro, 2012)

El entrenamiento de fuerza también se ha demostrado que puede tener efectos positivos sobre el rendimiento en ciclismo en ruta. En términos generales, se establece que el entrenamiento de fuerza máxima (en torno al 85% RM) de los grupos musculares implicados en el pedaleo durante al menos 8 semanas tiene mayores efectos sobre el rendimiento que entrenamientos de hipertrofia (Aagaard et al., 2011) o fuerza explosiva (Rønnestad & Mujika, 2013). En este sentido, autores como Rønnestad et al., 2011 demostraron con ciclistas bien entrenados que durante 3 horas de pedaleo submáximo no había diferencias en la economía de pedaleo durante las 2 primeras horas, pero a partir de la tercera hora los ciclistas que realizaron entrenamiento de fuerza mostraron una mejora significativa. Además, observaron que después de 185 minutos, el grupo que combinó entrenamiento de fuerza y resistencia mejora un 7% la potencia media producida en 5 minutos. También se ha demostrado como el entrenamiento de fuerza combinado con entrenamiento de resistencia produce mejoras en intervalos de 1 segundo, 30 segundos y 40 minutos y mejora la potencia generada en el umbral de lactato (4 mmol/L) (Rønnestad et al., 2015). Por lo tanto, este tipo de entrenamiento puede ser determinante en el rendimiento en competición, donde el ganador de la carrera se suele decidir tras varias horas de carrera, y en muchas ocasiones al sprint (Rønnestad et al., 2011), algo que está muy relacionado con la capacidad de producción de potencia de corta duración y alta intensidad (Merkes et al., 2020).

La aclimatación al calor parece ser otro de los aspectos importantes en el rendimiento en el ciclismo de ruta, dado que en ocasiones se realizan competiciones en épocas de verano (e.g., Tour de Francia), en las horas centrales del día. Se ha demostrado que la temperatura y el rendimiento en el ciclismo en ruta guardan una relación de U invertida, mostrando los mejores valores de potencia media para diferentes intervalos de tiempo entre los 10 y los 25°C (Valenzuela et al., 2022). En este sentido, muchos ciclistas realizan entrenamientos de corta duración (60-90 minutos) con temperaturas altas durante aproximadamente 10 días. Esto les ayuda a mejorar su VO₂máx, potencia en el umbral de lactato, rendimiento en contrarreloj de 60 minutos, volumen plasmático o gasto cardiaco en estas condiciones ambientales (Lorenzo et al., 2010), mejorando su rendimiento posterior en competición.

Por último, el entrenamiento en altitud es otra de las prácticas habituales que realizan los ciclistas de ruta como parte de su preparación. El entrenamiento en altitud produce una serie de mejoras a nivel cardiorrespiratorio (VO₂máx) o hematológicas (aumento del nivel de glóbulos rojos) entre otras, que ayudan a mejorar el rendimiento a nivel del mar (Saunders et al., 2009). Además, este tipo de entrenamientos mejoran la adaptación del ciclista a la

hipoxia para competir posteriormente en estas condiciones (e.g., ascenso de puertos de montaña de grandes vueltas que superan los 2000 m) las cuáles producen el aumento de la frecuencia cardiaca, gasto cardiaco o producción de lactato (Mazzeo, 2008). Existen tres métodos principales de entrenamiento en altura como son vivir y entrenar en altitud (LHTH), vivir a nivel del mar y entrenar en altitud (LLTH) y vivir en altitud y entrenar a nivel del mar (LHTL), siendo este último el más efectivo, ya que permite beneficiarse de los efectos de la aclimatación a la altitud sin producir los efectos negativos que tiene entrenar en condiciones de hipoxia (Ogueta-Alday & García-López, 2016).

- *Factores relacionados con la competición*

En el ciclismo en ruta podemos encontrar diferentes tipos de competiciones como son las carreras de 3 semanas o grandes vueltas (i.e., Giro de Italia, Tour de Francia y Vuelta a España), vueltas por etapas de en torno a 1 semana (i.g Vuelta al País Vasco) o carreras de un día (i.g. Clásica de San Sebastián o campeonatos nacionales) (Mujika & Padilla, 2001). En este tipo de competiciones podemos diferenciar entre las contrarreloj y etapas con salida en masa o línea. Estas a su vez, se clasifican en carreras llanas, de media montaña o de alta montaña (en función de la distancia de la subida y la altitud alcanzada).(Mujika & Padilla, 2001).

La intensidad media de las carreras del ciclismo en ruta es moderada, (en torno a 3 W/kg) aunque hay factores que pueden hacer que esta aumente, tales como la estrategia del equipo, el tipo de carrera (i.e. carreras de un día, o vueltas por etapas) o el perfil de esta (i.e. llana, media montaña o alta montaña) (Sanders & van Erp, 2021). Se ha demostrado como las carreras de un día tienen una mayor intensidad relativa cuando se comparan con vueltas por etapas (i.e. 3,17 y 2.99 W/kg respectivamente) (Sanders et al., 2019). Por otra parte, Sanders & Heijboer, 2019 observaron como las etapas de montaña de una gran vuelta eran las que mostraban mayor potencia media relativa (en torno a 3,5 W/kg) cuando se comparaban con etapas llanas o de media montaña (2,68 y 2,69 W/kg respectivamente).

Ante esta gran variedad de carreras, se ha clasificado a los ciclistas en función del terreno en el que son especialistas. Así, encontramos ciclistas especialistas en terreno llano (orientados a ganar en llegadas al sprint), contrarrelojistas, ciclistas todoterreno y ciclistas escaladores (normalmente orientados a las grandes vueltas) (Mujika & Padilla, 2001). Autores como Van Erp et al., 2020 observaron cómo los ciclistas que compiten por ganar la general del Tour de Francia muestran potencias medias elevadas para diferentes intervalos de tiempo como son 6.6-7.2 W/kg en 5'; 6.3-6.8 W/kg en 10'; 6-6.2 W/kg en 20'. En carreras que terminan al sprint en cambio, dadas las características de estos, los ciclistas que consiguen la victoria muestran valores elevados de potencia en otros rangos de tiempo

como son 12.2-15.8 W/kg durante el sprint (que habitualmente dura entre 9-17 segundos) y entre 13.9-20 W/kg de potencia máxima (Menaspà et al., 2015).

1.3 Medición de la potencia en ciclismo

El conocimiento e interpretación de los valores de potencia obtenidos por el ciclista puede ayudar a los entrenadores a controlar el entrenamiento a corto y largo plazo, predecir su rendimiento en competición y evaluar posteriormente su rendimiento en la misma (Passfield et al., 2017). Para la medición de la potencia en ciclismo, actualmente, está muy extendido el uso de medidores de potencia móviles cuya ubicación (e.g. pedales, bielas o eje de la rueda) y/o sistema utilizado (e.g. galgas extensiométricas o sistemas inerciales) determinan su validez y fiabilidad (Passfield et al., 2017).

El primer medidor de potencia móvil considerado como “gold standard” fue el sensor SRM, que se coloca entre el plato y las bielas, el cual se demostró que era fiable para la medición de potencia en condiciones de campo, dada su alta relación ($R^2=0.99$) con un ergómetro de laboratorio de freno por fricción (Jones & Passfield, 1998). Otros sistemas móviles que aparecieron posteriormente en el mercado son los medidores PowerTap que se colocan en el eje de la rueda trasera. Bertucci et al., 2005 demostraron la validez y fiabilidad de estos medidores para intensidades submáximas con respecto a los SRM dado que la subestimación de PowerTap no fue significativa, a pesar de estar colocado en el eje de la rueda, donde se ha disipado una parte de la potencia aplicada. Además, se observó como ambos eran precisos y reproducibles para pruebas de campo después de un periodo de uso de 11 meses (Gardner et al., 2004).

