

Article

Perfil Metabólico del Campeonato Mundial Ironman: Estudio de un Caso

John S. Cuddy, Dustin R. Slivka, Walter S. Hailes, Charles L. Dumke y Brent C. Ruby

Montana Center for Work Physiology and Exercise Metabolism, University of Montana, Missoula, MT

RESUMEN

Objetivo: El propósito de este estudio fue determinar el perfil metabólico durante el Campeonato Mundial Ironman realizado en Kailua-Kona, Hawaii en 2006. **Métodos:** Un varón triatleta recreacional completó la competencia en 10:40:16. Antes de la competencia, se establecieron modelos de regresión lineal para las mediciones de estimación del gasto de energía y de utilización de sustratos realizadas en el laboratorio y en el campo. Al sujeto se le proporcionó una dosis oral de $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$ aproximadamente 64 horas antes de la competencia para calcular el gasto de energía total (TEE) y la renovación de agua con la técnica del agua doblemente marcada (DLW). Se realizó el análisis del peso corporal, sodio sanguíneo, hematocrito y glucógeno muscular (por medio de biopsia muscular) antes (pre) y después (post) de la competencia. **Resultados:** Los valores del TEE por la técnica del agua doblemente marcada (DLW) y por calorimetría indirecta fueron similares: 37,3 MJ (8926 kcal) y 37,8 MJ (9029 kcal), respectivamente. La renovación de agua total del cuerpo fue 16.6 L, y el peso corporal disminuyó 5,9 kg. El hematocrito aumentó de 46 a 51% PCV (*Packed cell volume*). El glucógeno muscular disminuyó de 152 a 48 mmol/kg de peso húmedo (pre vs post). **Conclusión:** Estos datos presentan las demandas fisiológicas particulares del Campeonato Mundial Ironman y deben ser consideradas por atletas y entrenadores para preparar planes nutricionales y de hidratación adecuados.

Palabras Clave: Agua doblemente marcada, renovación de agua, glucógeno muscular, hidratación, ultra resistencia

Objetivo: El propósito de este estudio fue determinar el perfil metabólico durante el Campeonato Mundial Ironman realizado en Kailua-Kona, Hawaii en 2006. **Métodos:** Un varón triatleta recreacional completó la competencia en 10:40:16. Antes de la competencia, se establecieron modelos de regresión lineal para las mediciones de estimación del gasto de energía y de utilización de sustratos realizadas en el laboratorio y en el campo. Al sujeto se le proporcionó una dosis oral de $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$ aproximadamente 64 horas antes de la competencia para calcular el gasto de energía total (TEE) y la renovación de agua con la técnica del agua doblemente marcada (DLW). Se realizó el análisis del peso corporal, sodio sanguíneo, hematocrito y glucógeno muscular (por medio de biopsia muscular) antes (pre) y después (post) de la competencia. **Resultados:** Los valores del TEE por la técnica del agua doblemente marcada (DLW) y por calorimetría indirecta fueron similares: 37,3 MJ (8926 kcal) y 37,8 MJ (9029 kcal), respectivamente. La renovación de agua total del cuerpo fue 16.6 L, y el peso corporal disminuyó 5,9 kg. El hematocrito aumentó de 46 a 51% PCV (*Packed cell volume*). El glucógeno muscular disminuyó de 152 a 48 mmol/kg de peso húmedo (pre vs post). **Conclusión:** Estos datos presentan las demandas fisiológicas particulares del Campeonato Mundial Ironman y deben ser consideradas por atletas y entrenadores para preparar planes nutricionales y de hidratación adecuados.

Palabras claves: Agua doblemente marcada, renovación de agua, glucógeno muscular, hidratación, ultra resistencia.

