



## EL CONCEPTO DE "POTENCIA CRÍTICA" Y RENDIMIENTO EN EJERCICIOS DE ALTA INTENSIDAD

**Andrew M. Jones** | Ciencias del Deporte y Salud | Colegio de Ciencias de la Vida y el Ambiente | Universidad de Exeter, Reino Unido

### PUNTOS CLAVE

- La relación curvilínea entre la generación de potencia y el tiempo durante el cual ésta puede mantenerse es una característica fundamental del rendimiento en el ejercicio de alta intensidad. Esta relación conduce a la "potencia crítica" (PC) que separa la generación de potencia que puede mantenerse en un "estado fisiológico estable" de aquellas que no.
- La curvatura de la relación potencia-tiempo (la denominada  $W'$ ), que representa la cantidad de trabajo que se puede realizar durante el ejercicio por encima de la PC, es constante y se utiliza a diferentes tasas dependiendo de la proximidad de la generación de potencia del ejercicio a la PC.
- Tradicionalmente el modelo de PC ha sido empleado para proporcionar información sobre las respuestas fisiológicas, los mecanismos de fatiga y el rendimiento durante el ejercicio continuo que genera una potencia constante. Sin embargo, en los últimos años, el atractivo del concepto de PC se ha ampliado mediante su aplicación al ejercicio intermitente de alta intensidad.
- Con las suposiciones de que  $W'$  se utiliza durante intervalos de trabajo por encima de la PC y es reconstituido durante intervalos de recuperación por debajo de la PC, se puede demostrar que el rendimiento durante el ejercicio intermitente se relaciona con cuatro factores: la intensidad y duración de los intervalos de trabajo y la intensidad y duración de los intervalos de recuperación. Sin embargo, aunque puede suponerse que la utilización de  $W'$  es lineal, la cinética de reconstitución de  $W'$  parece ser curvilínea y altamente variable entre sujetos.
- Esto ha originado el desarrollo de un nuevo modelo de PC para el ejercicio intermitente en el que se puede calcular el balance de la  $W'$  remanente ( $W'_{BAL}$ ). El modelo  $W'_{BAL}$  puede tener aplicaciones interesantes para monitorear en tiempo real la progresión de la fatiga en el atleta de resistencia o en deportes de equipo.

### INTRODUCCIÓN

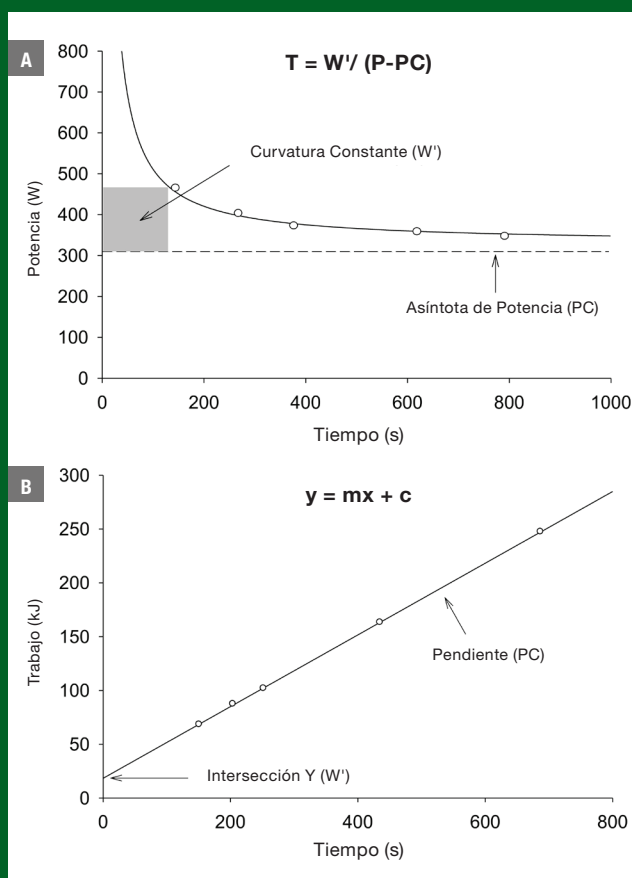
La relación hiperbólica entre la generación de potencia y el tiempo durante el cual puede mantenerse está bien establecida en la fisiología del ejercicio (Hill, 1925, Monod y Scherrer, 1965, Poole et al., 1988). Esta relación se establece usualmente al hacer que los sujetos completen entre 3 y 5 pruebas de ejercicio de alta intensidad separadas en días diferentes, durante los cuales se les pide mantener la generación de una potencia externa fija durante el mayor tiempo posible. La generación de potencia se selecciona con el fin de producir "agotamiento" en un mínimo de ~2 min y un máximo de ~15 min. Se registra el "tiempo preciso hasta el límite de tolerancia" del sujeto en cada una de las intensidades. Cuando la generación de potencia se grafica posteriormente con relación al tiempo, se puede observar que la producción de potencia sostenible cae en función de la duración del ejercicio y que eventualmente se nivelará o alcanzará una asíntota (Figura 1A). Esta asíntota se ha denominado la potencia crítica (PC) que se mide en vatios (W). La curvatura de la relación potencia-tiempo, que representa la capacidad de trabajo disponible por encima de la PC, se ha denominado  $W'$ , que se mide en kilojulios (kJ). La información contenida en esta relación "curvilínea" de potencia-tiempo también puede expresarse si el trabajo realizado en cada una de las series de ejercicios separados se grafica frente al tiempo sostenible. Esto da como resultado una relación lineal más "fácil de usar" que se puede describir con la ecuación de regresión  $y = mx + c$ , donde la pendiente  $m$  es la PC y la intersección  $c$  es  $W'$  (Figura 1B). Es importante señalar que, si bien la descripción anterior se