Los medidores de potencia móviles pueden ser utilizados actualmente por los entrenadores para crear el perfil de potencia individual o perfil de potencia récord, que se define como la potencia media máxima que un ciclista es capaz de realizar en esfuerzos de diferente duración (desde 1 segundo hasta 120 minutos) en condiciones de campo (Pinot & Grappe, 2011). Este, puede ser actualizado continuamente para establecer intensidades de entrenamiento por potencia en diferentes fases de la temporada (Pinot & Grappe, 2011) y permite, además, evaluar las posibles mejoras tras un proceso de entrenamiento o analizar el rendimiento en competición (Leo et al., 2021).

En este perfil de potencia individual, se incluyen esfuerzos cortos de alta intensidad que son los que muestran mayores valores de potencia habitualmente (e.g. 5-30 segundos). Sin embargo, se ha demostrado como existen diferencias en los valores de potencia obtenidos para este tipo de esfuerzos cuando se utilizan medidores de potencia móviles. Gardner et al., 2004 observaron diferencias entre el medidor de potencia móvil Powertap y SRM en

condiciones de campo y otros como Iglesias-Pino et al., 2022, demostraron que a pesar de que los valores obtenidos en competición por dos medidores de potencia móvil (PowerTap y power2máx) eran intercambiables, existían diferencias en los valores de potencia obtenidos en esfuerzos máximos de corta duración (<10 segundos). Por lo tanto, a pesar de que el perfil de potencia individual puede ser de gran utilidad para analizar datos de carreras y de entrenamientos en condiciones de campo reales, para la evaluar los esfuerzos cortos de alta intensidad (<30 segundos) se debería considerar la utilización de un test de laboratorio, dado que permiten controlar en mayor medida las condiciones de evaluación (Gardner et al., 2017).

1.4 El test de Wingate: influencia de la posición adoptada

Uno de los test de laboratorio más utilizados para evaluar este tipo de esfuerzos cortos de alta intensidad, es el test de Wingate, el cuál es un test válido y fiable para analizar la capacidad y potencia anaeróbica (Castañeda-Babarro, 2021). Los valores de potencia que se obtienen en este test son la potencia pico o máxima, potencia media en 30 segundos, potencia mínima, índice de fatiga o tiempo al pico de potencia máxima, pudiendo obtener valores absolutos o relativos al peso del ciclista (Hopkins et al., 2001). Originalmente este test tenía una duración de 30 segundos, donde el ciclista tenía que realizar un esfuerzo máximo (all-out) para vencer una resistencia del 7,5% de su peso corporal (Bar-Or,1987). Sin embargo, se ha visto como un test de 20 segundos es un test válido e intercambiable con el de 30 segundos y, además, puede reducir la fatiga neuromuscular que producen este tipo de esfuerzos máximos (Hernández-Belmonte et al., 2020). Por lo tanto, se puede ajustar la duración del test y la resistencia del cicloergómetro en función del objetivo del estudio (reduciendo la duración y aumentando la resistencia para medir variables relacionadas con la potencia anaeróbica tales como la potencia máxima, y aumentando el tiempo y reduciendo la resistencia para variables relacionadas con la capacidad anaeróbica como la potencia media o índice de fatiga) (Castañeda-Babarro, 2021).

Diversos estudios han estudiado la influencia de la posición adoptada por el ciclista (de pie vs. sentado) en el rendimiento del test de Wingate. Reiser et al., 2002 demostraron que al comparar ambas posiciones se daban mayores valores de potencia pico, potencia media o mínima relativos al peso del ciclista en posición de pie, aunque no encontraron diferencias en otras variables como el tiempo al pico o índice de fatiga. Otros estudios con ciclistas encontraron mejores resultados en pico de potencia y potencia media absoluta y relativa en posición de pie con respecto a la posición de sentado (Kadlec et al., 2022; Rohsler et al., 2020). Por lo tanto, parece importante tener en cuenta la posición adoptada por el ciclista

durante la realización del test para el correcto análisis posterior de los valores de potencia obtenidos.

2. OBJETIVOS Y COMPETENCIAS

El principal objetivo de este estudio fue estudiar la intercambiabilidad de los datos de potencia obtenidos en un test de Wingate de 30 segundos con un ergómetro estacionario de laboratorio (Wattbike) y los obtenidos con un medidor de potencia móvil colocado en los pedales (PowerTap P1). Además, se estudió la influencia que tiene la posición adoptada (de pie vs. sentado) en los valores de potencia obtenidos.

La principal motivación para realizar este estudio fue comprobar si los medidores de potencia móviles que habitualmente se utilizan en ciclismo ofrecen datos reproducibles para esfuerzos cortos de alta intensidad en relación con los obtenidos en condiciones de laboratorio, lo cuál puede ser interesante conocer a la hora de programar las sesiones de entrenamiento en base a los datos de potencia. Esto, es algo que no se ha estudiado en la literatura científica y que puede ser importante tener en cuenta para la valoración y posterior interpretación de los datos obtenidos en este tipo de esfuerzos.

Las competencias generales que se desarrollan en este trabajo de fin de grado de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte son:

- Conocer y comprender los objetos de estudio de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.
- Adquirir la formación científica básica aplicada a la actividad física y al deporte en sus diferentes manifestaciones.
- Conocer y comprender los efectos y los factores fisiológicos y biomecánicos que condicionan la práctica de la actividad física y del deporte.
- Comprender la literatura científica en el ámbito de la actividad física y del deporte.
- Saber aplicar las tecnologías de la información y comunicación al ámbito de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.
- Desarrollar competencias para el aprendizaje autónomo y la adaptación a las nuevas situaciones.
- Desarrollar hábitos de excelencia y calidad en el ejercicio profesional, actuando con respecto a los principios éticos necesarios.

Además, se desarrollan otras competencias de carácter específico como:

- Aplicar los principios biomecánicos a los diferentes campos de la actividad física y del deporte (educativo, entrenamiento, salud y recreación).
- Interpretar resultados y controlar variables utilizando diferentes métodos y técnicas instrumentales de medición o estimación, tanto de laboratorio como de campo, y aplicarlas en sus futuras tareas profesionales en diferentes ámbitos de población: docencia, salud, entrenamiento y rendimiento deportivo.
- Seleccionar y saber utilizar los recursos, instrumentos, herramientas y equipamientos adecuados para cada tipo de persona y de actividad, identificando claramente y en equipo multidisciplinar el marco adecuado para las mismas.

3. METODOLOGÍA

3.1 Participantes

En este estudio participaron 18 ciclistas (24.3 ± 7.1 años, 70.5 ± 8.4 kg y 176.4 ± 7.5 cm), estudiantes y profesores del Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad de Granada, cuyas características principales se muestran en la *Tabla 1*. Los principales criterios de inclusión fueron que tuvieran como mínimo 2 años de experiencia en la práctica deportiva del ciclismo, licencia federativa en vigor, además de no haber padecido una lesión grave en los 6 meses previos a la realización del estudio. Los ciclistas participaron en el estudio de forma voluntaria y fueron informados del procedimiento, objetivos, beneficios y posibles riesgos. Además, firmaron el consentimiento informado antes de comenzar la prueba (*anexos*).

Tabla 1.-Características de los ciclistas participantes en el estudio.

Variable	Media \pm DE	Mínimo	Máximo
Edad (años)	24.3 \pm 7.1	21	48
Masa (kg)	70.5 \pm 8.4	54.3	84.2
Estatura (cm)	176.4 \pm 7.5	165.3	192.5
IMC (kg/m ²)	22.6 \pm 2.4	18.6	28.3
Experiencia (años)	5 \pm 2.1	3	10
PAM (W)	291 \pm 65.1	210	435

IMC: Índice de masa corporal. Experiencia: Años de experiencia en la práctica de ciclismo.

