

Relación entre la curva de potencia y el rendimiento en XCM

Relationship between the MMP and performance in XCM

Nombre del alumno: Ramón Royo Pina

Del profesor tutor de la universidad: Sebastian Sitko

Fecha de presentación: 27/05/2024

RESUMEN

Este trabajo tuvo el objetivo de ver qué puntos y parámetros de la curva de potencia media y normalizada tenían una mayor correlación con el rendimiento en una prueba de Cross-country maratón (XCM). Para ello, se recogió la curva de potencia media y normalizada de 7 ciclistas participantes en la XI edición de la Jamón Bike, primera prueba de la copa de España de XCM, y se calcularon las correlaciones existentes entre el tiempo en terminar la prueba de XCM y los puntos y parámetros derivados de las curvas de potencia de cada participante. Todos los puntos de la curva de potencia relativa al peso corporal con una duración superior a 5 minutos estuvieron significativamente correlacionados con el tiempo en terminar la Jamón Bike. Podemos concluir que la potencia relativa al peso corporal representa mejor el rendimiento en XCM que la potencia bruta y que la capacidad y potencia aeróbica son los principales determinantes del rendimiento en XCM.

Palabras clave: Ciclismo de montaña, cross-country maratón, curva de potencia, potencia, rendimiento.

This work had the objective of seeing which points and parameters of the mean and normalized power curve had the highest correlation with performance in a Cross-country marathon (XCM) event. For this purpose, the mean and normalized power curves of 7 cyclists participating in the XI edition of the Jamón Bike, the first competition of the Spanish XCM Cup, were collected.

Correlations between the completion time of the XCM event and the points and parameters derived from the power curves of each participant were calculated. All points of the power curve relative to body weight with a duration exceeding 5 minutes were significantly correlated with the completion time of the Jamón Bike. We can conclude that power relative to body weight better represents XCM performance than absolute power and that, among cyclists of different levels, aerobic capacity is the main determinant of XCM performance.

Key words: Mountain bike, cross-country marathon, mean maximal power, power output, performance.

ÍNDICE

RESUMEN	2
ÍNDICE	4
LISTADO DE ABREVIATURAS	5
DESARROLLO DE LA MEMORIA.....	6
INTRODUCCIÓN.....	6
OBJETIVOS.....	8
DESARROLLO	9
ENFOQUE EXPERIMENTAL	9
PARTICIPANTES.....	10
COMPETICIÓN DEPORTIVA.....	11
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	12
RESULTADOS	13
DISCUSIÓN	15
LIMITACIONES.....	20
CONCLUSIONES.....	24
BIBLIOGRAFÍA.....	24

LISTADO DE ABREVIATURAS

AEI: Aerobic endurance index o índice de resistencia aeróbica.

CS: Compound Score.

MTB: Ciclismo de montaña.

MMP: Maximun mean power o curva de potencia.

PPO: Peak power output o potencia máxima alcanzada en un test incremental.

Pr: Potencia relativa al peso corporal.

PNr: Potencia normalizada relativa al peso corporal.

UCI: Unión Ciclista Internacional

XCO: Cross-country olympic.

XCM: Cross-country maratón.

VO2max: Consumo máximo de oxígeno.

DESARROLLO DE LA MEMORIA

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se analiza la relación entre la potencia ejecutada por el deportista en diferentes duraciones y el tiempo en completar una prueba de cross-country maratón.

El cross-country maratón (XCM) es una disciplina del ciclismo de montaña (MTB) que se lleva a cabo en circuitos largos y de terreno variado, alternando tramos de carretera, camino y senda. Las carreras pertenecientes a esta disciplina deben tener un recorrido de entre 60 y 160 kilómetros, no habiendo restricción de tiempo. La carrera puede constar de una o varias vueltas a un circuito, siendo 3 el número máximo de vueltas que se pueden realizar (RFEC, 2020). Además, estas pruebas se caracterizan por comenzar mediante una salida lanzada grupal. La parrilla de salida de estas pruebas, por norma general, dependerá del número de puntos UCI (Unión Ciclista Internacional) de cada corredor. Cabe destacar que, según el reglamento de la UCI, las pruebas por etapas de MTB forman parte de esta categoría, sin embargo, no tendrán la obligación de tener un recorrido de 60 kilómetros o más en todas sus etapas (RFEC, 2020).

Esta disciplina ha experimentado un importante crecimiento en la última década, especialmente a nivel popular (Ahrend et al., 2018; Moss et al., 2019). Sin embargo, sigue siendo menos conocida que el cross-country olympic (XCO), disciplina olímpica con una mayor repercusión mediática y que abarca la mayor parte de las investigaciones científicas en el campo del MTB.

Destacar que el XCO se caracteriza por carreras más cortas, con una duración en torno a 1h30, disputadas en circuitos de entre 3,5 y 6 kilómetros, al menos, en el caso de las pruebas de nivel clase 1 (RFEC, 2020).