refiere a la generación de potencia, y la mayoría de las investigaciones relacionadas han empleado la ciclo ergometría, esta misma relación existe en otros modos de locomoción humana, incluida la carrera (Hughson et al., 1984) y la natación (Wakayoshi et al., 1992). En estas situaciones, los términos rapidez crítica (RC, o velocidad (VC) en m/s) y  $D'$  (m) se utilizan en lugar de la PC y  $W'$ .

Fisiológicamente, la PC es importante porque define el límite entre los niveles discretos de la intensidad del ejercicio (Jones et al., 2008, Poole et al., 1988, Vanhatalo et al., 2016). Debajo de la PC, en el nivel de intensidad "fuerte", pueden alcanzarse valores de "estabilidad" para metabolitos musculares (por ejemplo, concentración de fosfocreatina ([PCr]), concentración de fosfato inorgánico y pH), así como [lactato] en sangre y  $VO_2$ . Sin embargo, por encima de la PC, en el nivel de intensidad "severa", estas variables no demuestran un comportamiento estable. Mejor dicho, a pesar de que la generación de potencia externa permanece constante, la eficiencia muscular se pierde, reflejándose en el desarrollo de un "componente lento" de  $VO_2$  (Poole et al., 1988; Vanhatalo et al., 2016). El ejercicio a intensidad severa también se asocia con reducciones continuas en la [PCr] muscular, en el pH y una acumulación progresiva de lactato sanguíneo, hasta que se alcanza el límite de tolerancia. Es interesante que estos valores mínimos y máximos sean similares, independientemente de si la serie de ejercicios de intensidad severa es relativamente corta (2-3 min) o relativamente larga (12-15 min) (Vanhatalo et al., 2010). Esto sugiere que el límite de tolerancia durante dicho ejercicio puede coincidir con el alcance de un cierto ambiente intramuscular y/o

sistémico que el sujeto no puede o no está preparado para superar.

La PC puede definirse funcionalmente como la mayor generación de potencia que puede sostenerse sin recurrir progresivamente a  $W'$ . Ésta última representa, al inicio del ejercicio, una cantidad fija de trabajo que puede realizarse cuando se excede la PC. Si la generación de potencia se mantuviera considerablemente por encima de la PC, de modo que la duración tolerable del ejercicio fuera corta,  $W'$  se utilizaría a un ritmo más rápido de lo que sería si la generación de energía se mantuviera sólo por encima de la PC y la duración del ejercicio fuera correspondientemente más larga. Si bien es tentador considerar  $W'$  como una capacidad "anaeróbica", que incluye energía que puede derivarse de la fosforilación a nivel de sustrato, así como del  $O_2$  almacenado, las observaciones de las interrelaciones entre la PC y  $W'$  sugieren que esto puede ser una simplificación excesiva (Poole et al., 2016).