PAM: Potencia Aeróbica Máxima

3.2 Procedimiento

Los participantes acudieron al laboratorio de ciclismo de la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Granada dos días (entre las 11-13 de a.m., altitud de 743 m sobre el nivel del mar, con unas condiciones meteorológicas de ~22 °C, ~1014 hPa y ~60 % de humedad), separados entre sí por una semana. Previamente a estos, no debían haber realizado un ejercicio de alta intensidad en las 48 h previas, debiendo haber descansado las 24 h antes de las pruebas. En estos dos días, los ciclistas realizaron un test de Wingate de 30 segundos de duración, que fue aleatorizado (*i.e.*, la mitad de los ciclistas en cada condición y día) en las posiciones de pie y sentado (*Figura 2*), utilizando un ergómetro de laboratorio (Wattbike, Wattbike Ltd., Nottingham, UK) previamente validado (Wainwright et al., 2016). El segundo día, los registros, además de en este cicloergómetro, fueron tomados utilizando un medidor de potencia móvil ubicado en los pedales del cicloergómetro (PowerTap P1, CycleOps, Madison, USA), que también ha sido previamente validado para su uso en ciclismo (Pallarés & Lillo-Bevia, 2018). Se buscó que todos los ciclistas realizaran un calentamiento estándar, más corto de lo habitual (en torno a 15 minutos), con el objetivo de no crear demasiada fatiga previa al test (Tomaras & Macintosh, 2011). El calentamiento se realizó a una intensidad de entre el 60-80% de su potencia aeróbica máxima, incluyendo en la parte final un esfuerzo de 6 segundos por encima de la misma e incluyendo, además, tres minutos de recuperación activa antes de la realización del test de Wingate.

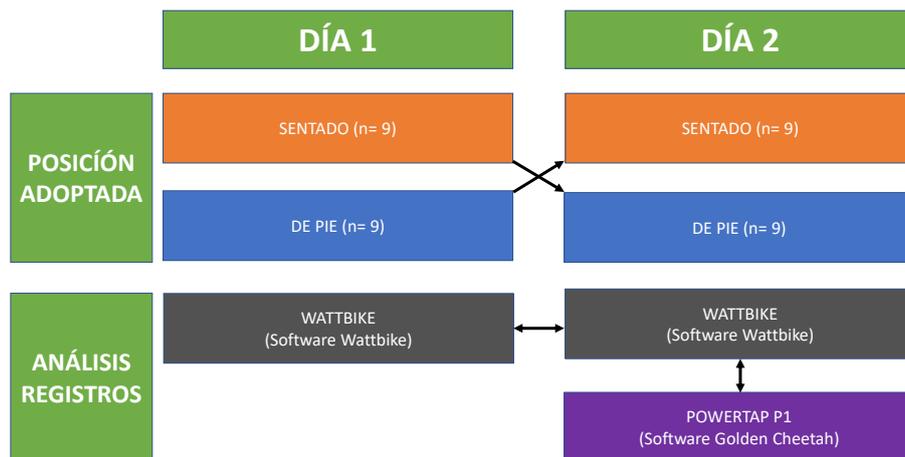


Figura 2.-Esquema resumen del protocolo realizado en los días 1 y 2. El test de Wingate se realizó en 2 posiciones (Sentado y De Pie). En el Día 2 los registros se analizaron simultáneamente en el cicloergómetro Wattbike (Software Wattbike) y en el medidor de potencia móvil ubicado en los pedales PowerTap P1 (Software Golden Cheetah).

- *Registro de los valores de potencia aeróbica máxima (PAM).*

Aunque esta variable no es principal para el estudio, el Día 1 se les pidió a los ciclistas que rellenaran un formulario antes de comenzar la prueba, donde debían indicar sus valores de potencia aeróbica máxima y el procedimiento utilizado para su evaluación. La mayor parte de los ciclistas (n= 12) indicaron haber realizado un test incremental hasta el agotamiento, realizando una medición directa de este valor (*i.e.*, comienzo en 100 watos, realizando incrementos de 20 watos cada 3 minutos). Los ciclistas restantes (n= 6) realizaron un test umbral de potencia funcional de 20 minutos, a partir del cual se estimó la potencia aeróbica máxima de cada uno de ellos (Allen & Coggan, 2010).

Con estos valores y siguiendo la clasificación de Ansley & Cangle, 2009, el grupo de ciclistas estuvo compuesto principalmente por ciclistas de nivel club (n= 8, PAM= 275-375 W). También se observan otros ciclistas con un nivel inferior clasificados como de recreación (n= 7, PAM= 200-275 W) y otros con mayor nivel clasificados como élite (n= 3, PAM= 375-450 W).

- *Test de Wingate.*

Todos los test de Wingate realizados tuvieron una duración de 30 segundos y durante el transcurso de estos, los ciclistas eran avisados en diferentes intervalos del tiempo restante para finalizar el mismo. Antes de entrar al laboratorio, se les explicó a los ciclistas el procedimiento del test, recalcando especialmente la importancia de realizar un esfuerzo máximo, buscando conseguir el valor más elevado posible de potencia máxima.

Todos los ciclistas utilizaron sus zapatillas habituales de entrenamiento y se les replicaron en el cicloergómetro Wattbike las mismas medidas que llevaban en su bicicleta habitual (García-López et al., 2015). Tras realizar el calentamiento, utilizando el software del cicloergómetro Wattbike, se seleccionó la opción de test de 30 segundos y se introdujo el peso, sexo y modelo del cicloergómetro. En base a estos parámetros, el cicloergómetro Wattbike recomienda dos valores de resistencia (freno de aire y freno magnético) que fueron utilizados en todos los test (*Figura 3*).



Figura 3.- Ejemplo de la pantalla incorporada en el cicloergómetro Wattbike (izquierda). Ejemplo de resistencias recomendadas por el software Wattbike previo a la realización del test (derecha). Extraído de "Wattbike Owners Manual" (Wattbike. Wattbike Indoor Cycle Ergometer Owner's Manual.)

Los test fueron realizados en diferentes posiciones (*i.e.*, de pie y sentado) en orden aleatorio. Durante el test de pie, se estableció que el ciclista no podía apoyarse en ningún momento sobre el sillín, pudiendo apoyar únicamente las manos en el manillar y los pies sobre los pedales del cicloergómetro. En el caso del test sentado, el ciclista debía permanecer sentado en el sillín durante los 30 segundos, sin poder levantarse, y debía mantener la posición de manos y pies apoyados sobre el cicloergómetro durante los 30 segundos que duraba el test.

- *Escala de percepción subjetiva del esfuerzo (RPE)*

La escala RPE o escala de percepción del esfuerzo (Borg, 1982) se utilizó para medir la intensidad percibida por el participante tras acabar la vuelta a la calma. Para ello se utilizó una plantilla con diferentes ítems, donde el ciclista tenía que puntuar su esfuerzo con un valor comprendido entre 0 y 10, correspondiendo el valor 0 al estado de reposo y el valor de 10 para el esfuerzo máximo. Además, junto con esta escala se recogieron algunas de las sensaciones de los ciclistas relativas al esfuerzo realizado a lo largo del test (*e.g.*, fatiga muscular).

- *Análisis de datos en el cicloergómetro Wattbike.*

Para el análisis de los datos obtenidos con el cicloergómetro Wattbike se utilizó el propio software que incorpora este cicloergómetro (Wattbike Expert Software), el cuál registra los datos cada segundo (1 Hz). Los datos de cada ciclista fueron agrupados en función de la posición adoptada (días 1 y 2 en orden aleatorio) utilizando la herramienta Microsoft Excel 2010 para Windows. Los valores de potencia obtenidos directamente de la pantalla que incorpora este cicloergómetro fueron los valores principales del estudio: potencia máxima, potencia media y potencia mínima. Posteriormente y teniendo en cuenta los valores anteriores, se calculó el índice de fatiga empleando la siguiente fórmula (Calbet et al., 1997):

$$\text{Índice de fatiga} = [(P_{\text{máx}} - P_{\text{mín}}) / P_{\text{máx}}] \times 100$$

P_{máx}: Potencia máxima alcanzada en el test; P_{mín}: Potencia mínima del test.