Hasta el momento, pocos estudios han investigado los factores de rendimiento en XCM y todavía no existe un consenso claro sobre qué parámetros fisiológicos pueden ser de mayor relevancia para predecir el rendimiento en esta disciplina. Por un lado, podemos destacar los estudios realizados por do Carmo et al. (2021) y Engelbrecht et al. (2017), quienes encuentran que la potencia desarrollada al segundo umbral ventilatorio es la principal variable en predecir el rendimiento en esta disciplina. Por otro lado, algunos estudios combinan test máximos con los parámetros tradicionales de laboratorio, destacamos los realizados por Ahrend et al. (2018) y Novak et al. (2018b), quienes observan que la combinación del consumo máximo de oxígeno (VO_2max) con la potencia desarrollada en un test de 1 minuto, predice con mayor precisión el rendimiento en XCM que el resto de variables.

Ante esta falta de consenso y la variabilidad encontrada en los resultados de los estudios que investigan los factores de rendimiento en esta disciplina, en este trabajo buscamos establecer qué variables pueden tener una mayor correlación con el rendimiento en una prueba perteneciente a la Copa de España de XCM, la cual representa con fiabilidad las características de esta modalidad, al menos, en nuestro país.

OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es observar que puntos y parámetros derivados de la curva de potencia media y normalizada del deportista tienen una mayor correlación con el tiempo en terminar una prueba de XCM, y por tanto, podrían ser más útiles para predecir el rendimiento en esta prueba.

Como objetivos secundarios, este trabajo busca:

- Observar si la potencia media relativa al peso corporal correlaciona mejor con el tiempo en terminar una prueba de XCM que la potencia media bruta o el compound score.
- Observar que duraciones de la curva de potencia media y normalizada pueden tener una mayor correlación con el tiempo en completar una prueba de XCM.
- Observar si la correlación existente entre el tiempo en terminar una prueba de XCM y la potencia normalizada es mayor a la correlación existente entre el tiempo en terminar una prueba de XCM y la potencia media.
- Observar si otras métricas derivadas de la curva de potencia como el AEI o la forma de la curva de potencia pueden estar correlacionadas con el rendimiento en XCM.

DESARROLLO

ENFOQUE EXPERIMENTAL

Durante este trabajo examinamos las correlaciones existentes entre la curva de potencia media (MMP) y normalizada obtenida por cada deportista en duraciones de entre 5'' y 180', y el tiempo en completar una prueba de XCM. El protocolo fue aprobado por el Comité de Ética de la Investigación de la Comunidad Autónoma de Aragón y todos los participantes firmaron el consentimiento informado.

Para la realización de este trabajo se reclutaron ciclistas participantes en el recorrido largo de la 11^a edición de la Jamón Bike, primera prueba de la Copa de España de XCM (Calamocha, 6 de abril de 2024). Durante este proceso, se establecieron los siguientes criterios de inclusión: Los participantes debían terminar la 11^a edición de la Jamón Bike sin averías mecánicas; debían entrenar y competir con potenciómetro; debían tener, al menos, dos años de experiencia compitiendo en XCM; debían haber realizado, al menos, tres carreras este año con una bici con potenciómetro; y el potenciómetro utilizado para recoger los datos de su MMP (incluyendo entrenamientos y competiciones) debía funcionar correctamente y haber sido calibrado de manera habitual.

Tras establecer los criterios de inclusión, el proceso de reclutamiento se llevó a cabo durante la semana anterior y las dos semanas posteriores a la 11^a edición de la Jamón Bike. Resaltar que este proceso se alargó debido a que algunos de los ciclistas que habían accedido a participar en el estudio no completaron la prueba. Finalmente, se explicó el procedimiento a seguir a todos los

participantes, los cuales, firmaron el consentimiento informado. Tras la firma de dicho consentimiento los participantes donaron de forma voluntaria los datos referentes a su potencia máxima media absoluta obtenida durante este año para las duraciones de 5'', 1', 5', 10', 20', 60' y 180'; y su potencia máxima normalizada obtenida durante este año en las duraciones de 5', 10', 20', 60' y 180'. Además, también compartieron su peso durante la temporada, y el tiempo en completar la 11^a edición de la Jamón Bike.

Una vez los datos fueron recogidos, tuvo lugar un proceso de seudonimización, donde a cada participante se le asignó un número aleatorio del 1 al 7; y se llevó a cabo el análisis de datos para observar las correlaciones existentes.

PARTICIPANTES

Previamente a la Jamón Bike, se habló con 8 ciclistas que, en caso de terminar la carrera, serían reclutados para el estudio. De estos 8, uno no pudo participar y 2 no terminaron la carrera por problemas mecánicos. Tras la prueba se encontraron 2 voluntarios más que cumplían los criterios de inclusión.

Por ello, finalmente, la muestra de este estudio está formada por un grupo de 7 personas, 6 hombres y 1 mujer.

Tabla 1: Tiempo, peso y MMP de los participantes.