**Figura 1.** El panel A muestra la relación hiperbólica entre la generación de potencia (P) y tiempo (T), donde la potencia crítica (PC) es indicada por la asíntota de potencia y  $W'$  es la curvatura constante. El panel B muestra el modelo de potencia crítica lineal de 2 parámetros donde se trazó el trabajo total frente al tiempo. En esa permutación, la PC está dada por la pendiente de la regresión (m) y la  $W'$  es la intersección en Y (c). W, Vatios; kJ, Kilojoules.

Es importante apreciar que el rendimiento a intensidad severa (que abarca una franja bastante grande de eventos deportivos, por ejemplo, en atletismo, desde 800 m hasta quizás 10,000 m), depende tanto

de la PC como de  $W'$ . Mientras que la PC reflejará la tasa metabólica oxidativa más alta sostenible, el tamaño de  $W'$  determinará la duración sostenible del ejercicio por encima de esa tasa metabólica. El conocimiento de la PC y  $W'$  de un atleta le permite a un entrenador o científico deportivo calcular el mejor tiempo posible para una distancia determinada y considerar estrategias tácticas y de ritmo que puedan optimizar el rendimiento en relación con sus competidores (Morton, 2009; Vanhatalo et al., 2011).

Si bien los parámetros que se pueden extraer de la relación potencia-tiempo tienen muchas aplicaciones valiosas en el deporte, una limitación clave es que se derivan completamente del rendimiento en ejercicios con generación de potencia constante. Tal escenario es bastante extraño en el deporte del "mundo real". Muchos deportes, especialmente los de equipo, implican series intermitentes de ejercicio de alta intensidad separadas por duraciones variables de ejercicio de menor intensidad o descanso, e incluso eventos deportivos "continuos" a menudo implican variaciones en el ritmo debido al terreno, las condiciones ambientales y las tácticas empleadas por el atleta y sus competidores. Además, si el concepto de la PC se extiende a la prescripción y evaluación del entrenamiento, sería ventajoso poder abarcar el ejercicio intermitente y continuo porque la mayoría de los programas de entrenamiento atlético involucran tanto el entrenamiento de intervalos como el ejercicio aeróbico estable. El propósito de este artículo de Sports Science Exchange es proporcionar una visión general de las aplicaciones emergentes del concepto de PC en el deporte, con especial énfasis en la potencia variable y el ejercicio intermitente.

## REVISIÓN DE INVESTIGACIONES

Como se describió antes, los parámetros de tiempo-potencia se derivan usualmente de varias series de ejercicio exhaustivo completadas a una generación de potencia discreta pero constante, así el  $W'$  resultante es considerado como una cantidad fija de trabajo que puede realizarse por encima de la PC. Sin embargo, si el  $W'$  es realmente fijo cuando se realiza ejercicio de intensidad severa no a una generación de potencia constante, sino con diferentes estrategias de ritmo, ha recibido poca atención. Chidnok y colaboradores (2013a) estimaron la PC y  $W'$  a partir de una prueba máxima de 3 minutos (3AOT) y luego calcularon el trabajo realizado por encima de la PC durante diferentes formas de ejercicio máximo, incluida una prueba de ejercicio progresivo en rampa, una prueba de generación de potencia constante donde el pronóstico de la duración del ejercicio fue de 3 minutos, y una prueba en la que se instruyó a los sujetos completar la mayor cantidad de trabajo posible en 3 minutos, aquí podían elegir su propia estrategia de ritmo para lograr este objetivo. El trabajo total realizado por encima de la PC no fue significativamente diferente entre las pruebas, siendo cerca de 16 kJ para 3AOT, el ejercicio de generación de potencia constante y la prueba a su propio ritmo. El valor máximo de  $\dot{V}O_2$  que se obtuvo tampoco fue diferente entre las cuatro condiciones. Esto indica que el límite de tolerancia durante el ejercicio de intensidad severa

coincide con el alcance del mismo  $\dot{V}O_2$  máx y la finalización de la misma cantidad de trabajo por encima de la PC, independientemente del protocolo de ejercicio o estrategia de ritmo empleados. Esto es importante como un primer paso para aplicar el concepto de PC al ejercicio de potencia variable, que es común en el entrenamiento y la competencia en el campo.