- *Análisis de datos del medidor de potencia móvil PowerTap P1.*

Para el análisis de los datos obtenidos con el medidor de potencia móvil PowerTap P1, se conectó este a un ciclocomputador Garmin modelo Edge 1030, programado para registrar los valores de potencia cada segundo (1 Hz). Después de la realización de todas las pruebas diarias, se procedió al volcado de estos archivos al ordenador para ser abiertos con el software de análisis gratuito “Golden Cheetah” (versión 3.5, www.goldencheetah.org). Este software fue configurado para analizar los valores de potencia obtenidos cada segundo y, además, se configuraron las diferentes gráficas y tablas para analizar los valores más relevantes del estudio y la evolución de estos a lo largo del test (*Figura 4*).

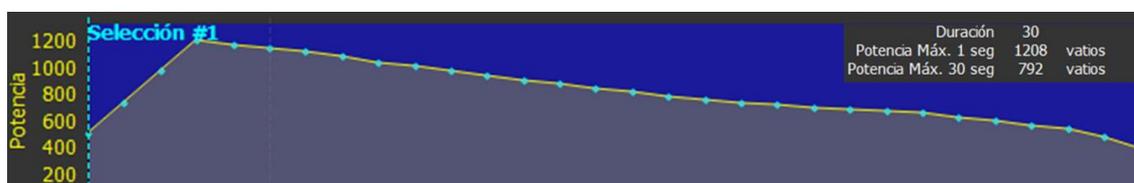


Figura 4.- Ilustración de las gráficas y valores de potencia obtenidos en el test de 30 segundos.

La potencia máxima se obtuvo cogiendo el máximo valor de potencia obtenido en un intervalo de tiempo de un segundo; la potencia media se obtuvo seleccionando los datos registrados durante los 30 segundos que duró el test; la potencia mínima se obtuvo cogiendo el valor mínimo de potencia obtenido en un intervalo de un segundo (que en muchos casos coincidió con el último segundo); el índice de fatiga se obtuvo aplicando la fórmula indicada en el apartado anterior.

Todos los datos, al igual que en el caso del análisis de datos del cicloergómetro Wattbike, fueron agrupados empleando el software Microsoft Excel 2010. En esta ocasión (día 2) los datos extraídos de Golden Cheetah fueron agrupados junto con los obtenidos el mismo día con el cicloergómetro Wattbike para analizar la influencia del sistema de registro utilizado (Wattbike vs. PowerTap P1).

- *Análisis gráfico y estadístico de los resultados.*

El análisis gráfico se llevó a cabo en el software Microsoft Excel (Microsoft Office 365, Microsoft Inc., EEUU). Los valores son expresados como media y desviación estándar de las mismas (Media ± DE). El software IBM SPSS Statistics V.26.0 se utilizó para el análisis estadístico (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA). Un análisis de la varianza (ANOVA) de dos vías

para medidas repetidas fue utilizado para comprobar el efecto del medidor de potencia (Wattbike vs. PowerTap P1) y la posición adoptada sobre la bicicleta (Sentado vs. De Pie), considerando que existían diferencias significativas con valores de $P < 0.05$. Adicionalmente, se determinó el tamaño del efecto de las diferencias, utilizando la prueba Eta Parcial al Cuadrado ($\rho\eta^2$), considerando que el tamaño del efecto es pequeño (0.01–0.059), moderado (0.06–0.137) y grande (>0.137), de acuerdo con estudios científicos previos (Wilk et al., 2021). También se valoró la validez concurrente de los dos medidores de potencia para las variables de potencia máxima y media utilizando el coeficiente de correlación intraclase y representaciones Bland-Altman, siguiendo la metodología de estudios previos (Ogueta-Alday et al., 2013).

4. RESULTADOS

La *Tabla 2* muestra los registros obtenidos durante el Test de Wingate en función del dispositivo utilizado para su registro Wattbike o PowerTap P1 y de las posiciones de pie o sentado. En la *Figura 5* se muestra el comportamiento de las variables principales del estudio (potencia máxima y media).

Tabla 2.-Registros obtenidos durante el Test de Wingate en función del sistema utilizado para su medición (Wattbike y PowerTap P1) y de la posición adoptada durante la realización el mismo (De Pie y Sentado).

Variable	ANÁLISIS REGISTROS		POSICIÓN ADOPTADA	
	Wattbike	Powertap P1	De pie	Sentado
Potencia máxima (W)	1076±204.3	1088.4±206.5*	1106.7±212.7 [#]	1028.2±218.8
Potencia media (W)	684.4±135.7*	676±135.5	684.1±125.3 [#]	668.2±137.1
Potencia mínima (W)	406.5±101.3*	362.1±119.9	381.8±116.5	395.2±95
Índice de fatiga (%)	61.7±8.1	66.2±10.2*	64.1±10.7 [#]	61±7.6
RPE (0-10)			9.7±0.3 [#]	9.3±0.7

RPE: Percepción subjetiva de esfuerzo (escala 0-10). Diferencias significativas en función del sistema de medición () y de la posición adoptada ([#]).*

Analizando la influencia del sistema de registro (*Figura 5*), se observan diferencias moderadas en la potencia máxima ($F= 1.2$, $P= 0.285$, $\rho\eta^2= 0.071$), la cual fue mayor en el PowerTap P1 (~1.2%), sin influencia de la posición adoptada (*i.e.*, sensor x posición). Contrariamente, se observan grandes diferencias en la potencia media ($F= 2.8$, $P= 0.114$,

$\rho\eta^2= 0.149$), donde claramente fue mayor la registrada con el cicloergómetro Wattbike (~ 1.2%), también sin influencia de la posición analizada (*i.e.*, sensor x posición).

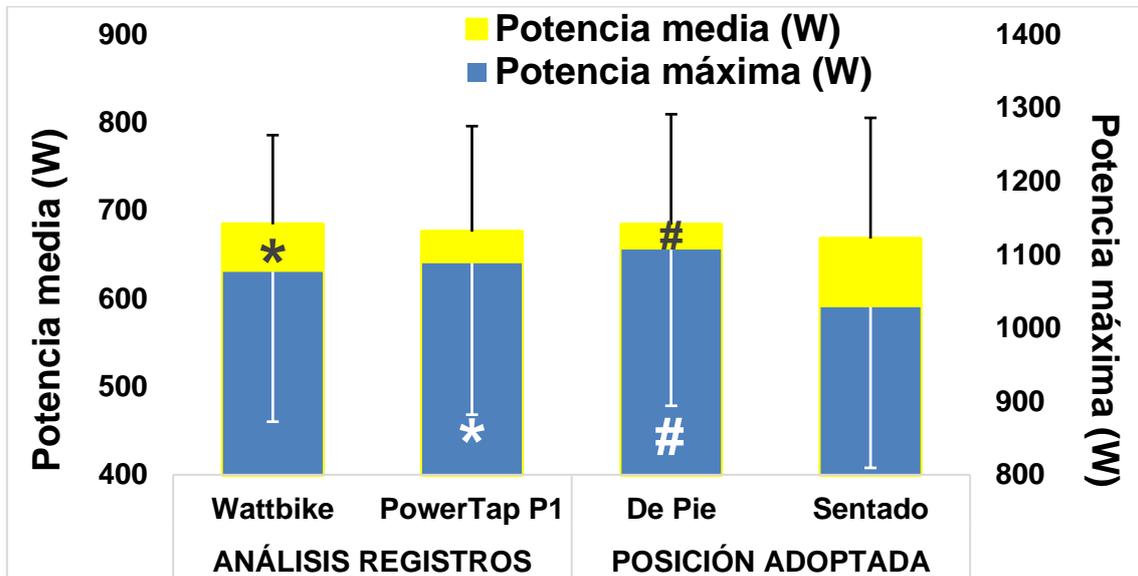


Figura 5.-Valores de potencia máxima y potencia media obtenidos en función del sistema de registro (Wattbike y PowerTap P1) y de la posición adoptada (De Pie y Sentado). Diferencias significativas (*sistema de medición y #posición adoptada).