INTRODUCCION

Recientemente, los investigadores han comenzado a caracterizar las demandas fisiológicas de los triatlones Ironman. Los investigadores han descrito las demandas metabólicas de la competencia (1), los cambios en la concentración de sodio sanguíneo y del volumen plasmático (2) y han sugerido recomendaciones nutricionales (3). De manera similar, nuestro laboratorio ha determinado que un triatlón Half Ironman implica una elevada tasa de glucogenólisis muscular (4),

La técnica del agua doblemente marcada (DLW) se considera la metodología de referencia para determinar el gasto de energía total (TEE) y la renovación de agua en todo el cuerpo (rH_2O) en el ambiente natural. La metodología puede ser utilizada durante ejercicios de corta duración (<24 h) si el rH_2O y TEE son altos (5). El propósito de este estudio fue determinar el perfil metabólico durante el Campeonato Mundial Ironman de 2006 realizado en Kailua-Kona, Hawaii.

METODOS

Procedimientos Experimentales

Antes de realizar las evaluaciones, el participante dio su consentimiento informado por escrito para participar en el estudio, después de que el protocolo fuera aceptado por el comité de revisión institucional universitaria. Un varón de 39 años de edad entrenado participó en el Campeonato Mundial Ironman de 2006 en Kona, Hawaii. Antes de la competencia, el sujeto completó un test máximo en bicicleta ergométrica (*Velotron, RacerMate Inc., Seattle WA*) usando un protocolo progresivo (comenzó a 95 W y aumentó 35 W cada 3 min) y un test máximo en cinta rodante (etapas de 5 min a 2,2, 2,7 y 3,1 $m\cdot s^{-1}$ con una pendiente de 1%, seguidas por etapas de 1 min a 3,6, 4,0, 4,5 y 5,4 $m\cdot s^{-1}$ hasta el agotamiento volitivo) en una cinta rodante motorizada (*Trackmaster, Full Vision, Inc., Newton KS*). Los gases expirados fueron analizados mediante un sistema de medición del metabolismo *Parvo Medics TrueOne 2400* calibrado (*ParvoMedics, Sandy, UT*). En una visita separada el sujeto completó etapas en estado estable (4 min por etapa) a 45, 55, 65 y 75% de los watts máximos para la prueba en bicicleta. El perfil metabólico del estado estable para la carrera se determinó a partir del test máximo en cinta rodante. Además de los tests realizados en el laboratorio, el sujeto completó las etapas del estado estable en Kailua-Kona varios días antes de la competencia, equipado con los mismos implementos de la competencia (bicicleta, ropa, zapatillas, etc.) llevando un sistema metabólico portátil (*Cosmed K4b2 EE.UU. Inc., Chicago, IL*) y con las mismas intensidades utilizadas en el laboratorio para la bicicleta y 3.2, 3.6, y 4.1 $m\cdot s^{-1}$ para la carrera. Los watts fueron medidos con un potenciómetro digital (*SRM Power Systems, Colorado Springs, CO*) y la velocidad de carrera fue determinada mediante una unidad de GPS acoplada en la muñeca (*Garmin Forerunner 301, Garmin International, Inc., Olathe, KS*). Estas pruebas se realizaron 5 días después de la aclimatación al ambiente de la competencia. Las pruebas fueron realizadas en el mismo momento del día en que se esperaba que el sujeto estuviera pedaleando y corriendo.

Gasto de Energía

Agua Doblemente Marcada

En la noche del miércoles antes de la competencia que se realizaría el sábado (2200), aproximadamente 64 h antes de la competencia, el sujeto consumió una dosis oral de $^2H_2^{18}O$ (100 g; 1,82 g de ^{18}O por kg de agua corporal total, 0,13 g de 2H_2 por kg de agua corporal total.) Los procedimientos de dosificación y de análisis fueron similares a los utilizados en un trabajo anterior realizado en este laboratorio. (68). Brevemente, se tomaron muestras de orina en los siguientes momentos: inmediatamente antes de ingerir la dosis, luego de la segunda micción por la mañana (AM) el jueves, viernes y sábado (muestra pre competencia), y las micciones realizadas por la tarde (PM) del jueves, viernes y sábado (muestra post competencia). La muestra de orina pre-competencia fue recolectada lo más cercanamente posible al inicio de la competencia (36 min) y la orina post-competencia fue la primera micción realizada al finalizar la competencia (1:12:44 post competencia). En la primera noche, se recolectó y midió la micción producida durante la noche y la primera micción. El contenido de isótopos presentes en la orina recolectada antes y después de la competencia se utilizó para determinar la producción de CO_2 . La cantidad de isótopos se determinó por espectrometría de masa de relación isotópica. Para tener en cuenta las variaciones en la cantidad de isótopos del fondo, se obtuvieron muestras de orina en los mismos momentos de dos sujetos de la misma ubicación geográfica que no consumieron las dosis.