### Respuestas fisiológicas en la recuperación del ejercicio de intensidad severa

El concepto de PC predice que la recuperación del ejercicio exhaustivo de intensidad severa requiere que la generación de potencia se reduzca por debajo de la PC. El  $W'$  finito solo se utiliza por encima de la PC, y dado que la PC refleja la tasa metabólica oxidativa más alta sostenible, el ejercicio por debajo de la PC debería permitir teóricamente una "reserva metabólica oxidativa" para emplearse en procesos de recuperación (por ejemplo, reposición de fosfatos de alta energía, remoción de  $H^+$ ). Esta hipótesis fue probada por Chidnok y colaboradores (2013c). En este estudio, los sujetos completaron un ejercicio de extensión de rodilla hasta el agotamiento (durante ~180 s) en tres ocasiones, seguido por un período de "recuperación" que implicaba: 1) ejercicio a menor potencia pero aún dentro del rango de ejercicio de intensidad severa; 2) ejercicio de intensidad fuerte; o 3) un período de recuperación pasiva de 10 minutos, mientras que las respuestas metabólicas musculares al ejercicio se evaluaron usando espectroscopía de resonancia magnética  $^{31}P$  ( $^{31}P$ -MRS por sus siglas en inglés). Hubo una diferencia significativa entre la duración del ejercicio sostenible durante la recuperación del ejercicio exhaustivo de intensidad severa entre las condiciones <PC y >PC (al menos 10 min y ~39 s, respectivamente). Durante la recuperación pasiva y el ejercicio de recuperación <PC, la [PCr] muscular y el pH aumentaron rápidamente, acercándose a los valores iniciales después de 10 minutos. Sin embargo, cuando el ejercicio de "recuperación" permaneció >PC, ni la [PCr] muscular ni el pH se recuperaron, permaneciendo en el punto más bajo alcanzado al final de la serie de ejercicio inicial. Estos resultados confirman que la dinámica metabólica muscular en la recuperación del ejercicio exhaustivo de intensidad severa depende de si el ejercicio posterior se realiza por debajo o por encima de la PC. Esto tiene implicaciones importantes en el desarrollo de un modelo para explicar y predecir el rendimiento en el ejercicio intermitente de alta intensidad.

### Aplicaciones del concepto de PC en el ejercicio intermitente

Morton y Billat (2004) fueron los primeros en considerar el desarrollo de un modelo de PC para el ejercicio intermitente. Estos autores reconocieron que la tolerancia al ejercicio intermitente es una función de cuatro variables independientes: generación de potencia del intervalo de trabajo ( $P_w$ ), duración del intervalo de trabajo ( $D_w$ ), generación de potencia del intervalo de recuperación ( $P_R$ ) y duración del intervalo de recuperación ( $D_R$ ). Para que el modelo sea válido,

la generación de potencia para los intervalos de trabajo debe ser superior a la PC, la generación de potencia para los intervalos de recuperación debe ser inferior a la PC y la potencia media para la sesión debe ser superior a la PC (si no, *en teoría*, el ejercicio podría continuar indefinidamente). Dentro de estas restricciones, Morton y Billat (2004) demostraron que si  $P_w$ ,  $D_w$  o  $P_R$  aumentan mientras que las otras variables se mantienen constantes, la tolerancia al ejercicio se reduce; sin embargo, si  $D_R$  aumenta mientras que las otras variables se mantienen constantes, la tolerancia al ejercicio se incrementa.

Para probar algunas de las suposiciones inherentes al modelo de Morton y Billat (2004), Chidnok y colaboradores (2012) determinaron la PC y  $W'$  con el 3AOT y luego pidieron a los sujetos que completaran una prueba de pedaleo a una generación de potencia constante a intensidad severa (S-PCO) y cuatro pruebas adicionales hasta el agotamiento usando diferentes protocolos intermitentes (es decir, severo-severo (S-S), severo-fuerte (S-H), severo-moderado (S-M) y severo-ligero (S-L)) hasta el límite de tolerancia. En este conjunto de experimentos,  $P_w$  se mantuvo constante,  $D_w$  se mantuvo constante a los 60 s, y  $D_R$  se mantuvo constante a los 30 s; sólo  $P_R$  fue manipulado. La duración tolerable de ejercicio en S-PCO fue ~384 s y, según la hipótesis, la tolerancia al ejercicio se incrementó progresivamente cuando se redujo la  $P_R$  (es decir, en un 47%, 100% y 219%, para S-H, S-M y S-L, respectivamente). La mayor tolerancia al ejercicio a menor  $P_R$  se relacionó linealmente con el trabajo total realizado por encima de PC que, comparado con S-PCO (~23 kJ), fue significativa y progresivamente mayor para S-H, S-M y S-L. Utilizando los valores conocidos de PC,  $P_w$  y  $D_w$ , Chidnok y colaboradores (2012) calcularon cuánto  $W'$  se utilizó en cada intervalo de trabajo y, asumiendo que  $W'$  se utilizó por completo en el límite de tolerancia, también se calculó el grado de reconstitución  $W'$  durante cada intervalo de recuperación. Los resultados indicaron que  $W'$  se reconstituye más rápidamente cuando hay una mayor diferencia entre PC y  $P_R$ .

Chidnok y colaboradores (2013b) ampliaron sus observaciones al investigar la influencia de alterar la  $D_R$  en las respuestas metabólicas musculares (medidas con  $^{31}P$ -MRS) y la tolerancia al ejercicio durante pruebas de extensión de rodilla. En este estudio,  $P_w$  y  $D_w$  se mantuvieron constantes, pero se solicitó a los sujetos que ejercitaran hasta el límite de tolerancia en tres ocasiones con duraciones de recuperación pasiva (es decir,  $P_R = 0$  W) de 18 s, 30 s o 48 s. La duración tolerable del ejercicio fue ~304 s, ~516 s, y ~847 s para los protocolos de recuperación de 18 s, 30 s y 48 s, respectivamente. La restauración de la [PCr] muscular (así como de la [ADP] y [P<sub>i</sub>]) durante la recuperación fue mayor, intermedia y menor durante 48 s, 30 s, y 18 s de recuperación, respectivamente. De acuerdo con Chidnok y colaboradores (2012), el trabajo total realizado por encima de la PC fue significativamente mayor para todos los protocolos intermitentes en comparación con el  $W'$  de los sujetos. Esta diferencia se hizo progresivamente mayor a medida que aumentaba la  $D_R$  y se correlacionaba significativamente con la magnitud media de la reconstitución de la [PCr] muscular entre los intervalos de trabajo.

Estos resultados indican que, durante el ejercicio intermitente de alta intensidad, los intervalos de recuperación permiten restaurar parcialmente las concentraciones de fosfatos de alta energía, y el grado de restauración se relaciona con la duración del intervalo de recuperación. En consecuencia, la capacidad de realizar trabajo por encima de la PC durante el ejercicio intermitente de alta intensidad y, por lo tanto, la tolerancia al ejercicio, aumentan cuando la producción de potencia en el intervalo de recuperación es menor (Chidnok et al., 2012) o este es más prolongado (Chidnok et al., 2013b).

Una suposición hecha en los estudios anteriores fue que la reconstitución de  $W'$  durante la recuperación es un proceso lineal con una tasa fija (en  $J \cdot s^{-1}$ ) para la duración de cada período de recuperación. Para examinar esto, Ferguson y colaboradores (2010) examinaron el curso temporal de la reconstitución de  $W'$  al pedirles a los sujetos que completaran una serie de ejercicios convencionales de potencia constante en períodos de tiempo discretos (2, 6 y 15 min) luego de una serie inicial de ejercicio exhaustivo de intensidad severa. En cada caso, se conservó la hiperbolicidad de la relación tiempo-potencia y la PC no fue significativamente diferente de la medida en la condición de control (no fatigados). Por el contrario,  $W'$  fue significativamente diferente en cada situación, siendo aproximadamente 22 kJ en la condición de control y 8 kJ, 14 kJ y 19 kJ cuando se midió después de 2, 6 y 15 min de recuperación del ejercicio exhaustivo, respectivamente. De los 3 puntos de tiempo estudiados (2, 6 y 15 min), Ferguson y colaboradores (2010) observaron que  $W'$  se reconstituyó más rápidamente en el período de recuperación inicial que en el de recuperación tardía, es decir, el patrón de reconstitución de  $W'$  pareció ser curvilíneo en lugar de lineal.

Construyendo sobre esto, Skiba y colaboradores (2012) aplicaron una ecuación continua a la cinética de reconstitución del modelo  $W'$  durante el ejercicio intermitente (el modelo  $W'_{BAL}$ ). La relación se ajustó mejor con una exponencial, con la constante de tiempo para la reconstitución de  $W'$  relacionándose negativamente con la diferencia entre la PC y la generación de potencia en la recuperación, es decir,  $W'$  se reconstituyó más rápidamente cuando  $P_R$  era más pequeño. La constante de tiempo para la reconstitución de  $W'$  fue  $\sim 377$  s cuando la recuperación se produjo a 20 W,  $\sim 452$  s cuando la recuperación se produjo en el nivel de intensidad moderada y  $\sim 580$  s cuando se produjo la recuperación en el rango de intensidad alta. La constante de tiempo de reconstitución  $W'$  aumentó a valores no fisiológicos cuando el  $P_R$  permaneció por encima de la PC, indicando que no hubo una recarga neta de  $W'$  sino simplemente una tasa más lenta de utilización de  $W'$  en los intervalos de recuperación en comparación con los intervalos de trabajo.

Habiendo descrito la relación entre la producción de potencia en la recuperación y la cinética de la reconstitución de  $W'$ , Skiba y colaboradores (2014b) posteriormente evaluaron los efectos de la duración de los intervalos de trabajo y recuperación en la cinética de  $W'$ . Los sujetos completaron ejercicio intermitente de intensidad severa, usando seis combinaciones diferentes de duración de intervalos de

trabajo y recuperación, hasta utilizar el 50% de la predicción de su  $W'_{BAL}$ . Después de cada uno de los protocolos de ejercicio intermitente, los sujetos se ejercitaron a una potencia constante de intensidad severa hasta el límite de la tolerancia. El  $W'$  real medido durante la prueba de potencia constante se comparó entonces con la cantidad de  $W'$  predicha para estar disponible por el modelo  $W'_{BAL}$ . Las diferencias entre el  $W'$  real y  $W'_{BAL}$  en general fueron pequeñas, ascendiendo a sólo  $\sim 1.6$  kJ cuando se promediaron entre las condiciones (es decir, dentro de  $\sim 10\%$  de  $W'$ ). El hecho de que en este estudio  $W'_{REAL}$  en su mayor parte, fuera pronosticada con precisión, indica que las variaciones en la duración del trabajo y la recuperación durante el ejercicio intermitente no influyeron negativamente en los resultados del modelo, por lo tanto, apoya la validez del modelo de  $W'_{BAL}$ .

### APLICACIONES PRÁCTICAS

La validez del modelo  $W'_{BAL}$  en el campo fue probada por Skiba y colaboradores (2014a). Los datos fueron recolectados de los medidores de potencia de bicicleta de ocho triatletas entrenados. Para todos los archivos,  $W'_{BAL}$  se calculó y luego se comparó entre las situaciones en las que los atletas informaron haberse agotado prematuramente durante el entrenamiento o la competencia y situaciones en las que los atletas completaron con éxito una tarea o carrera difícil. El  $W'_{BAL}$  calculado fue significativamente diferente entre las dos situaciones: en la primera situación, la media de  $W'_{BAL}$  al agotamiento fue sólo de  $0.5 \pm 1.3$  kJ, mientras que el valor mínimo de  $W'_{BAL}$  en la situación de no agotamiento fue de  $3.6 \pm 2.0$  kJ. El análisis de las características de la curva receptor-operador indicó que el modelo  $W'_{BAL}$  es útil para identificar el punto en el cual los atletas están en peligro de agotarse.

Aunque es posible que se requiera un mayor perfeccionamiento, el modelo  $W'_{BAL}$  parece representar un nuevo e importante desarrollo para evaluar el estado de fatiga del atleta y la capacidad de rendimiento actual durante el entrenamiento y las carreras. La aparente capacidad del modelo para rastrear el estado dinámico de  $W'$  durante el ejercicio intermitente puede tener implicaciones importantes para la planificación y el monitoreo en tiempo real del rendimiento deportivo. Desde una perspectiva bioenergética, evitar las excursiones frecuentes o prolongadas más allá de la PC, excepto quizás cuando sea necesario o en un final de carrera a toda velocidad, parecería sensato prevenir la utilización prematura o excesiva de  $W'$  y las perturbaciones sistémicas y metabólicas musculares asociadas que acelerarían la fatiga. Un reloj de pulsera o monitor montado en el manillar programado para proporcionar a un atleta de resistencia retroalimentación en tiempo real sobre el porcentaje de  $W'$  restante durante la competencia podría proporcionar información crítica sobre la estrategia de ritmo óptima (es decir, si iniciar o no un ataque o responder a un intento de ataque por parte de un competidor).

En el futuro, también es posible que los entrenadores monitoreen de manera remota el  $W'$  restante en los jugadores en deportes de equipo y que usen los datos para tomar decisiones sobre rotaciones o sustituciones. Otra aplicación del modelo  $W'_{BAL}$  es en el desarrollo

de sesiones individualizadas de entrenamiento de intervalos. Con el conocimiento de la PC,  $W'$  y la cinética de recuperación de  $W'$  en un atleta, un entrenador puede prescribir la intensidad y duración de los intervalos de trabajo y recuperación con mayor precisión para alcanzar objetivos fisiológicos específicos.

## RESUMEN

En conclusión, la relación hiperbólica entre la potencia y el tiempo proporciona una base esencial para comprender las bases fisiológicas del desarrollo de la fatiga en diferentes escenarios de intensidad del ejercicio. Para el ejercicio continuo, el modelo de PC ha encontrado muchos usos importantes en la construcción del rendimiento y la prescripción del entrenamiento. Recientemente, más atención se ha centrado en la aplicación del modelo de PC al ejercicio intermitente. El rendimiento durante tal ejercicio depende esencialmente de la PC y  $W'$  del individuo, la producción de potencia y la duración del intervalo de trabajo, y la producción de potencia y la duración en el intervalo de recuperación. Sin embargo, mientras que  $W'$  puede utilizarse linealmente cuando la generación de potencia excede a PC,  $W'$  puede no necesariamente reconstituirse linealmente, un factor que se tiene en cuenta en el modelo  $W'_{BAL}$ . Una gran cantidad de deportes de equipo populares (por ejemplo, fútbol, rugby, hockey, baloncesto) se caracterizan por ráfagas frecuentes de ejercicio de intensidad severa intercalados con períodos de recuperación de menor intensidad. La aplicación del modelo de PC puede permitir una mejor comprensión de las limitaciones del rendimiento en dichos deportes y, por lo tanto, ofrecer información sobre las tácticas de competencia y las prácticas de entrenamiento.

## REFERENCIAS

- Chidnok, W., F.J. Dimenna, S.J. Bailey, A. Vanhatalo, R.H. Morton, D.P. Wilkerson, and A.M. Jones (2012). Exercise tolerance in intermittent cycling: application of the critical power concept. *Med. Sci. Sports Exerc.* 44:966-976.
- Chidnok, W., F.J. Dimenna, S.J. Bailey, D.P. Wilkerson, A. Vanhatalo, and A.M. Jones (2013a). Effects of pacing strategy on work done above critical power during high-intensity exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 45:1377-1385.
- Chidnok, W., F.J. Dimenna, J. Fulford, S.J. Bailey, P.F. Skiba, A. Vanhatalo, and A.M. Jones (2013b). Muscle metabolic responses during high-intensity intermittent exercise measured by 31P-MRS: relationship to the critical power concept. *Am. J. Physiol.* 305:R1085-R1092.
- Chidnok, W., J. Fulford, S.J. Bailey, F.J. Dimenna, P.F. Skiba, A. Vanhatalo, and A.M. Jones (2013c). Muscle metabolic determinants of exercise tolerance following exhaustion: relationship to the "critical power". *J. Appl. Physiol.* 115:243-250.
- Ferguson, C., H.B. Rossiter, B.J. Whipp, A.J. Cathcart, S.R. Murgatroyd, and S.A. Ward (2010). Effects of recovery duration from prior exhaustive exercise on the parameters of the power-duration relationship. *J. Appl. Physiol.* 108:866-874.
- Hill, A.V. (1925). The physiological basis of athletic records. *Nature* 116:544-548.
- Hughson, R.L., C.J. Orok, and L.E. Staudt (1984). A high velocity treadmill running test to assess endurance running potential. *Int. J. Sports Med.* 5:23-25.
- Jones, A.M., D.P. Wilkerson, F. DiMenna, J. Fulford, and D.C. Poole (2008). Muscle metabolic responses to exercise above and below the "critical power" assessed using 31P-MRS. *Am. J. Physiol.* 294:R585-R593.
- Monod, H., and J. Scherrer (1965). The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics* 8:329-338.
- Morton, R.H. (2009). Isoperformance curves: an application in team selection. *J. Sports Sci.*

27:1601-1605.

- Morton, R.H., and L.V. Billat (2004). The critical power model for intermittent exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 91:303-307.
- Poole, D.C., M. Burnley, A. Vanhatalo, H.B. Rossiter, and A.M. Jones (2016). Critical power: an important fatigue threshold in exercise physiology. *Med. Sci. Sports Exerc.* 48:2320-2334.
- Poole, D.C., S.A. Ward, G.W. Gardner, and B.J. Whipp (1988). Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics* 31:1265-1279.
- Skiba, P.F., W. Chidnok, A. Vanhatalo, and A.M. Jones (2012). Modeling the expenditure and reconstitution of work capacity above critical power. *Med. Sci. Sports Exerc.* 44:1526-1532.
- Skiba, P.F., D. Clarke, A. Vanhatalo, and A.M. Jones (2014a). Validation of a novel intermittent  $W'$  model for cycling using field data. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 9:900-904.
- Skiba, P.F., S. Jackman, D. Clarke, A. Vanhatalo, and A.M. Jones (2014b). Effect of work and recovery durations on  $W'$  reconstitution during intermittent exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 46:1433-1440.
- Vanhatalo, A., M.I. Black, F.J. DiMenna, J.R. Blackwell, J.F. Schmidt, C. Thompson, L.J. Wylie, M. Mohr, J. Bangsbo, P. Krstrup, and A.M. Jones (2016). The mechanistic bases of the power-time relationship: muscle metabolic responses and relationships to muscle fibre type. *J. Physiol.* 594:4407-4423.
- Vanhatalo, A., J. Fulford, F.J. DiMenna, and A.M. Jones (2010). Influence of hyperoxia on muscle metabolic responses and the power-duration relationship during severe-intensity exercise in humans: a 31P magnetic resonance spectroscopy study. *Exp. Physiol.* 95:528-540.
- Vanhatalo, A., A.M. Jones, and M. Burnley (2011). Application of critical power in sport. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 6:128-136.
- Wakayoshi, K., K. Ikuta, T. Yoshida, M. Udo, T. Moritani, Y. Mutoh, and M. Miyashita (1992). Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 64:153-157.

## TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Andrew M. Jones. The Critical Power Concept and High-Intensity Exercise Performance. *Sports Science Exchange* (2018) Vol .28, No. 181, 1-5. por Pedro Reinaldo García M.Sc.