También se observan grandes diferencias en la potencia mínima (Tabla 2) ($F= 6.98$, $P= 0.018$, $\rho\eta^2= 0.304$) ya que la potencia registrada con el cicloergómetro Wattbike fue mayor que con el PowerTap P1. Además, se observa una pequeña diferencia en función de la posición adoptada ($F= 0.87$, $P= 0.365$, $\rho\eta^2= 0.051$), lo que indica que las diferencias tendían a ser mayores en posición de pie (381 ± 117.7 vs. 321.4 ± 131.9 W) con respecto a la posición de sentado (431.4 ± 81.0 vs. 402.7 ± 97.0 W). También se encontraron grandes diferencias en el índice de fatiga ($F= 9.2$, $P= 0.008$, $\rho\eta^2= 0.365$) que fue mayor en el medidor de potencia móvil PowerTap P1, con una pequeña influencia en la posición adoptada ($F= 1.0$, $P= 0.342$, $\rho\eta^2= 0.056$), lo que indica que de nuevo las diferencias tendían a ser mayores en la posición de pie (67.2 ± 13.9 vs. 61.2 ± 10.8 %) con respecto a la posición de sentado (65.2 ± 5 vs. 62.1 ± 4.9 %).

Al analizar únicamente la variable posición en el cicloergómetro Wattbike (comparando los valores de potencia obtenidos ambos días) se observan grandes diferencias en las variables principales del estudio, como son la potencia máxima ($F= 9.8$, $P= 0.006$, $\rho\eta^2= 0.365$) y potencia media ($F= 493.5$, $P= 0.000$, $\rho\eta^2= 0.967$). En ambos casos, los valores fueron superiores en la posición de pie, aunque es en la potencia media donde se dan mayores diferencias. Además, se encontraron diferencias grandes en los valores de índice de fatiga ($F= 3.3$, $P= 0.087$, $\rho\eta^2= 0.162$) y RPE ($F= 4.4$, $P= 0.051$, $\rho\eta^2= 0.206$), los cuáles de nuevo

fueron mayores en la posición de pie. No se encontraron diferencias significativas en los valores de potencia mínima ($F= 0.6$, $P= 0.459$, $\rho\eta^2= 0.033$).

La *Tabla 3* muestra las correlaciones obtenidas entre las diferentes variables del estudio, en función del análisis de los registros y de la posición adoptada. Las correlaciones entre los registros fueron muy significativas para la potencia máxima, media, mínima e índice de fatiga. Además, en función de la posición adoptada, de nuevo fueron muy significativas para los valores de potencia máxima, media, mínima e índice de fatiga, aunque fueron poco significativas para los valores de RPE.

Tabla 3.-Registros obtenidos durante el Test de Wingate en función del sistema utilizado para obtenerlos (Wattbike y PowerTap P1) y de la posición adoptada durante la realización el mismo (De Pie y Sentado).

Variable	SISTEMA DE REGISTRO	POSICIÓN ADOPTADA
	Wattbike vs. PowerTap P1	De pie vs. Sentado
Potencia máxima (W)	0.98	0.88
Potencia media (W)	0.99	0.94
Potencia mínima (W)	0.80	0.76
Índice de fatiga (%)	0.78	0.74
RPE (0-10)	-	0.36

RPE: Percepción subjetiva de esfuerzo (escala 0-10). Nivel de significación de las correlaciones ($P < 0.05$).

Los siguientes gráficos Bland-Altman muestran que la diferencias entre ambos sistemas no dependen del valor de potencia registrado (*Figura 6*). Sin embargo, en la potencia máxima estas tienen un límite de concordancia ($1.96 \cdot DE$) de 103.0 W, mientras que en la potencia media este límite es de 40.9 W.

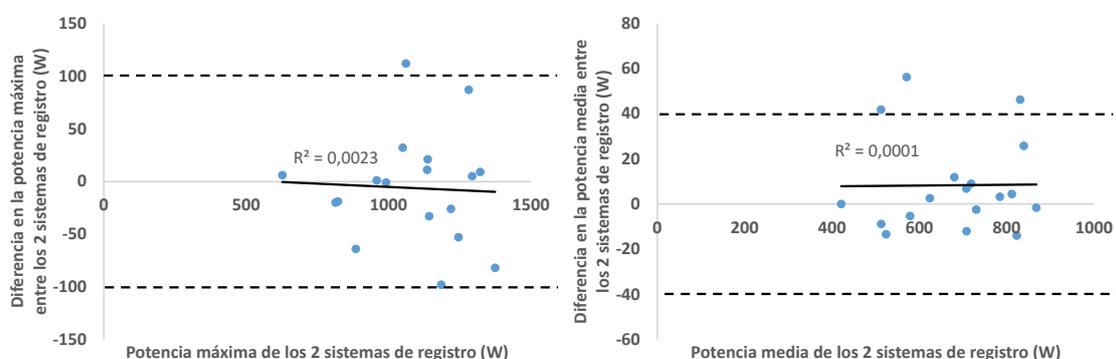


Figura 6.-Gráfica Bland-Altman de la potencia obtenida con los sistemas Wattbike y PowerTap P1. Registro de la potencia máxima (izquierda) y de la potencia media (derecha).

5. DISCUSIÓN

El principal hallazgo de este estudio fue comprobar que existen diferencias en los valores de potencia obtenidos en un test de Wingate en función del sistema de registro utilizado (PowerTap p1 vs. Wattbike). Se demostró que los valores de potencia máxima e índice de fatiga fueron mayores cuando se registraron con el medidor de potencia móvil PowerTap P1 (1.2 y 6.8% respectivamente) mientras que los valores de potencia media y potencia mínima fueron mayores cuando se registraron con el cicloergómetro Wattbike (1.3 y 11% respectivamente). Aunque la correlación entre ambos sistemas de registro fue elevada para las potencias máxima y media (0.98 y 0.99, respectivamente), el margen de error encontrado en este estudio (gráficos Bland-Altman) es demasiado elevado (~ 100 y 40 W, respectivamente). Por lo tanto, se debe tener en cuenta el sistema de registro utilizado en este tipo de esfuerzos cortos de alta intensidad cuando se realiza un programa de entrenamiento con ciclistas, especialmente en disciplinas donde la capacidad y potencia anaeróbica son determinantes del rendimiento (e.g. BMX race, ciclismo en pista o cuando se realizan programas de entrenamiento con especialistas en llegadas al sprint en ruta).

En el presente trabajo la potencia máxima fue mayor en el PowerTap P1 (~ 1.2%, *Tabla 2 y Figura 5*). Aunque estudios anteriores han demostrado que no existen diferencias entre Wattbike y PowerTap para esfuerzos contrarreloj de 16 km (Whittle et al., 2018), otros estudios han demostrado que hay variaciones en los valores de potencia máxima en al emplear el sistema PowerTap, especialmente a altas cadencias (Bertucci et al., 2005). Estos resultados, coinciden con los de Iglesias-Pino *et al.*, 2022, los cuáles demostraron que en esfuerzos cortos de alta intensidad el medidor de potencia móvil PowerTap sobreestima los valores de potencia máxima. Estos últimos trabajos están en consonancia con lo observado en el presente estudio, pudiendo atribuir las diferencias en potencia máxima a la limitación del sistema PowerTap P1 para registrar altas potencias de pedaleo (*i.e.*, esfuerzos supramáximos), ya que sólo ha sido validado durante esfuerzos submáximos (Whittle et al., 2018).