Variable	Media (SD)	Rango (min-max)
Tiempo (min)	296,6 (46,13)	249,1 - 367
Peso (kg)	65,8 (10,46)	50,5 - 85
Potencia (w/kg) 5''	16,3 (4,09)	10,1-21,7
Potencia (w/kg) 1'	7,8 (1,59)	5,9 - 10,2
Potencia (w/kg) 5'	5,4 (0,72)	4,6 - 6,2
Potencia (w/kg) 10'	4,9 (0,74)	3,9 - 5,7
Potencia (w/kg) 20'	4,6 (0,65)	3,7 - 5,3
Potencia (w/kg) 60'	3,9 (0,63)	3,1 - 4,8
Potencia (w/kg) 180'	3,4 (0,49)	2,8 - 4,2

COMPETICIÓN DEPORTIVA

Para la realización de este estudio se utilizó la Jamón Bike como prueba de referencia que permitiera determinar el rendimiento en XCM y correlacionar los datos. Esto se debe a que la Jamón Bike reúne las características propias de una prueba de XCM, de hecho, ha sido la primera prueba de la Copa de España de XCM por segundo año consecutivo, contando con corredores de nivel internacional como Roberto Bou o Martin Frey. Por ello, consideramos que puede ofrecer una visión relevante de los condicionantes de esta disciplina deportiva.

El recorrido de esta edición consistió en 3 bucles que suman un total de 93 kilómetros y 2200 metros de desnivel positivo. Todos ellos caracterizados por un recorrido quebrado y sin largas subidas. Podemos ver el perfil de la prueba en la figura 2.

Destacar que el primer y el último bucle tienen numerosos tramos de senda de subida y de bajada, mientras que el segundo bucle transcurre en su mayoría por pista, muchas de ellas abiertas al viento. Esto pudo ser de especial relevancia, ya que la velocidad máxima del viento fue de 27km/h con rachas de 50km/h. Además, la temperatura ese día fue de entre 9,5º (06:30) y 27,1º (16:10), por lo que tanto el calor como el viento pudieron tener un papel importante en el resultado de la prueba.

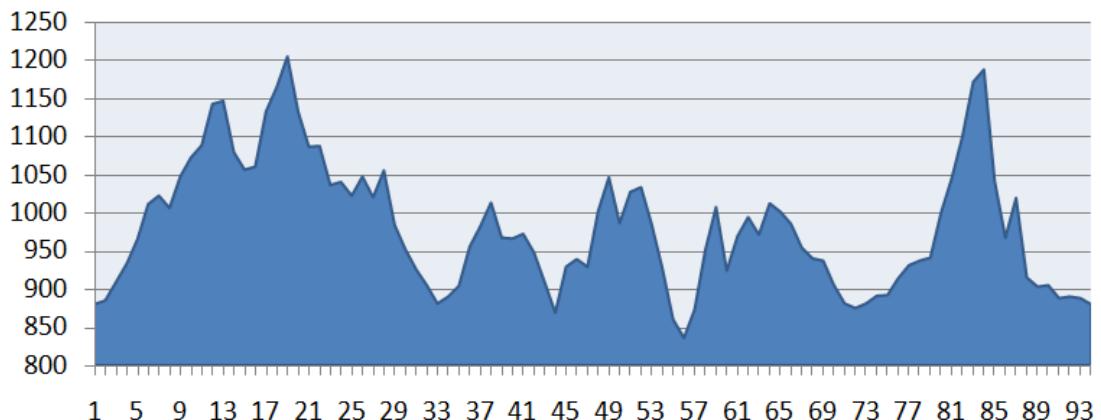


Figura 2: Perfil de la XI Jamón Bike.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A través de IBM SPSS statics se calcularon las correlaciones existentes entre los diferentes puntos de la curva de potencia y métricas derivadas, y el tiempo en completar la prueba deportiva. En todas las variables se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson con significancia bilateral.

Para el análisis de la forma de la curva de potencia se utilizó la potencia obtenida en las diferentes duraciones en relación al MMP en 5 minutos, para ello simplemente se dividió la potencia media de la duración analizada entre la potencia en 5 minutos y se observó la correlación de cada punto con el tiempo en completar la prueba. Para ver si la velocidad de caída de la curva de potencia tenía correlación con el rendimiento se utilizó el AEI (Pinot et al., 2014). El cálculo del AEI se realizó a través de Microsoft Excel para Mac, versión 15.32. Para ello se obtuvo el exponente de la función potencial que representaban los puntos de la curva de potencia de cada participante.

También se calculó el Compound Score (CS). Con este fin se utilizó la fórmula propuesta por Leo et al. (2022), la cual multiplica la potencia absoluta por la potencia relativa al peso corporal de cada ciclista en la duración examinada.

Finalmente, para la realización de los gráficos se utilizó Microsoft Office Excel 2007.