Dado que el período de medición de interés era corto, no fue posible recalcular el agua corporal total (TBW) al final de la competencia. El TBW antes de la competencia se estimó en base a los cambios en el peso corporal relativo al tiempo inicial de la dosis con isótopos y la relación TBW/peso corporal fijada en ese momento. El TBW post-competencia se estimó a

partir del peso corporal previo a la competencia menos los kilogramos estimados de uso de combustible endógeno calculados a partir del TEE de la competencia. Para el TEE, se utilizó el TBW promedio durante la competencia: $(\text{TBW pre-competencia} - \text{TBW post-competencia})/2$. Para representar el uso endógeno para determinar el TEE, se utilizó la siguiente ecuación: $(\text{TEE} - \text{EI})/[(4 + 9.5)/2]/1000$ (EI: ingesta de energía). Esto explica el uso de combustible exógeno substrayéndolo del TEE. Se asume que la pérdida endógena es 50% grasa y 50% carbohidratos. Por lo que se asume que una pérdida de peso adicional más allá de esto proviene de la pérdida de agua. Estos ajustes son similares los utilizados previamente (9).

Regresión Lineal

El gasto de energía de durante la etapa de natación de la competencia se estimó por medio de las ecuaciones establecidas por Kimber et al (1). Usando los datos de estado estable en los test obtenidos en el laboratorio y en el campo combinados, se establecieron las ecuaciones de regresión lineal para los watts de ciclismo y la velocidad de carrera para VO_2 y VCO_2 . Los valores r^2 para VO_2 fueron 0,90 y 0,96 para ciclismo y carrera, respectivamente. Los valores de r^2 para VCO_2 fueron 0,98 y 0,97 para ciclismo y carrera, respectivamente. El gasto de energía se estimó mediante el promedio de watts por hora (SRM Power Systems, Colorado Springs, CO) durante la etapa de pedaleo. De manera similar, se estimó el gasto de energía durante las etapas de carrera en base al ritmo de los tiempos parciales oficiales de la competencia en las millas 5,2, 17,6 y 26,2. Se estimó la oxidación de sustratos por medio de ecuaciones establecidas previamente Peronnet y Massicotte (10):

CHO (g min^{-1}): $4,585 \times \text{VCO}_2 - 3,226 \times \text{VO}_2$

Grasas (g min^{-1}): $1,695 \times \text{VO}_2 - 1,701 \times \text{VCO}_2$

No se detectaron alteraciones en la oxidación de sustratos a lo largo del tiempo o en relación a los macronutrientes ingeridos durante el evento. Para coincidir con el *timing* de la estimación de gasto de energía por medio de la técnica del agua doblemente marcada, los valores obtenidos en reposo se utilizaron para determinar el gasto de energía y la utilización de sustratos a los 36 min antes de la competencia y 1:12:44 luego de la competencia.

Glucógeno Muscular

Se obtuvieron biopsias del músculo vasto lateral derecho 2,5 horas antes y 0,5 horas después de la competencia por medio de una aguja para biopsia percutánea muscular *Bergstrom* con ayuda de aspiración (11). El contenido de glucógeno muscular se analizó con un método enzimático por espectrofotometría por triplicado (12).

Sangre y Peso Corporal

Se extrajeron muestras de sangre de la vena antecubital 0,5 h antes de la competencia (pre) y 0,5 horas después de la competencia (post), en las cuales se determinó el hematocrito con un analizador de sangre *i-STAT* (Laboratorios Abbott, Abbott Park, IL). El peso corporal se determinó antes y después de la competencia con una balanza digital calibrada (*Newline Model No. SBB0810, Mii Wintime International, Inc., Hicksville, NY*).