Contrariamente, en el presente trabajo la potencia media fue mayor en el cicloergómetro Wattbike con respecto al PowerTap P1 (~ 1.2%, *Tabla 2 y Figura 5*). En relación con lo comentado anteriormente, el cicloergómetro Wattbike sí ha sido previamente validado para este tipo de esfuerzos (Driller et al., 2013), mientras que el PowerTap P1 no. Aunque la diferencia entre ambos medidores de potencia no es muy importante a nivel cuantitativo, la variación del registro en función de tomarlo de uno u otro medidor de potencia oscila entre ~100 (potencia máxima) y ~40 W (potencia media) (*Figura 6*). Esta variación en la potencia media en el test de Wingate es mayor que la encontrada en estudios que han utilizado este

test para evaluar la capacidad anaeróbica de ciclistas tras un proceso de entrenamiento combinado de fuerza máxima y resistencia (mejoras de ~ 10 W tras 12 semanas de entrenamiento) (Rønnestad et al., 2010) o cuando se han comparado ciclistas de dos modalidades (ciclismo ruta vs. mountainbike) utilizando el mismo medidor de potencia (~6 W de diferencia entre ambos a favor de los ciclistas de ruta) (Hebisz et al., 2018). En ambos estudios, se observa una mayor diferencia en los valores de potencia máxima debida al entrenamiento o a la especialidad ciclista practicada (~ 120 y 70 W, respectivamente). Esto coincide con los resultados de este trabajo, donde se ha observado una mayor variación de los registros de potencia máxima con respecto a los de potencia media (~ 100 y 40 W respectivamente) (*Figura 6*), lo que representa un ~6 y 9% de los valores absolutos de estas variables (*Tabla 2*), respectivamente. Por lo tanto, parece que no es recomendable intercambiar el medidor de potencia a la hora de registrar esfuerzos cortos de alta intensidad, dadas las diferencias que puede haber en los valores de potencia máxima y media entre diferentes medidores.

Los resultados de potencia mínima obtenidos con el cicloergómetro Wattbike fueron mayores que con el PowerTap P1 (~11%, *Tabla 2*). Estos resultados coinciden con los observados por Whittle et al., 2018, quienes obtuvieron que los datos de PowerTap P1 analizados con Golden Cheetah muestran valores inferiores a los analizados con el software que incorpora la Wattbike, aunque en este caso no obtuvieron diferencias significativas. Una de las posibles causas de estas diferencias puede ser que el PowerTap P1 tiene 40 puntos de medición por cada golpe de pedal frente a los 2 puntos que tiene la Wattbike (Bouillod et al., 2017), permitiendo así obtener el registro más bajo de potencia durante cualquier ciclo de pedaleo del test.

Lo comentado en los párrafos anteriores explicaría por qué las correlaciones en la potencia mínima y el índice de fatiga entre ambos sistemas de medición (0.80 y 0.78, respectivamente) sean menores que las observadas para la potencia máxima y media (*Tabla 3*), ya que, a la variación en el registro de la potencia máxima habría que sumar la variación en el registro de la potencia mínima, siendo el índice de fatiga dependiente de ambas variables.

Otro de los hallazgos del trabajo ha sido demostrar que los valores de potencia máxima, media, índice de fatiga y RPE son mayores en la posición de pie (~7.1, ~2.4, ~4.9 y ~4.2 % respectivamente, *Tabla 2*) con respecto a la posición de sentado, resultados que concuerdan con los obtenidos por diversos autores (Rohsler et al., 2020; Reiser et al., 2002). Estos resultados pueden ser debidos a que el aprovechamiento del peso del cuerpo supone una mayor activación de los músculos implicados en el pedaleo en esta posición (Duc et al., 2008) o a una contribución mayor de las extremidades superiores al pedaleo (Costes et

al.,2016). Además, las diferencias encontradas en el índice de fatiga pueden explicar también las diferencias encontradas en la variable RPE, ya que ambas han sido mayores en la posición de pie. Sin embargo, estos últimos hallazgos no concuerdan con los de estudios previos, donde no se observaron diferencias en el índice de fatiga no registrándose la variable RPE (Reiser et al., 2002). Esto puede deberse a que en este caso se registró la potencia máxima y mínima en intervalos de 5 segundos a diferencia en este estudio que se registraron los valores de potencia obtenidos cada segundo. Además, en este estudio, se demostró como la potencia máxima y mínima era mayor en la posición de pie, lo que reduce el índice de fatiga en esta posición. En otros estudios como el de Roshler et al.,2020 no se observan diferencias en potencia mínima, lo que explica que tampoco se den diferencias en el índice de fatiga.

Futuros estudios deberán estudiar si existen diferencias en las variables índice de fatiga y RPE entre ambas posiciones en un grupo más homogéneo de ciclistas, estableciendo una posible relación entre ambas.

Las principales limitaciones de este trabajo han sido: a- No haber podido analizar todas condiciones de pedaleo en todos los ciclistas. Es decir, sólo se pudieron analizar los valores de potencia con los dos sistemas de registro el Día 2 (*Figura 2*), y no el Día 1, porque, aunque inicialmente estaba previsto, hubo problemas con la configuración del dispositivo Garmin. b- Las características de los participantes del trabajo eran bastante heterogéneas (*Tabla 1*), debiendo replicarse el trabajo en grupos de ciclistas más homogéneos. c- No haber realizado protocolos en el terreno deportivo, cuestión que permite el PowerTap P1, aunque finalmente se decidió utilizar una condición de laboratorio, porque el ergómetro de referencia (Wattbike) así lo requería, y para evitar la posible interferencia de otras variables (e.g., temperatura, humedad, etc.). Futuros trabajos realizados en el campo deberían llevar a cabo comparaciones similares a los del presente trabajo, pero entre el PowerTap P1 y otros medidores de potencia móviles.

6. CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS

El principal hallazgo de este trabajo ha sido demostrar que existen diferencias importantes en los registros de potencia obtenidos durante esfuerzos de pedaleo de alta intensidad (test de Wingate), en función de si se utiliza un cicloergómetro de laboratorio (Wattbike) o un medidor de potencia móvil (PowerTap P1). Por lo tanto, si el objetivo es evaluar la potencia y capacidad anaeróbica de los ciclistas, y hacer un seguimiento a lo largo del proceso de

entrenamiento, se recomienda utilizar un cicloergómetro de laboratorio previamente validado para este tipo de esfuerzos.

En la línea de trabajos previos, se ha demostrado que la posición adoptada durante el test de Wingate (sentado vs. de pie) afecta a los valores de potencia registrados, obteniéndose mayores valores de potencia máxima, media, índice de fatiga y RPE en la posición de pie, lo que evidencia la necesidad de estandarizar la posición durante la realización de este test.

Futuros estudios deberán validar los medidores de potencia móviles para el registro de este tipo de esfuerzos cortos de alta intensidad en condiciones de campo. Además, se debe tener en cuenta que la mayoría de los registros de alta intensidad tomados en campo se obtienen en posición de pie sobre bicicleta, lo cual resulta interesante a la hora de decidir qué protocolo del test Wingate utilizar (sentado vs. de pie). La precisión en la obtención de estos registros de alta intensidad de pedaleo es útil para detectar cambios en el rendimiento y diseñar sesiones de entrenamiento orientadas a la mejora de la potencia y capacidad anaeróbica, lo cual es especialmente interesante en las modalidades de ciclismo como el BMX race, pruebas de velocidad en ciclismo de pista y etapas llanas con llegadas al sprint en ciclismo de ruta.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aagaard, P., Andersen, J. L., Bennekou, M., Larsson, B., Olesen, J. L., Crameri, R., Magnusson, S. P., & Kjær, M. (2011). Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 21(6), 298-307.
- Allen, Hunter. & Coggan, Andrew. (2010). *Training and racing with a Power Meter*. Paidotribo. Barcelona.
- Ansley, L., & Cangle, P. (2009). Determinants of “optimal” cadence during cycling. *European Journal of Sport Science*, 9(2), 61–85.
- Artetxe-Gezuraga, X., Maldonado-Martín, S., Freemye, B. G., & Cámara, J. (2019). Gross efficiency and the relationship with maximum oxygen uptake in young elite cyclists during the competitive season. *Journal of Human Kinetics*, 67(1), 123-131.