RESULTADOS

432 ciclistas tomaron la salida de la XI Jamón Bike, de los cuales, solo acabaron 320. Esta gran cantidad de abandonos repercutió negativamente en este trabajo, ya que dos potenciales participantes tuvieron que retirarse por problemas mecánicos. Por ello, finalmente, la muestra fue de 7 participantes, por debajo del mínimo establecido previamente para el trabajo (8 personas), por lo que los resultados de este trabajo deben ser interpretados con cautela.

Los 7 participantes en el estudio terminaron la carrera entre el puesto 25 y el 300 de la clasificación general absoluta, destacando un top 10 en la categoría élite femenina y un top 20 en la categoría élite masculina. La diferencia entre el participante mejor clasificado y el peor clasificado fue de casi 2 horas.

Se observaron correlaciones inversas significativas ($p < 0,01$) entre la potencia relativa al peso corporal (Pr) en duraciones superiores a 5 minutos y el tiempo en terminar la prueba. La correlación más alta se encontró con la Pr en 20 minutos ($r=-0,988$). El resto de las duraciones tuvieron una correlación inversa mayor o igual a -0,9. También se observaron correlaciones inversas significativas ($p < 0,01$) con la potencia normalizada relativa al peso corporal (PNr) en duraciones de entre 10 y 60 minutos ($r=-0,88$; $r=-0,91$; $r=-0,96$). El CS también mostró correlaciones significativas con un nivel de significación inferior

a 0,01 para las duraciones de 20 y 60 minutos. Sin embargo, las correlaciones fueron ligeramente más bajas ($r=-0,88$; $r=-0,88$).

Igualmente, se observaron correlaciones significativas ($p < 0,05$) para la Pr en 5 segundos y 1 minuto ($r=-0,76$; $r=-0,84$), para la PNr en 5 y 180 minutos ($r=-0,83$; $r=-0,87$) y para el CS en 1, 5, 10 y 180 minutos ($r=-0,82$; $r=-0,8$; $r=-0,87$; $r=-0,86$).

No se observaron correlaciones significativas con el resto de variables.

En la tabla 2 se muestran las correlaciones entre el tiempo en finalizar la prueba deportiva y las variables principales.

Tabla 2: Correlaciones entre variables de potencia y el tiempo en finalizar la prueba

Variable	Correlación (Pearson)	Sig. (bilateral)
Pr 5'	-0,931	0,002
Pr 10'	-0,975	<0,001
Pr 20'	-0,988	<0,001
Pr 60'	-0,956	<0,001
Pr 180'	-0,898	0,006
PNr 10'	-0,876	0,01
PNr 20'	-0,906	0,005
PNr 60'	-0,959	<0,001
CS 20'	-0,879	0,009
CS 60'	-0,879	0,009

Leyenda: Pr = Potencia relativa al peso corporal; PNr = Potencia normalizada relativa al peso corporal; CS = Compound score.

En la figura 3 podemos ver la relación entre la Pr en 20 minutos y el tiempo en completar la prueba.

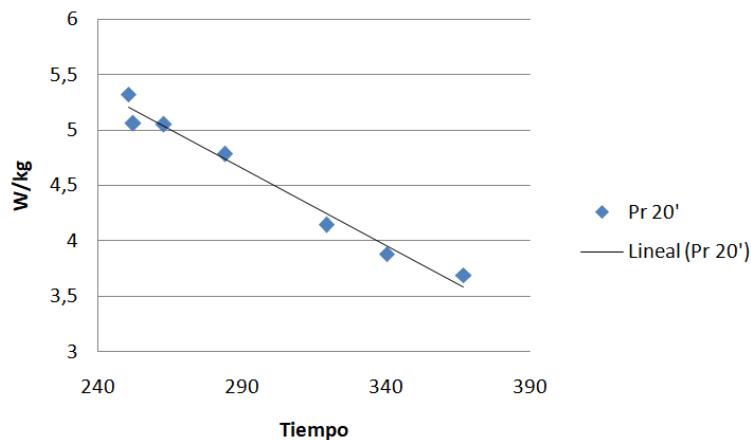


Figura 3: Relación entre la potencia relativa al peso corporal en 20' (Pr 20') y el tiempo empleado en completar la prueba.

DISCUSIÓN

El objetivo de este trabajo fue investigar qué puntos o parámetros de la curva de potencia tienen una mayor correlación con el tiempo en terminar una prueba de XCM.

Los resultados muestran que la potencia relativa al peso corporal tiene una correlación mucho mayor con el rendimiento en una prueba de XCM que la potencia bruta y el CS. Destacar que el CS tiene una correlación mucho mayor que la potencia bruta con el rendimiento en una prueba de XCM, sin embargo, esta correlación es inferior a la que obtiene la Pr. Esto no es sorprendente, ya que la velocidad media de los participantes durante la competición fue muy inferior a las velocidades a las que se compite en ciclismo de carretera, donde algunos estudios han observado que el CS correlaciona mejor que la Pr con el rendimiento (Leo et al., 2022; Leo et al., 2023). Esta menor velocidad media supone una menor resistencia del viento, disminuyendo la fuerza de rozamiento y la importancia de la potencia absoluta. Sin embargo, puede que en pruebas

de XCM más llanas y en deportistas de mayor nivel el CS pudiera tener una mayor importancia.

Estos resultados coinciden con los hallazgos de Ahrend et al. (2018), donde la inclusión de la masa corporal al modelo mejoraba su capacidad de predecir el rendimiento. Destacar que Novak et al. (2018b), Reinpöld (2017) y Vaitkevičiūtė et al. (2012), en sus estudios, también obtienen mayores correlaciones al utilizar la Pr en vez de la potencia bruta. Siguiendo esta línea, en XCO podemos encontrar resultados similares en muchos estudios, donde se observa que las correlaciones obtenidas entre la Pr y el rendimiento son superiores a aquellas obtenidas con la potencia bruta (Costa et al., 2008; Gregory et al., 2007; Impellizzeri et al., 2005; Miller et al., 2014; Novak et al., 2018a). Resaltar que el XCO, a pesar de tener una menor duración y demandar una mayor intensidad, parece tener unos factores de rendimiento similares al XCM (Novak et al., 2018b).

Por el contrario, en otros estudios realizados en XCM los autores encuentran correlaciones más altas con la potencia bruta (do Carmo et al., 2021; Engelbrecht et al., 2017; Greef, 2014). La discrepancia entre los resultados obtenidos en estos estudios y los de este trabajo pueden deberse a varias razones. Por un lado, la mayor correlación con la potencia bruta obtenida en el estudio realizado por do Carmo et al. (2021) podría deberse a que la desviación estándar del peso de los participantes fue inferior a la de los participantes de este trabajo (6 vs 10,5). Ya que otros factores que podrían explicar estas diferencias, como la velocidad media o el desnivel acumulado por kilómetro, fueron similares entre ambos trabajos. Por su parte, Engelbrecht et al. (2017) y Greef (2014) estudiaron los factores de rendimiento durante una carrera de

XCM por etapas, Engelbrecht et al. (2017) sugieren que la menor intensidad a la que se compite en estas carreras podría explicar que se hayan encontrado mayores correlaciones con la potencia bruta.

Por otra parte, como hemos visto en el apartado de resultados, la Pr en duraciones superiores a 5 minutos (inclusive) obtuvo una correlación significativa ($p<0,01$) con el tiempo en finalizar la prueba. Estos resultados muestran la importancia del desarrollo del metabolismo aeróbico en XCM. Puede parecer que estos resultados van en contra de lo hallado en otros estudios, donde se observa que variables con una alta contribución del metabolismo glucolítico, como la Pr en 5" o un 1', son las variables que mejor correlacionan con el rendimiento en XCM (Ahred et al., 2018; Vaitkevičiūtė et al., 2012). Sin embargo, debemos tener en cuenta que hay una gran diferencia de nivel entre los participantes que forman la muestra de este trabajo, lo cual podría haber afectado a los resultados, ya que en un grupo con un VO_{2max} homogéneo puede que sean las variables glucolíticas las que permiten alcanzar el éxito en esta disciplina. Apoyando esta hipótesis, Vaitkevičiūtė et al. (2012) concluyen que la ausencia de correlaciones significativas entre los parámetros de laboratorio y el rendimiento en XCM podría deberse a que la muestra del estudio fue muy homogénea. Esta menor correlación entre el rendimiento y los parámetros de laboratorio cuando se trabaja con grupos con un VO_{2max} homogéneo podemos observarla también en XCO (Impellizzeri et al., 2005). Además, en ambos estudios los autores hipotetizan que las variables de carácter anaeróbico pueden ser determinantes en grupos con un nivel homogéneo. Podemos observar el caso contrario en el estudio realizado por do

Carmo et al. (2021), quienes, si tenemos en cuenta el tiempo empleado por cada participante en terminar la prueba, utilizaron una muestra con un nivel de heterogeneidad similar a la de este trabajo, obteniendo correlaciones superiores a 0,9 y con un nivel de significación inferior a 0,001 para la potencia desarrollada al segundo umbral ventilatorio y la máxima potencia alcanzada en un test incremental (PPO), resultados semejantes a los obtenidos en este trabajo. Por ello, el nivel de heterogeneidad de la muestra podría ser el causante de las diferencias entre los resultados de este trabajo y otros estudios.

Finalmente, las diferencias observadas entre los diversos estudios también podrían deberse a que el XCM es una disciplina muy amplia, donde los factores de rendimiento pueden variar considerablemente en función de la prueba deportiva. Esto queda patente en el estudio de Ahrend et al. (2018), donde la potencia en 5 minutos es la variable con mayor correlación con el rendimiento en una prueba ($r=-0,85$), mientras que obtiene una correlación baja en otra competición ($r=-0,57$). De hecho, una de las conclusiones del estudio es que los resultados de la comparación entre los parámetros de laboratorio y el rendimiento en una única prueba de XCM podrían sobreestimar el valor predictivo de ciertas variables. En este aspecto, creemos que nuevos estudios que investiguen como cambian los factores de rendimiento en función del tipo de prueba serían de gran interés para entender esta modalidad.

Destacar que en este trabajo también se observaron correlaciones significativas ($p<0,05$) para la potencia relativa en 5 segundos y 1 minuto ($r=-$

0,76; $r=-0,84$), mostrando la importancia del metabolismo anaeróbico en XCM, como defienden otros estudios (Ahrend et al., 2018; Novak et al., 2018b; Vaitkevičiūtė et al., 2012). A pesar de ello, se encontraron correlaciones más altas y con mayor nivel de significación en las duraciones superiores. Por lo que podemos concluir que la potencia y capacidad aeróbica son las variables principales que permiten diferenciar a ciclistas de diferente nivel en XCM. Estos mismos resultados los encontramos en otros estudios que investigan el rendimiento en ciclismo, y muestran que las variables aeróbicas tienen mayor capacidad para diferenciar a ciclistas de distinto nivel (Coyle et al., 1991; Menaspá et al., 2010).

Concluir que ni el AEI ni la forma de la curva de potencia fueron capaces de diferenciar a los ciclistas de distinto nivel, esto coincide con los hallazgos de Pinot et al. (2014), quienes tampoco observan ninguna relación entre el AEI y el nivel de un grupo de ciclistas de carretera.

Respecto a la potencia normalizada, la PNr en 60 minutos fue la única duración en la que la PNr obtuvo una correlación mayor que la Pr. Esto podría deberse a que puede que el MMP no dé una estimación fiable de la capacidad máxima del ciclista de generar potencia en 60 minutos, ya que es muy improbable realizar un esfuerzo continuo máximo a esta intensidad. La potencia normalizada, al representar mejor los esfuerzos de intensidad variable (Coggan et al., 2003), podría haber representado mejor la capacidad del ciclista en esta duración. De hecho, la PNr en 180 minutos tuvo una correlación con el tiempo en acabar la prueba similar a la de la Pr para la misma duración, mientras que

en las duraciones inferiores a 60 minutos esta diferencia fue mucho mayor. Sin embargo, son necesarios más estudios al respecto para poder obtener conclusiones.

LIMITACIONES

Este trabajo tiene tres principales limitaciones, por lo que es necesario interpretar con precaución las conclusiones del análisis del MMP de los participantes.

En primer lugar, la muestra del estudio fue muy pequeña, siendo inferior a 8 personas, que es el número mínimo de participantes que se estableció para poder obtener conclusiones significativas. Además, el nivel de la muestra fue extremadamente heterogéneo, habiendo cerca de 2 horas de diferencia entre el mejor y el peor clasificado.

En segundo lugar, para obtener los datos se utilizó el potenciómetro propio de cada participante. Aunque se ha observado una concordancia general entre potenciómetros de diferentes marcas, encontrándose un coeficiente de variación bajo, lo que indica una alta precisión general. Algunos potenciómetros pueden tener desviaciones superiores al 5%, además, la veracidad también puede variar considerablemente incluso entre potenciómetros de la misma marca, probablemente debido a un error de calibración de fábrica (Maier et al., 2017). Por otra parte, también se pueden encontrar diferencias en la medición en función de la localización del potenciómetro (pedal, biela, eje...) debido a pérdidas de fricción o asimetrías en la potencia que realiza cada pierna.

Igualmente, es necesario el buen mantenimiento y ajuste del material, destacando el mantenimiento y calibración del propio potenciómetro, siendo de alta importancia su calibración antes de cada entrenamiento para obtener datos fiables. Además, muchos potenciómetros miden la velocidad angular detectando las rotaciones completas del buje o de la biela, esto puede afectar a la sensibilidad de algunos potenciómetros, pudiendo dar errores a cadencias muy bajas (Passfield et al., 2017). Finalmente, destacar que Passfield et al. (2017), tras su revisión, concluyeron que no debe asumirse la precisión de los medidores de potencia hasta que este sea verificado, lo cual supone una importante limitación en este trabajo.

A pesar de ello, debido a la dificultad de verificar los potenciómetros de todos los participantes, y sabiendo que los estudios muestran que existe una concordancia general entre los potenciómetros de las diferentes marcas, hemos decidido utilizar los datos de los potenciómetros de cada participante, poniendo como criterio de inclusión el buen funcionamiento y calibración habitual del potenciómetro con el que se han recogido los datos. De todas formas, tampoco podemos descartar la hipótesis de que haya potenciómetros con grandes errores de medición en la muestra.

En tercer lugar, este trabajo asume que el MMP obtenido mediante los datos de entrenamientos y competiciones permite estimar de forma fiable las capacidades máximas del ciclista. Esto se debe a que algunos estudios han mostrado que el MMP obtenido a través de los entrenamientos y competiciones permite estimar de forma fiable las capacidades máximas del ciclista en duraciones de hasta 20 minutos (Karsten et al., 2015; Quod et al., 2010,

Pallarés et al., 2022). Sin embargo, esto no siempre es así. De hecho, en el estudio realizado por Pallarés et al. (2022), el MMP en un minuto fue significativamente inferior a la potencia obtenida en un test de 1 minuto, por lo que aún son necesarios más estudios para saber si el MMP puede representar de forma fiable esfuerzos de esta duración. Además, en este trabajo se ha utilizado el MMP en 60 y 180 minutos, cuando ningún estudio ha comprobado que este sea representativo de la capacidad máxima del ciclista de generar potencia en esas duraciones. Con el fin de reducir esta limitación, hemos decidido recoger también los mejores datos de potencia normalizada, ya que es muy improbable que el ciclista haya realizado un esfuerzo continuo a máxima intensidad de 60 o 180 minutos. Por ello, puede que la potencia normalizada, al reflejar con mayor precisión esfuerzos de intensidad variable, de una visión más acertada de la capacidad máxima del ciclista en estas duraciones, sin embargo, no tenemos evidencia científica de ello. De hecho, algunos autores apuntan que la potencia normalizada podría sobreestimar la capacidad del ciclista de generar potencia (Skiba, 2007) y que esta subestima las diferencias entre sujetos (Pinot et al., 2011). Otra importante limitación concerniente al MMP son las circunstancias en las que este se ha recogido. Sanders et al. (2019) y Van Erp et al. (2021) observaron en sus estudios que el MMP variaba considerablemente en función del tipo de competición, siendo necesario que el MMP incluya datos de competiciones de diferente tipo (montaña, media montaña, llana...) para poder ser fiable. En este aspecto, recogimos el MMP anual de cada participante (del 1 de enero de 2024 al día de la prueba) y se estableció como criterio de inclusión la realización de, al menos, 3 carreras con potenciómetro. Aunque la duración establecida para recoger los datos del MMP

(3 meses) es acorde a otros estudios, el número mínimo de carreras establecido puede que fuera insuficiente, ya que ninguno de los estudios que han analizado la fiabilidad del MMP ha utilizado un número de carreras tan bajo. Además, no se especificó la modalidad de estas carreras, cuando ningún estudio analiza si los datos recogidos en disciplinas diferentes al ciclismo de carretera pueden ser fiables. Concluir que algunos autores como Pinot et al. (2011), a pesar de contar con el MMP de cada ciclista en un periodo de 10 meses, consideraron que el MMP no se corresponde con la potencia máxima que el ciclista puede alcanzar para una determinada duración. Se debe tener en cuenta que el ciclista no ha realizado un esfuerzo voluntario máximo en ese intervalo, y por tanto, no se puede saber con seguridad si ese era su límite.

Teniendo en cuenta las limitaciones aquí planteadas, no se puede asegurar que el MMP refleje las capacidades máximas del ciclista, aunque sí que permite una estimación de estas. Para evitar esta limitación, habría sido necesario la realización de un testeo reglado de las duraciones investigadas a los ciclistas participantes en este trabajo, este ha sido un importante error en el diseño del protocolo de este trabajo.

Finalmente, este trabajo está sujeto a otras limitaciones. Por un lado, el peso fue proporcionado por los mismos participantes, probablemente cada participante utilizara una báscula distinta y desconocemos si esta fue debidamente calibrada. Además, como hemos explicado anteriormente, Ahrend et al. (2018) concluyen que extraer los factores de rendimiento del XCM mediante una sola competición puede llevar a una sobreestimación de estos. Por último, debido a la dificultad para controlar estos parámetros de forma

objetiva, no se tuvo en cuenta la habilidad técnica de los participantes ni su puesto de salida, los cuales han mostrado ser de importancia en otros estudios (Abbis et al., 2013; Novak et al., 2018b).

CONCLUSIONES

Tras el análisis del MMP de los participantes y su relación con el tiempo en completar la prueba, nuestros resultados sugieren que la potencia relativa al peso corporal tiene una mayor precisión para monitorizar el rendimiento en XCM que la potencia absoluta o el compound score. Además, la capacidad para generar potencia relativa al peso corporal en duraciones superiores a 5 minutos está altamente relacionada con el rendimiento en esta modalidad, por lo que los deportistas y entrenadores de esta disciplina, en la mayoría de los casos, deberían centrarse principalmente en el desarrollo de la capacidad y potencia aeróbica.

Recalcando que este trabajo tiene tres grandes limitaciones, por lo que los resultados deben ser interpretados con cautela.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbiss, C. R., Ross, M. L., Garvican, L. A., Ross, N., Pottgiesser, T., Gregory, J., & Martin, D. T. (2013). The distribution of pace adopted by

cyclists during a cross-country mountain bike World Championships.

Journal of Sports Sciences, 31(7), 787-794.

- Ahrend, M. D., Schneeweiss, P., Martus, P., Niess, A. M., & Krauss, I. (2018). Predictive ability of a comprehensive incremental test in mountain bike marathon. *BMJ Open Sport—Exercise Medicine*, 4(1).
- Coggan, A.R. (2003). Training and racing using a power meter: an introduction.
- Costa, V., & De Oliveira, F. (2008). Physiological variables to predict performance in cross-country mountain bike races. *Journal of Exercise Physiology Online*, 11(6).
- Coyle, E. F., Feltner, M. E., Kautz, S. A., Hamilton, M. T., Montain, S. J., Baylor, A. M., ... & Petrek, G. W. (1991). Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 23(1), 93-107.
- Cross-country maratón – XCM (4.2.004). Título IV – Pruebas de mountain bike (versión a 1.01.24). Reglamento UCI del deporte ciclista (2020). Real Federación Española de Ciclismo.
- do Carmo, E. C., Barroso, R., do Prado, D. M. L., Inoue, A., Machado, T., Abad, C. C. C., ... & Tricoli, V. (2021). The laboratory-assessed performance predictors of elite cross-country marathon mountain bikers. *Kinesiology*, 53(2), 262-270.
- Engelbrecht, L., & Terblanche, E. (2017). Physiological performance predictors in mountain bike multi-stage races. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(7-8), 951-956.

- Greeff, M. (2014). Physiological demands of the Absa Cape Epic mountain bike race and predictors of performance [Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University].
- Gregory, J., Johns, D. P., & Walls, J. T. (2007). Relative vs. Absolute physiological measures as predictors of mountain bike cross-country race performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(1), 17-22.
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., Rampinini, E., Mognoni, P., & Sassi, A. (2005). Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists. *British journal of sports medicine*, 39(10), 747-751.
- Karsten, B., Jobson, S. A., Hopker, J., Stevens, L., & Beedie, C. (2015). Validity and reliability of critical power field testing. *European journal of applied physiology*, 115, 197-204.
- Leo, P., Spragg, J., Wakefield, J., & Swart, J. (2022). The Compound Score in elite road cycling. *Journal of Science and Cycling*, 11(2).
- Leo, P., Spragg, J., Wakefield, J., & Swart, J. (2023). Predictors of cycling performance success: Traditional approaches and a novel method to assess performance capacity in U23 road cyclists. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 26(1), 52-57.
- Maier, T., Schmid, L., Müller, B., Steiner, T., & Wehrlein, J. P. (2017). Accuracy of cycling power meters against a mathematical model of treadmill cycling. *International Journal of Sports Medicine*, 38(06), 456-461.

- Menaspà, P., Rampinini, E., Bosio, A., Carlomagno, D., Riggio, M., & Sassi, A. (2012). Physiological and anthropometric characteristics of junior cyclists of different specialties and performance levels. *Scandinavian Journal of medicine & science in sports*, 22(3), 392-398.
- Miller, M. C., Moir, G. L., Stannard, S. R. (2014). Validity of using functional threshold power and intermittent power to predict cross-country mountain bike race outcome. *Journal of Science and Cycling*, 3(1), 16-20.
- Moss, S. L., Francis, B., Calogiuri, G., & Highton, J. (2019). Pacing during a cross-country mountain bike mass-participation event according to race performance, experience, age and sex. *European Journal of Sport Science*, 19(6), 793-801.
- Novak, A. R., Bennett, K. J., Fransen, J., & Dascombe, B. J. (2018a). A multidimensional approach to performance prediction in Olympic distance cross-country mountain bikers. *Journal of sports sciences*, 36(1), 71-78.
- Novak, A. R., Bennett, K. J., Fransen, J., & Dascombe, B. J. (2018b). Predictors of performance in a 4-h mountain-bike race. *Journal of Sports Sciences*, 36(4), 462-468.
- Pallarés, J. G., Hernández-Belmonte, A., Valenzuela, P. L., Muriel, X., Mateo-March, M., Barranco-Gil, D., & Lucia, A. (2022). Field-derived maximal power output in cycling: an accurate indicator of maximal performance capacity?. *International journal of sports physiology and performance*, 17(11), 1558-1564.

- 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.
- Pinot, J., & Grappe, F. (2014). Determination of Maximal Aerobic Power from the Record Power Profile to improve cycling training. *Journal of Science and Cycling*, 3(1), 26-32.
- Quod, M. J., Martin, D. T., Martin, J. C., & Laursen, P. B. (2010). The power profile predicts road cycling MMP. *International Journal of Sports Medicine*, 397-401.
- Reinpöld, K. (2017). Predictors and characteristics of an ultra-distance mountain bike race performance [Master Thesis, Institute of Sports Pedagogy and Coaching: University of Tartu].
- 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.
- Skiba, P.F. (2007). Evaluation of a Novel Training Metric in Trained Cyclists: 2415. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39.
- Vaitkevičiūtė, D., & Milašius, K. (2012). Physiological correlates of cycling performance in amateur mountain bikers. *Baltic Journal of Sport and Health Sciences*, 2(85).

- Van Erp, T., & Sanders, D. (2021). Demands of professional cycling races: influence of race category and result. European journal of sport science, 21(5), 666-677.