Ingesta de Alimentos

Luego de la competencia se registró la ingesta de alimentos por medio de una entrevista con el participante. Los suplementos de CHO fueron consumidos en forma de barras, geles y líquidos. El consumo de CHO exógeno no se consideró en el gasto de energía de CHO y grasas. Las cantidades medidas previamente fueron consumidas exclusivamente durante la etapa de ciclismo, pero la ingesta de fluidos en la carrera fue aproximadamente de 17 porciones lo que representa una estimación de 1981 mL. Dado que los líquidos fueron consumidos en vasos de papel, es posible que exista algún error en esta estimación; sin embargo, pensamos que el error sólo sería de ± 296 mL.

RESULTADOS

Los datos descriptivos se presentan en la Tabla 1. El tiempo de finalización de la competencia del participante fue 10:40:16. El perfil de utilización de combustibles, peso corporal, tiempos parciales de la competencia, velocidades en la competencia, tiempos de transición y la ingesta exógena de alimentos se presentan en la Tabla 2. El rH_2O total en la competencia fue 16,6 L. El hematocrito sanguíneo presentó un aumento de 46 a 51% del volumen corpuscular (PCV) y el contenido de glucógeno muscular disminuyó de 152 a 48 mmoL kg^{-1} de peso húmedo. El día en que se realizó la competencia la temperatura ambiente era de 28-31°C y la humedad relativa de 67-100%.

Edad	Talla	Peso	VO _{2max} , Ciclismo		VO _{2max} , Carrera	
			Absoluto	Relativo		
39 años	185,4 cm	76,0 kg			5,40 L min ⁻¹	71,1 mL kg min ⁻¹
			4,92 L min ⁻¹	64,7 mL kg min ⁻¹	5,40 L min ⁻¹	71,1 mL kg min ⁻¹

Tabla 1. Datos descriptivos del participante.

	Tiempo	Velocidad (m.s ⁻¹)	TEE (Cal.Ind), MJ (kcal)	TEE (DLW), MJ (kcal)	Carbohidratos (g)	Grasa (g)	Peso Corporal (kg)	Ingesta de carbohidratos (g)
Pre	36:00		0,5 (121)	Recolección inicial			78,6	
Natación	1:15:51	0,8	3,4 (805)	↓	141	27	↓	0
TI	4:29		0,2 (45)		8	2		
Ciclismo	5:19:40	9,4	21,4(5123)	↓	925	156	↓	404
T2	4:47		0,2 (48)		8	2		
Carrera	3:55:29	3,0	10,9 (2596)	↓	288	161	↓	228
Post	1:12:44		1,2(291)	Recolección post competencia			72,7	
Total	12:29:00		37,8 (9029)	37,3 (8926)	1370	348		632

Tabla 2. Comparación del gasto de energía total (TEE) utilizando ecuaciones de regresión modo-específicas desarrolladas a partir de los métodos de calorimetría indirecta y agua doblemente marcada (DLW). TEE (Ind. Cal.) = Gasto de energía total calculado a partir de ecuaciones de regresión modo-específicas basadas en la potencia durante ciclismo y en el ritmo durante la carrera (Los valores r^2 para VO₂ fueron 0,90 y 0,96 para ciclismo y carrera, respectivamente. Los valores r^2 para VCO₂ fueron 0,98 y 0,97 para ciclismo y carrera, respectivamente); TEE (método de DLW) = gasto de energía total calculado a partir de la eliminación de isótopos de agua doblemente marcada; Pre = Preparación pre competencia desde la recolección de la muestra hasta el comienzo de la competencia; TI = transición natación-ciclismo; T2 = transición ciclismo-carrera; Post = Período post competencia desde la finalización de la competencia hasta la recolección de las muestras; Los CHO y las grasa fueron estimados por calorimetría indirecta con las ecuaciones establecidas previamente (10) previamente establecido BW = peso corporal.

DISCUSION

Aceptando las limitaciones potenciales de las metodologías utilizadas en el campo, este estudio extendió la aplicación de la metodología del DLW y de las biopsias musculares para obtener datos fisiológicos en el ambiente natural de la competencia. El hallazgo principal de este estudio realizado en el Campeonato Mundial Ironman fue que es posible utilizar la metodología del DLW para evaluar TEE y la renovación de agua durante un período de tiempo corto (<24 h) en una situación de campo. Es probable que determinar el TEE durante períodos de tiempo cortos sólo sea posible durante ejercicios arduos, como el triatlón Ironman o las carreras de ultra resistencia, porque es necesario que haya una elevada renovación de agua en un período de tiempo corto para poder detectar los cambios necesarios en las tasas de eliminación de los isótopos, eso es, la pérdida de ²H vs ¹⁸O. El TEE determinado por medio de DLW fue similar (diferencia de 0,45 MJ [103 kcal]) al obtenido por el modelo de estimación de regresión lineal utilizado para evaluar el gasto de energía en los períodos establecidos antes, durante y después de la competencia. El gasto de energía estimado por calorimetría indirecta durante la competencia (excluyendo las estimaciones de gasto de energía pre y post competencia) fue 36,1 MJ (8617 kcal) y coincide con estimaciones previas (1) de gasto de energía durante las competencias de Ironman.

Durante el Ironman, el contenido de glucógeno muscular disminuyó 68%, considerablemente menos que durante el evento de Half-Ironman (-83%). Dado que en ambos estudios se trataba del mismo participante, hay varias posibilidades para explicar la diferencia en la utilización de glucógeno muscular entre las competencias: el Ironman se realiza en una intensidad más baja por lo que el participante puede haber desarrollado adaptaciones adicionales para lograr una mayor utilización de grasas, y el glucógeno muscular antes de la competencia (pre-competencia) era más bajo (152 contra 227

mmol kg⁻¹ de peso húmedo para los eventos de Ironman y medio Ironman, respectivamente). Es probable que la utilización de CHO total estimada por calorimetría indirecta haya subestimado el uso de CHO debido a una mayor ingesta exógena durante la competencia (las mediciones de gases en laboratorio y en el campo se realizaron con el participante en ayunas). Sin embargo, por medio del uso de las ecuaciones individualizadas y de la combinación de las pruebas de laboratorio y de campo se obtuvo el nivel más alto de exactitud posible para determinar la utilización de sustratos en un estudio el campo con el participante cargando un sistema metabólico portátil durante la competencia. Asumiendo una oxidación del 100% de la ingesta exógena, la utilización de sustratos durante la etapa de ciclismo fue 44% y 56% y durante la carrera 79% y 21%, de oxidación exógena y endógena respectivamente. Esto destaca la dependencia masiva del corredor de Ironman de aumentar al máximo la ingesta y oxidación exógena.

La pérdida de peso fue sustancial durante la competencia (5,9 kg, o 8% de peso corporal) y el hematocrito aumentó 5%, lo que sugiere una disminución en el volumen de plasma. Esta respuesta es atípica para el Ironman y otros eventos de ultra resistencia en los cuales se ha observado el mantenimiento del volumen de plasma o aumentos de aprox. 10% (2). El participante no presentó ningún síntoma que requiriera atención médica. La gran pérdida de peso corporal, el aumento en el hematocrito, la intensa sed del participante y la dificultad para orinar durante varias horas después de la competencia sugieren que estaba deshidratado. Es posible que la deshidratación pueda haber contribuido con la disminución en el ritmo que experimentó el participante en los tres cuartos finales de la maratón.

El rH₂O total mide el ingreso y la salida de fluidos a través del cuerpo durante un cierto período de tiempo. La medida no necesariamente refleja las necesidades de fluidos para mantener la euhidratación durante cierta tarea; sino que por el contrario, la medida está dada por los hábitos de ingesta de fluidos autoseleccionados por el individuo y la velocidad de pérdida en función del ambiente y del esfuerzo de trabajo. La renovación total de agua corporal durante la competencia (incluidas las mediciones pre y post) fue 16,6 L, o 1,33 L h⁻¹. En estudios anteriores con bomberos realizados en ambientes naturales (7) y pilotos de las *Air Force Special Operation Forces* (6) las tasas de renovación de agua fueron 0,37 y 0,28 L h⁻¹, respectivamente. Estas son profesiones extenuantes que exigen trabajo durante períodos de larga duración. En el estudio actual, la renovación de agua fue aproximadamente 4 a 5 veces mayor que estas tasas. Por lo tanto, realizar un triatlón Ironman, sobre todo en Kailua-Kona, exige una elevada tasa de renovación de agua corporal total y plantea un desafío único para los participantes de la competencia que no están aclimatados. La renovación de agua corporal total durante un Ironman puede ir de 15 a 20 L por competencia, lo que debe ser considerado en las indicaciones de ingesta de fluidos de los participantes. Es necesario realizar investigaciones adicionales para ayudar a minimizar el potencial de sufrir enfermedades relacionadas con el calor, específicas del Ironman de Hawaii.

Aplicaciones Prácticas y Conclusiones

Estos datos demuestran las demandas metabólicas desafiantes del Campeonato Mundial Ironman. Los atletas y entrenadores deben ser concientes del estrés particular que se plantea al participar en el Campeonato Mundial Ironman para diseñar un plan nutricional y de hidratación adecuado.

Agradecimientos

Los fondos fueron aportados por Air Force Research Laboratories FA 8650-06-1-679. Agradecemos a SRM, Scott Bicycles y HED por su apoyo para este proyecto.

REFERENCIAS

1. Kimber NE, Ross JJ, Mason SL, Speedy DB. (2002). Energy balance during an ironman triathlon in male and female triathletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*; 12:47-62.
2. Hew-Butler T, Collins M, Bosch A, et al. (2007). Maintenance of plasma volume and serum sodium concentration despite body weight loss in ironman triathletes. *Clin J Sport Med*; 17:116-122.
3. Robins A. (2007). Nutritional recommendations for competing in the Ironman triathlon. *Curr Sports Med Rep*;6:241-248.
4. Gillum TL, Dumke CL, Ruby BC. (2006). Muscle glycogenolysis and resynthesis in response to a half ironman triathlon: a case study. *Int J Sports Physiol Perform*; 1:408H3.
5. Stein TP, Hoyt RW, Settle RG, O'Toole M, Hiller WD. (1987). Determination of energy expenditure during heavy exercise, normal daily activity, and sleep using the doubly-labelled-water (2H₂ 18O). *method. Am J Clin Nutr*; 45:534-539.
6. Cuddy JS, Reinert AR, Hansen KC, Ruby BC. (2008). Effects of modafinil and sleep loss on physiological parameters. *Mil Med*; 173:1092-1097.
7. Ruby BC, Schoeller DA, Sharkey BJ, Burks C, Tysk S. (2003). Water turnover and changes in body composition during arduous wildfire suppression. *Med Sci Sports Exerc*; 35:1760-1765.

8. Ruby BC, ShriverTC, ZdericTW, Sharkey BJ, Burks C, Tysk S. (2002). Total energy expenditure during arduous wildfire suppression. *Med Sci Sports Exerc.*; 34:1048-1054.
9. Castellani JW, Delany JP, O'Brien C, Hoyt RW, Santee WR, Young AJ. (2006). Energy expenditure in men and women during 54 h of exercise and caloric deprivation. *Med Sci Sports Exerc.*; 38:894-900.
10. Peronnet F, Massicotte D. (1991). Table of nonprotein respiratory quotient: an update. *Can J Sport Sci*; 16:23-29.
11. Bergstrom J. (1975). Percutaneous needle biopsy of skeletal muscle in physiological and clinical research. *ScandJ Clin Lab Invest*; 35:609-616.
12. Ruby BC, Gaskill SE, Slivka D, Harger SG. (2005). The addition of fenugreek extract (*Trigonella foenumgraecum*). to glucose feeding increases muscle glycogen resynthesis after exercise. *Amino Acids*; 28:71-76.

Cita Original

John S. Cuddy, Dustin R. Slivka, Walter S. Hailes, Charles L. Dumke and Brent C. Ruby. Metabolic Profile of the Ironman World Championships: A Case Study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 5, 570-576, 2010.