- Atkinson, G., Davison, R., Jeukendrup, A., & Passfield, L. (2003). Science and cycling: Current knowledge and future directions for research. *Journal of Sports Sciences*, 21(9), 767–787.
- Bar-Or, O. (1987). The Wingate anaerobic test an update on methodology, reliability and validity. *Sports Medicine*, 4(6), 381-394.
- Bertucci, W., Duc, S., Villerius, V., Pernin, J. N., & Grappe, F. (2005). Validity and reliability of the PowerTap mobile cycling powermeter when compared with the SRM device. *International Journal of Sports Medicine*, 26(10), 868–873.
- Borg G. (1982). Ratings of perceived exertion and heart rates during short-term cycle exercise and their use in a new cycling strength test. *International Journal of Sports Medicine*, 3(3), 153–158.
- Bouillod, A., Pinot, J., Soto-Romero, G., Bertucci, W., & Grappe, F. (2017). Validity, sensitivity, reproducibility, and robustness of the powertap, stages, and garmin vector power meters in comparison with the SRM device. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(8), 1023–1030.
- Calbet, J. A. L., Chavarren, J., & Dorado, C. (1997). Fractional use of anaerobic capacity during a 30- and a 45-s Wingate test. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 76(4), 308–313.
- Castañeda-Babarro, A. (2021). The Wingate Anaerobic Test, a narrative review of the protocol variables that affect the results obtained. *Applied Sciences*, 11(16), 7417.
- Driller, M. W., Argus, C. K., & Shing, C. M. (2013). The reliability of a 30-s sprint test on the wattbike cycle ergometer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(4), 379–383.
- Earnest, C. P., Foster, C., Hoyos, J., Muniesa, C. A., Santalla, A., & Lucia, A. (2009). Time trial exertion traits of cycling's Grand Tours. *International Journal of Sports Medicine*, 30(4), 240–244.
- Ferrer-Roca, V. (2015). Comparación de diferentes métodos de ajuste de la bicicleta en ciclistas entrenados: Influencia de factores biomecánicos y energéticos (Tesis Doctoral). Universidad de León: León.
- Ferrer-Roca, V., Rivero-Palomo, V., Ogueta-Alday, A., Rodríguez-Marroyo, J. A., & García-López, J. (2017). Acute effects of small changes in crank length on gross

- efficiency and pedalling technique during submaximal cycling. *Journal of Sports Sciences*, 35(14), 1328–1335.
- García-López, J. (2008). Manifestación de las fuerzas aerodinámicas en diferentes deportes: ciclismo y atletismo. En Izquierdo, M., & Redín, M. I. (Ed.), *Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte* (pp. 415-445). Madrid, España: Editorial Médica Panamericana.
- García-López, J., Díez-Leal, S., Ogueta-Alday, A., Larrazabal, J., & Rodríguez-Marroyo, J. A. (2016). Differences in pedalling technique between road cyclists of different competitive levels. *Journal of Sports Sciences*, 34(17), 1619-1626.
- García-López, J., Ogueta-Alday, A., Larrazabal, J., & Rodríguez-Marroyo, J. A. (2014). The use of velodrome tests to evaluate aerodynamic drag in professional cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 35(5), 451–455.
- Pallarés, JG & Morán-Navarro, R. (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.
- 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.
- Gardner, S. A., Martin, T. D., Barras, M., Jenkins, G. D., & Hahn, G. A. (2005). Power output demands of elite track sprint cycling. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 5(3), 149-154.
- Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, 44(2), 139-147.
- Hebisz, P., Hebisz, R., Borkowski, J., & Zaton, M. (2018). Time of VO₂max plateau and post-exercise oxygen consumption during incremental exercise testing in young mountain bike and road cyclists. *Physiological Research*, 67(5), 711–719.
- Hernández-Belmonte, A., Buendía-Romero, Á., Martínez-Cava, A., Courel-Ibáñez, J., Mora-Rodríguez, R., & Pallarés, J. G. (2020). Wingate test, when time and overdue

- fatigue matter: Validity and sensitivity of two time-shortened versions. *Applied Sciences*, 10(22), 1–11.
- Hettinga, F. J., de Koning, J. J., de Vrijer, A., Wüst, R. C. I., Daanen, H. A. M., & Foster, C. (2007). The effect of ambient temperature on gross-efficiency in cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 101(4), 465–471.
- Hopker, J., Coleman, D., Passfield, L., & Wiles, J. (2010). The effect of training volume and intensity on competitive cyclists' efficiency. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 35(1), 17-22.
- Hopkins, W. G., Schabert, E. J., & Hawley, J. A. (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports Medicine*, 31(3), 211–234.
- Iglesias-Pino, J., Herrero-Molleda, A., Fernández-Fernández, J., & García-López, J. (2022). Interchangeability between the Data Obtained by Two Powermeters during Road Cycling Competitions: A Case Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(24), 16446.
- Jones, A. M., & Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine*, 29(6), 373–386.
- Jones, S. L. P., & Passfield, L. (1998). The dynamic calibration of bicycle power measuring cranks. *Engineering of Sport*, 265-274.
- Kadlec, J., Marko, D., Vondrasek, J. D., & Bahenský, P. (2022). Effect of body position during the Wingate Test. *Journal of Physical Education and Sport*, 22(3), 690–695.
- Leo, P., Spragg, J., Mujika, I., Giorgi, A., Lorang, D., Simon, D., & Lawley, J. S. (2021). Power Profiling, Workload Characteristics, and Race Performance of U23 and Professional Cyclists During the Multistage Race Tour of the Alps. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(8), 1089–1095.
- Leo, P., Spragg, J., Simon, D., Lawley, J. S., & Mujika, I. (2020). Training characteristics and power profile of professional U23 cyclists throughout a competitive season. *Sports*, 8(12), 167.
- Lorenzo, S., Halliwill, J. R., Sawka, M. N., & Minson, C. T. (2010). Heat acclimation improves exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, 109(4), 1140-1147.
- Mazzeo, R. S. (2008). Physiological responses to exercise at altitude: An update. *Sports Medicine*, 38(1), 1–8.

- Menaspà, P., Quod, M., Martin, D. T., Peiffer, J. J., & Abbiss, C. R. (2015). Physical Demands of Sprinting in Professional Road Cycling. *International Journal of Sports Medicine*, 36(13), 1058–1062.
- Merkes, P., Mensapà, P., & Abbiss, C. (2020). Sprinting in road cycling – literature review. *Journal of Science and Cycling*, 9(3), 1–24.
- Ministerio de Cultura y Deporte. (2022). *Anuario de estadísticas deportivas 2022*. Recuperado de: <https://www.culturaydeporte.gob.es/dam/jcr:76870d19-0484-408e-836e-d9faa2d5d406/anuario-de-estadisticas-deportivas-2022.pdf>
- Mujika, I., & Padilla, S. (2001). Physiological and performance characteristics of male professional road cyclists. *Sports Medicine*, 31(7), 479–487.
- Ogueta-Alday, A., & López, J. G. (2016). Factores que afectan al rendimiento en carreras de fondo. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 12(45), 278-308.
- Ogueta-Alday, A., Morante, J. C., Rodríguez-Marroyo, J. A., & García-López, J. (2013). Validation of a new method to measure contact and flight times during treadmill running. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(5), 1455–1462.
- Pallarés, J. G., & Lillo-Bevia, J. R. (2018). Validity and Reliability of the PowerTap P1 Pedals Power Meter. *Journal of Sports Science and Medicine*, 17(2), 305–311.
- Passfield, L., Hopker, J. G., Jobson, S., Friel, D., & Zabala, M. (2017). Knowledge is power: Issues of measuring training and performance in cycling. *Journal of Sports Sciences*, 35(14), 1426–1434.
- Pinot, J., & Grappe, F. (2011). The record power profile to assess performance in elite cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 32(11), 839–844.
- Reiser, R. F., Maines, J. M., Eisenmann, J. C., & Wilkinson, J. G. (2002). Standing and seated Wingate protocols in human cycling. A comparison of standard parameters. *European Journal of Applied Physiology*, 88(2), 152-157.
- Rohsler, R., Campos, F. D. S., Varoni, P. R., Baumann, L., Demarchi, M., Teixeira, A. S. & Flores, L. J. F. (2020). Performance comparison in the Wingate test between standing and seated positions in competitive cyclists. *Motriz: Revista de Educação Física*, 26(2).

- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2010). Effect of heavy strength training on thigh muscle cross-sectional area, performance determinants, and performance in well-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, *108*(5), 965–975.
- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2011). Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *21*(2), 250–259.
- Rønnestad, B. R., Hansen, J., Hollan, I., & Ellefsen, S. (2015). Strength training improves performance and pedaling characteristics in elite cyclists. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *25*(1), 89–98.
- Rønnestad, B. R., & Mujika, I. (2014). Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in sports*, *24*(4), 603-612.
- Sanders, D., & Heijboer, M. (2019). Physical demands and power profile of different stage types within a cycling grand tour. *European Journal of Sport Science*, *19*(6), 736–744.
- Sanders, D., & van Erp, T. (2021). The physical demands and power profile of professional Men's cycling races: An updated review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *16*(1), 3–12.
- Sanders, D., van Erp, T., & de Koning, J. J. (2019). Intensity and Load Characteristics of Professional Road Cycling: Differences Between Men's and Women's Races. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *14*(3), 296–302.
- Santalla, A., Earnest, C. P., Marroyo, J. A., & Lucia, A. (2012). The Tour de France: an updated physiological review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *7*(3), 200–209.
- Saunders, P. U., Pyne, D. B., & Gore, C. J. (2009). Endurance training at altitude. *High Altitude Medicine and Biology*, *10*(2), 135–148.
- Tomaras, E. K., & MacIntosh, B. R. (2011). Less is more: standard warm-up causes fatigue and less warm-up permits greater cycling power output. *Journal of Applied Physiology*, *111*(1), 228-235.
- Unión Ciclista Internacional. (2023). *UCI Disciplines*. Recuperado de: <https://www.uci.org/disciplines/all/2tLnZMo6WrUBpIRXDxyEi7>

- Valenzuela, P. L., Mateo-March, M., Zabala, M., Muriel, X., Lucia, A., Barranco-Gil, D., & Pallarés, J. G. (2022). Ambient Temperature and Field-Based Cycling Performance: Insights From Male and Female Professional Cyclists. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(7), 1025–1029.
- Van Erp, T., Hoozemans, M., Foster, C., & De Koning, J. J. (2020). Case Report: Load, Intensity, and Performance Characteristics in Multiple Grand Tours. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 52(4), 868–875.
- Wainwright, B., Cooke, C. B., & O'Hara, J. P. (2017). The validity and reliability of a sample of 10 Wattbike cycle ergometers. *Journal of Sports Sciences*, 35(14), 1451-1458.
- Wattbike. *Wattbike Indoor Cycle Ergometer Owner's Manual*. Recuperado de: https://sportsciencesafety.stir.ac.uk/files/2020/09/wattbike_ownersMan.pdf
- Whittle, C., Smith, N., & Jobson, S. A. (2018). Validity of powertap p1 pedals during laboratory-based cycling time trial performance. *Sports*, 6(3), 92.
- Wilk, M., Jarosz, J., Krzysztofik, M., Filip-Stachnik, A., Bialas, M., Rzeszutko-Belzowska, A., Zajac, A., & Stastny, P. (2021). Contrast Tempo of Movement and Its Effect on Power Output and Bar Velocity During Resistance Exercise. *Frontiers in Physiology*, 11, 629199.

8. ANEXOS

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA LA REALIZACIÓN DE UN TEST DE PEDALEO MÁXIMO EN LABORATORIO

El objetivo principal de este estudio es comparar los valores de potencia obtenidos en un test de pedaleo a intensidad máxima (Test de Wingate de 30 segundos) en diferentes posiciones (de pie o sentado). El objetivo secundario es el de comparar los valores obtenidos en un cicloergómetro estacionario de laboratorio (Wattbike) con los obtenidos con un medidor de potencia móvil colocado en los pedales (PowerTap P1).

Las pruebas se realizarán los días 24 de Noviembre y 1 de Diciembre de 2022 en el laboratorio de ciclismo de la Facultad de Ciencias del Deporte de Granada, como parte del trabajo de fin de grado “Comparación de dos sistemas de registro de la potencia en ciclismo durante el test de Wingate: influencia de la posición adoptada (sentado vs. de pie)”

Las dos pruebas serán realizadas un cicloergómetro Wattbike, donde el ciclista realizará un esfuerzo máximo de 30 segundos en posición de pie o sentado durante todo el test, algo que será determinado de forma aleatoria antes de comenzar el mismo. Durante el test, el ciclista será avisado en diferentes intervalos del tiempo restante hasta finalizar el mismo. El ciclista tendrá un tiempo de calentamiento de 10 minutos aproximadamente en un cicloergómetro estacionario y podrá realizar una vuelta a la calma posterior al test. Al finalizar ambas pruebas el ciclista recibirá un informe donde se detallan los diferentes valores de potencia obtenidos en ambas posiciones.

El interesado autoriza a los investigadores a utilizar sus datos para ser tratados con fines de investigación, preservando su derecho al anonimato y cumpliendo con la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal.

El principal inconveniente de esta prueba es que exige al ciclista un esfuerzo máximo durante 30 segundos, lo que puede provocar mareos, náuseas, vómitos o calambres. Sin embargo, eximo a los responsables de la realización del test de cualquier responsabilidad derivada del mismo. En los momentos posteriores a la finalización del test, el ciclista permanecerá en el laboratorio el tiempo necesario en caso de malestar general o en caso de que aparezcan cualquiera de los síntomas anteriores hasta recuperarse completamente del esfuerzo. Además, la Facultad, dispone de medios y personas con la cualificación necesaria para aplicar maniobras de reanimación cardiopulmonar (RCP) en caso de que fuera necesario. Si estas medidas no fuesen suficientes el ciclista sería trasladado y acompañado por alguno de los investigadores al Centro de Salud Almanjáyar

(a 5 minutos de la Facultad) o al Hospital Universitario Virgen de las Nieves (a 10 minutos de la Facultad).

La participación en estas pruebas es de carácter voluntario, y existe posibilidad de retirarse de las mismas en cualquier momento.

Los tutores del trabajo de fin de grado de Ciencias de la Actividad Física y Del Deporte son Dr. Juan García López (Universidad de León) y Dr. Mikel Zabala Díaz (Universidad de Granada) y el alumno es D. Pablo Bustingorri Eguaras, los cuales se comprometen a informar y contestar a todas las dudas y preguntas del interesado.

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, Dn/Dña..... con DNI..... doy mi consentimiento para participar en el test máximo de Wingate llevado a cabo en el laboratorio de Ciencias del Deporte de la Universidad de Granada.

Se me ha proporcionado la correspondiente hoja informativa sobre el procedimiento y posibles riesgos, y, habiendo comprendido estos, declaro estar completamente informado y acepto participar libre y voluntariamente en este estudio.

Comprendo que puedo retirarme de el estudio en cualquier momento y eximo a los responsables del estudio de cualquier responsabilidad derivada de este.

Granada, a de 2023

Deportista:

Fdo: