

Monograph

Calorimetría Indirecta Durante una Carrera de Ultra Resistencia: Reporte de Un Caso

Charles L Dumke¹, Lesli Shooter¹, Robert H Lind¹ y David C Nieman¹¹Human Performance and Fisher Hamilton/Nycom Laboratory, Appalachian State University, Boone, N.C.; USA.

RESUMEN

El propósito del presente estudio fue determinar el gasto energético durante una carrera de ultra resistencia. Un sujeto de sexo masculino utilizó una unidad portátil de medición del metabolismo en los primeros 64.5 km de la carrera de 100 millas de los Estados del Oeste. Las calibraciones se llevaron a cabo con gases de volumen conocido a temperatura, humedad y presión ambiente (23-40.5 °C y 16-40% respectivamente). Durante la recolección de los datos la altitud promedió 1692.8 ± 210 m. El sujeto (36 años, 75 kg, VO₂máx de 67.0 mL/kg/min) tuvo un promedio (media ± DE) de frecuencia cardíaca de 132 ± 9 latidos/min, un consumo de oxígeno de 34.0 ± 6.8 mL/kg/min, un RER de 0.91 ± 0.04 y una VE de 86.0 ± 14.3 L/min, durante el período de medición de 21.7 km. Esto representó un promedio del 51% del VO₂máx y un 75% de la frecuencia cardíaca máxima. El gasto energético fue de 12.6 ± 2.5 kcal/min, u 82.7 ± 16.6 kcal/km (134 ± 27 kcal/milla) con una utilización del 68-3 ± 12.5 % de carbohidratos. La extrapolación de estos datos resultó en un gasto energético > 13000 kcal para los 160 km de carrera, con un requerimiento de carbohidratos exógenos > 250 kcal/milla. El costo energético de la carrera para es sujeto medido en pruebas separadas no competitivas estuvo en el rango de las 64.9 ± 8.5 a las 74.5 ± 5.5 kcal/km (105 ± 14 a 120 ± 9 kcal/milla). El gasto energético durante una carrera de ultra resistencia se incrementa por encima del gasto energético de la carrera medido en pista, lo cual puede resultar en la subestimación de los requerimientos energéticos durante estos eventos y en una inadecuada ingesta de nutrientes con la consiguiente desmejora en el rendimiento.

Palabras Clave: gasto energético, gasto calórico, economía de carrera

INTRODUCCION

El gasto energético durante la carrera es función del peso corporal, la intensidad del ejercicio (velocidad e inclinación del terreno), duración y en una menor medida de la economía de carrera de cada individuo (Saunders et al., 2004a). Sin embargo, estas valoraciones tradicionalmente se han llevado a cabo en el ambiente controlado del laboratorio. Con el avance en el desarrollo de los sistemas portátiles de análisis del metabolismo, se ha hecho posible la medición del gasto energético de la carrera en el campo.

En general se asume que las carreras de ultra resistencia se realizan sobre distancias mayores a las de la maratón (42.2 km). Los estudios acerca del gasto energético durante eventos de carrera de ultra resistencia llevados a cabo con mediciones de campo son escasos. Se han realizado estimaciones del gasto energético mediante el monitoreo de la ingesta calórica y de los cambios en el peso corporal (Eden and Abernethy, 1994), la intensidad (Davies and Thompson, 1979a; 1976b; 1986; Myles, 1979) y la utilización de agua doblemente marcada (Hill and Davies, 2001). Sin embargo, no se han

realizado estudios en donde se haya determinado el gasto energético en un evento de ultra resistencia mediante la medición del consumo de oxígeno utilizando un analizador metabólico portátil.

Una carrera de ultra resistencia impone un estrés de características únicas para el atleta. Las condiciones ambientales, el terreno en donde se lleva a cabo la carrera y quizás lo más importante, la ingesta de fluidos y nutrientes contribuyen al rendimiento de carrera.

	Distancia (km)	Tiempo (min)	Ritmo (min/km)	Altitud (m)	FC (latidos/min)	% FC máxima	METS
WS100	21.7	143	6.59	1693 (210)	132 (9)	75.3 (5.2)	9.7 (2.0)
Pista	6.45	26.6	4.12	897 (.5)	133 (7)	76.0 (4.1)	13.6 (1.0)
MHC1	4.84	22.0	4.55	1027 (31)	NA	NA	12.7 (.6)
MHC2	9.7	43.4	4.47	1008 (33)	NA	NA	10.9 (1.4)

Tabla 1. Datos acerca del curso y la intensidad de las cuatro pruebas de campo. Los datos están expresados como medias (\pm DE). Abreviaturas: WS100 = Carrera de 100 millas de los Estados del Oeste, MHC1 = Carrera en ascenso en el Mosses H. Cone, MHC2 = Carrera en descenso en el Moses H Cone.

Los participantes de estos eventos comúnmente realizan suposiciones acerca del gasto energético mientras corren de manera tal de realizar una ingesta calórica similar. Debido a que la intensidad relativa es innegablemente baja durante las carreras de ultra resistencia (Davies and Thompson, 1979a; 1976b; Myles, 1979), la subestimación de los requerimientos calóricos puede resultar en una desmejora significativa del rendimiento.

Por lo tanto, el propósito del presente estudio fue determinar el gasto energético durante una prueba de ultra resistencia (160 km) utilizando la técnica de calorimetría indirecta a través de un sistema analizador portátil y comparar estos datos con el gasto energético de la carrera medido en el mismo sujeto en una superficie totalmente plana.

METODOS

Sujeto

Una vez que el sujeto se familiarizó con la unidad portátil (Cosmed K4b2, Chicago, IL), este fue reclutado para el estudio. Antes de su participación, el sujeto proveyó su consentimiento informado, el cual fue aprobado por el Comité de Revisión Interna de la Universidad Estatal Appalachian, y que explicaba los beneficios y riesgos del estudio.

Experimento

El sujeto era un corredor experimentado con una significativa historia de entrenamiento y competencia. El sujeto de sexo masculino tenía 36 años de edad, una talla de 180 cm y un peso de 75 kg con una frecuencia cardíaca máxima de 175 latidos/min y un $VO_{2\text{máx}}$ de 67.0 mL/kg/min.

El sujeto realizó cinco tests diferentes con el dispositivo Cosmed K4b2: un test de $VO_{2\text{máx}}$, un test de carrera ascendente de 4.84 km, un test de carrera en descenso de 9.7 km, un test en pista sintética de 6.45 km y los primeros 64.5 km de la Carrera de 100 millas de los Estados del Oeste (160 km). El dispositivo Cosmed K4b2 es una unidad portátil que pesa aproximadamente 1 kg con baterías y que contiene tanto un analizador de oxígeno como un analizador de dióxido de carbono. Este dispositivo se ajusta al pecho y a la espalda mediante un arnés. Luego de una entrada en calor de 30 min, la unidad portátil (PU) fue calibrada tal lo especificado por los fabricantes. Esto incluye aire ambiente, gas de referencia (16% O_2 y 4% CO_2), calibración del retraso (tiempo para que el gas pase a través de las líneas de muestra) y calibración de la turbina de 3 L (flujómetro). Luego de cada test se descargaron los datos del PU a una computadora *laptop*. Los datos recolectados incluyeron: tiempo, frecuencia respiratoria (Rf), volumen corriente (Vt), ventilación (VE), consumo de oxígeno (VO_2), producción de dióxido de carbono (VCO_2), frecuencia cardíaca (HR) y temperatura y presión ambiental. La validez del Cosmed K4b2 ha sido demostrada previamente (McLaughlin et al., 2001; Hausswirth et al., 1997b) y se considera que tiene una diferencia menor al uno por ciento con respecto al método de bolsas de Douglas durante la realización de ejercicios. La utilización de sustratos para cada punto de muestra se calculó a partir del índice de intercambio respiratorio

no proteico (VCO_2/VO_2 o RER) utilizando la ecuación: % de grasas metabolizadas = $1 - RER/0.3$

El test de $VO_{2\text{máx}}$ se llevó a cabo en el Laboratorio de Rendimiento Humano de la Universidad Estatal Appalachian (897 m). El protocolo comenzó a 5 millas por hora y la velocidad se incrementó en 1 milla por hora cada 2 min hasta alcanzar las 9 millas por hora, luego de lo cual se incrementó la inclinación de la cinta en un 2% cada 2 minutos hasta que el sujeto alcanzara el agotamiento. Los datos respiración por respiración se recolectaron continuamente con el Cosmed K4b2. Los otros tests se llevaron a cabo en el campo.

El segundo test se trató de una carrera cuesta arriba llevada a cabo en las montañas de Carolina del Norte (elevación promedio 1027 m, ver Tabla 2) en los senderos de grava del Parque Estatal Moses H Cone (MHC1). El tercer test se trató de un descenso de 9.7 km (MHC2) llevado a cabo en el MHC el mismo día.

	EE (kcal/min)	EE (kcal/km)	EE (kcal/min)	EE (kcal/hr)	RER	% Grasa	%CHO
WS100	12.6 (2.5)	83.7 (16.6)	134 (27)	753 (151)	.91 (.04)	29.8 (12.0)	68.3 (12.0)
Pista	18.1 (1.3)	74.4 (5.5)	120 (9)	1083 (80)	1.0 (.03)	.5 (1.4)	98.3 (1.4)
MHC1	15.8 (.8)	72.1 (3.6)	116 (6)	951 (47)	NA	NA	NA
MHC2	14.5 (1.9)	64.9 (8.5)	105 (14)	871 (114)	.96 (.04)	12.1 (8.0)	86.3 (8.0)

Tabla 2. Datos metabólicos de las cuatro pruebas de campo. Los datos están expresados como medias (\pm DE). Abreviaturas: WS100 = Carrera de 100 millas de los Estados del Oeste, MHC1 = Carrera en ascenso en el Mosses H. Cone, MHC2 = Carrera en descenso en el Moses H Cone.

	EE (kcal/min)	EE (kcal/km)	EE (kcal/min)	EE (kcal/hr)	RER	% Grasa	%CHO
WS100	12.6 (2.5)	83.7 (16.6)	134 (27)	753 (151)	.91 (.04)	29.8 (12.0)	68.3 (12.0)
Pista	18.1 (1.3)	74.4 (5.5)	120 (9)	1083 (80)	1.0 (.03)	.5 (1.4)	98.3 (1.4)
MHC1	15.8 (.8)	72.1 (3.6)	116 (6)	951 (47)	NA	NA	NA
MHC2	14.5 (1.9)	64.9 (8.5)	105 (14)	871 (114)	.96 (.04)	12.1 (8.0)	86.3 (8.0)

Tabla 3. Gasto energético (EE) y economía de carrera en las cuatro pruebas de campo. Los datos están expresados como medias (\pm DE). Abreviaturas: WS100 = Carrera de 100 millas de los Estados del Oeste, MHC1 = Carrera en ascenso en el Mosses H. Cone, MHC2 = Carrera en descenso en el Moses H Cone, RER = índice de intercambio respiratorio, CHO = carbohidratos

El cuarto test se trató de los primeros 64.5 km de la carrera anual de 100 millas de los Estados del Oeste. La carrera de ultra resistencia de 160 km de los Estados del Oeste, es una carrera origen - destino que se lleva a cabo en las montañas de Sierra Nevada, Carolina del Norte, y se la considera una de los eventos de ultra resistencia más difíciles de los Estados Unidos. La prueba comienza en Squaw Valley, California (altitud de 1890 m) y culmina en Auburn, California (366 m). El curso de la carrera asciende 777 m hasta el Paso de los Emigrantes (2668 m, el punto más alto) en los primeros 7 km y luego pasa a través de un territorio remoto y accidentado hasta llegar a Auburn. La carrera se lleva a cabo por diversos senderos y caminos de tierra. La distancia de la carrera es determinada mediante un odómetro calibrado. El incremento y la disminución total en la altitud durante la carrera son de 5500 y 6700 m respectivamente. Durante el curso de la carrera se disponen un total de veintiséis estaciones de asistencia, de las cuales no todas son accesibles para el equipo del corredor. En el presente estudio el sujeto corrió hasta la primera estación de asistencia, durante lo cual no se permitió asistencia externa (39.7 km), antes de recalibrar la unidad portátil. Luego de la recalibración, el sujeto continuó la carrera por otros 21.7 km. Los datos de esta sección de 21.7 km son los que aparecen en los resultados (WS100). El quinto y ultimo test fue una carrera de 6.45 km llevada a cabo en la pista de atletismo de la Universidad Estatal Appalachian, para valorar el costo energético de la carrera en terreno plano y sobre una superficie dura. Durante este test el sujeto intentó alcanzar la frecuencia cardíaca alcanzada en la prueba WS100. Si bien los tests se llevaron a cabo en diferentes lugares, las cuatro pruebas se realizaron en condiciones ambientales similares, $\sim 22-28$ °C, y $\sim 20-50$ % humedad relativa.

Los datos respiración por respiración de todos los test fueron descargados de la PU y exportados a una hoja de cálculo. Los datos se expresan como medias \pm DE.

RESULTADOS

Los datos recolectados entre los kilómetros 39.7 y 61.3 de la prueba WS100 así como también los datos de las otras tres pruebas de campo se muestran en las Tablas 1, 2, y 3 y en las Figuras 1 y 2. Para este segmento de 21.7 km de la prueba WS100, hubo un incremento en la altitud de 510m y una disminución de la misma de 1015 m, para un descenso total de 505 m. La altitud media fue de 1693 ± 210 m. La temperatura de bulbo seco a los 39.7 km fue de 23.1 °C con una humedad relativa del 40%. La recolección de los datos finalizó con una temperatura de bulbo seco de 40.5 °C y 16% de humedad relativa.

Los datos del Cosmed K4b2 para todos los tests fueron promediados en períodos de un minuto. Los datos en donde el sujeto se mantuvo en reposo fueron descartados, así como también se descartaron los datos en los cuales el sujeto se quitó la máscara por períodos significativos de tiempo. Como puede observarse en las Figuras 1 y 2, hay períodos de reposo que no se incluyeron en los datos de las Tablas. Durante la prueba WS100 (Figura 1), hubo que remover intermitentemente la máscara para permitir la ingesta de fluidos y nutrientes.

Aunque durante la prueba WS100, el ritmo de carrera fue el más lento, y la intensidad relativa (% VO_2 máx) fue la más baja, el costo energético (kcal/km o kcal/milla) fue el mayor de los cuatro tests. Esto ocurrió a pesar de la disminución total en la altitud durante la prueba. Durante la prueba MHC2 también hubo una pérdida total de altitud de 152 m; sin embargo, la cantidad de kilocalorías por distancia durante esta prueba fue mucho menor. La intensidad determinada como % del VO_2 máx o como kcal/milla fue la menor en la prueba WS100 y la mayor durante el test en la pista de atletismo. Sin embargo, la intensidad determinada como frecuencia cardíaca absoluta o como % de la frecuencia cardíaca fue similar (131 latidos/min vs 133 latidos/min y 75.3% vs 76.0%, respectivamente). La utilización de sustratos (Tabla 3) fue función de la intensidad, duración e ingesta de macronutrientes exógenos. Durante la prueba WS100 se permitió la ingesta ad libitum de fluidos y nutrientes, los cuales consistieron mayormente de carbohidratos. Durante los otros tests de campo solo se permitió la ingesta de agua. No obstante, la oxidación de carbohidratos reflejó la intensidad del test, siendo el porcentaje de carbohidratos oxidados el más bajo y la oxidación de grasas la más alta durante la prueba WS100. Los requerimientos de carbohidratos fueron 515 kcal/h en la prueba WS100, mientras que en la prueba en realizada en la pista de atletismo la oxidación de carbohidratos fue de aproximadamente el doble.

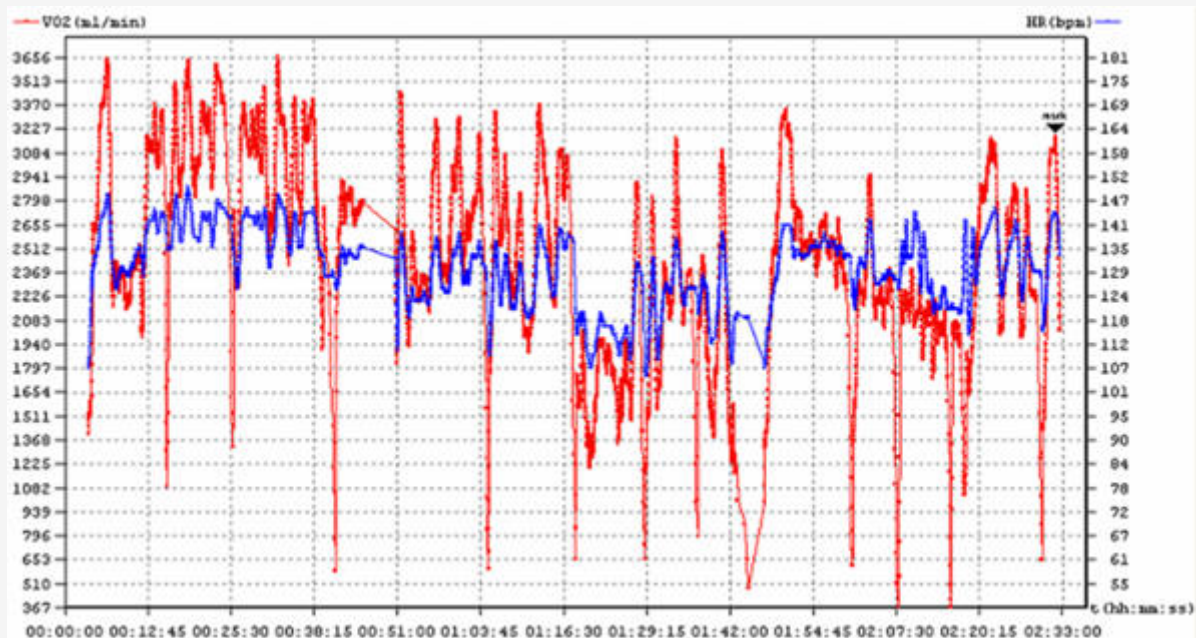
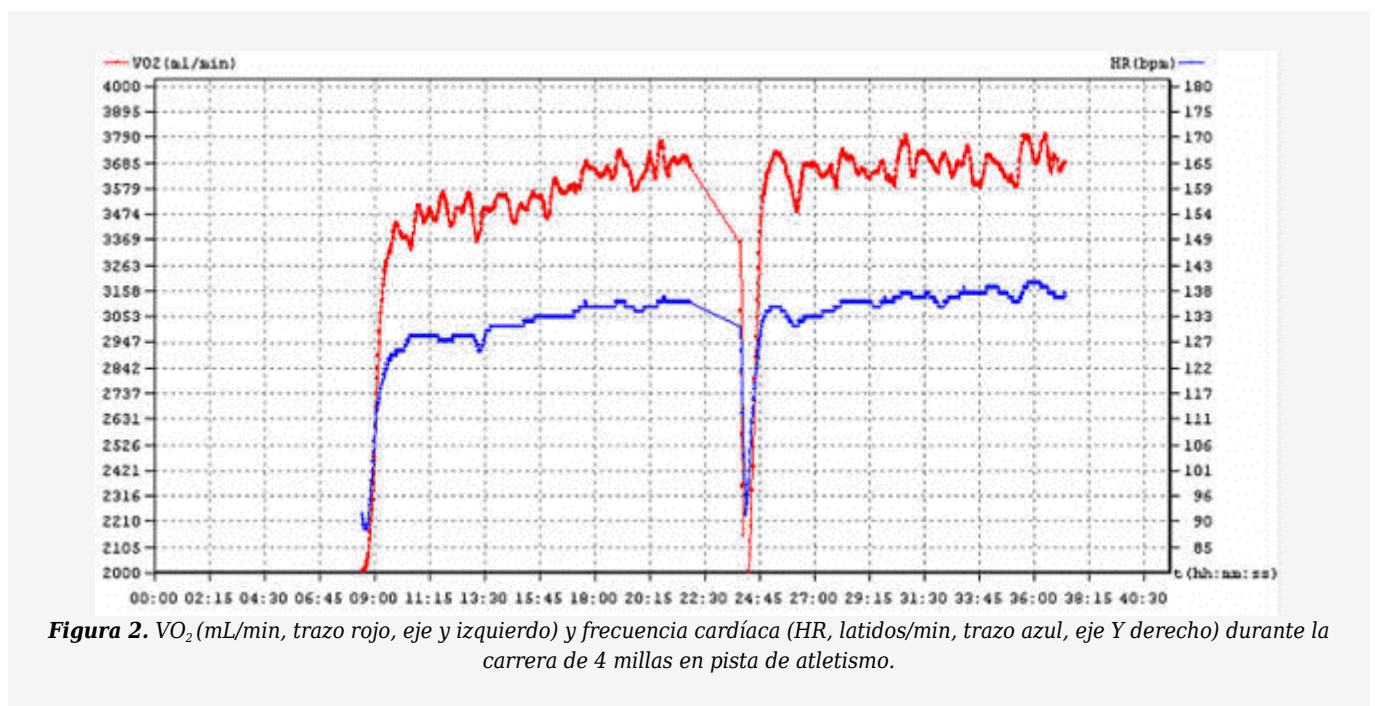


Figura 1. VO_2 (mL/min, trazo rojo, eje y izquierdo) y frecuencia cardíaca (HR, latidos/min, trazo azul, eje Y derecho) durante la sección de 13.4 millas de la carrera de ultra resistencia de 100 millas de los Estados del Oeste.

DISCUSION

El resultado más novedoso de esta investigación es que el costo energético de la carrera en una prueba de ultra resistencia fue substancialmente mayor que el costo energético de la carrera medido en el mismo sujeto en otras condiciones diferentes. Aun cuando la intensidad del ejercicio fue relativamente baja en la prueba WS100, el gasto energético de este individuo por kilómetro de terreno fue relativamente alto.

La estimación de las kcal/milla en una carrera horizontal normal para un individuo de este peso (75 kg) sería ~120 kcal/milla (McArdle et al., 2001, Saunders et al., 2004a), lo cual es bastante aproximado a lo observado en los datos del test en pista y del test MHC1 del presente estudio. Sin embargo, aun cuando la intensidad en la prueba WS100 fue baja, el gasto calórico fue elevado. Numerosos factores pueden haber contribuido a este incremento en el gasto energético de la carrera, en parte pudo deberse a las características ondulantes del terreno. El ritmo y la distancia cubierta se ven reducidas bajo estas condiciones lo cual podría resultar en un incremento en el gasto energético cuando este se expresa en relación a una distancia dada o como la velocidad a una intensidad dada. Se ha reportado que la realización de carreras en arena puede resultar en un incremento de 1.6 veces del costo energético de la carrera (Lejeune et al., 1998).



Si bien la prueba WS100 no contaba con tramos de arena, esto podría ilustrar el rango del gasto energético de la carrera cuando esta se realiza en diferentes superficies. Además, aunque en el tramo de carrera estudiado hubo una reducción en la altitud, este tramo contaba con varias secciones de ascenso y descenso. Minetti et al (2002) reportaron que la carrera en cinta ergométrica utilizando inclinación puede incrementar el costo energético de la carrera unas cinco veces y que la carrera en descenso puede incrementar el costo energético de la carrera en aproximadamente un medio. En el presente estudio de campo, esto fue algo complicado de determinar ya que el sujeto monitoreó la intensidad en forma subjetiva través del esfuerzo percibido y de la frecuencia cardíaca. A pesar de la constante alteración en la intensidad relativa y de la disminución global en la altitud, el gasto energético fue relativamente alto. Debido a que la prueba WS100 se llevó a cabo a una altitud moderada (1693 m) pudo haber un incremento en el gasto energético de la respiración, lo cual a su vez pudo haber resultado en un incremento de costo energético de la carrera (Morgan and Craib, 1992; Roi et al., 1999). Sin embargo, el sujeto del presente estudio estaba aclimatado a la altura ya que había vivido tres semanas a más de 2400 m antes de su participación en la prueba WS100, y se ha mostrado que la aclimatación a la altura mejora la economía de carrera y por lo tanto reduce el costo energético de la misma (Saunders et al., 2004b).

La duración del ejercicio incrementa el costo de oxígeno de la carrera (Davies and Thompson, 1986; Hauswirth and Lehenaff, 2001; Hauswirth et al., 1997a; Sproule, 1998; Xu and Montgomery, 1995)). Si bien se cree que la translocación (*drift*) cardiovascular contribuye a esta elevación del gasto energético durante ejercicios prolongados, no es el único factor

(Hauswirth et al., 1997a; Sproule, 1998). En el presente estudio, debido a la variación en las condiciones del terreno fue difícil determinar cualquier cambio en el costo energético a lo largo del segmento de 21.7 km, no obstante el sujeto había corrido los 39.7 km en aproximadamente 5 horas antes del comienzo de la recolección de los datos. Por lo tanto, el incremento en el costo energético pudo haberse producido antes de este período de medición. La inflamación muscular también puede haber contribuido al incremento en el gasto energético (Braun and Dutton, 2003; Calbet et al., 2001; Palmer and Sleivert, 2001). La intensidad de carrera en la presente investigación fue similar a la estimada en otros estudios llevados a cabo en eventos de ultra resistencia. Se ha hallado que durante carreras de larga distancia es posible mantener una intensidad del 50-60% del $\text{VO}_2\text{máx}$ (Davies and Thompson, 1979a; 1976b; Myles, 1979), lo cual se compara favorablemente con la intensidad del 51% del $\text{VO}_2\text{máx}$ en el presente estudio. Por lo tanto, no creemos que el incrementado costo energético de la carrera en el presente estudio se haya debido a un incremento en la intensidad, lo cual sería poco realista para un evento de ultra resistencia. De esta manera, el elevado gasto energético observado durante las carreras de ultra resistencia puede deberse a numerosos factores tanto ambientales como fisiológicos; sin embargo, en el transcurso de los eventos de ultra resistencia esto ciertamente afectaría los requerimientos energéticos.

Solo un estudio previo ha intentado medir el gasto energético durante una carrera de larga duración. Hill y Davies (2001), midieron el gasto energético en carreras diarias durante dos semanas mediante la técnica de agua doblemente marcada. El sujeto (63 kg) promedió 6321 kcal/día mientras corrió un promedio de 76.7 km/día (47.6 millas/día) en cursos establecidos. Teniendo en cuenta el gasto metabólico basal esto daría 61.6 kcal/km (~100 kcal/milla), lo cual se aproxima al costo energético estimado para un individuo de este peso (McArdle et al., 2001; Saunders et al., 2004a). Estas mediciones fueron tomadas luego de las primeras dos semanas de un periodo de siete meses de carreras en rutas de Australia. El método de medición, el peso y la experiencia de l sujeto, el terreno y la superficie de carrera pueden ayudar a explicar las diferencias observadas con la presente investigación. Incluso, dada la impresionante economía de carrera del corredor del estudio de Hill y Davies (2001), estos no compararon la economía de carrera del individuo en condiciones normales para determinar cualquier potencial elevación en el gasto energético y por lo tanto la disminución de la economía a través del tiempo.

En el presente estudio, durante la prueba WS100, la frecuencia cardíaca estuvo desproporcionadamente elevada para la intensidad expresada como % del $\text{VO}_2\text{máx}$. Si bien la frecuencia cardíaca en la prueba WS100 fue similar a la observada durante la prueba en la pista de atletismo (76.0 vs. 75.3% respectivamente), la intensidad (% del $\text{VO}_2\text{máx}$) fue substancialmente mayor (71.2 vs 51.0%, respectivamente). A partir de registros anecdóticos, se ha observado que muchos individuos durante eventos de ultra resistencia muestran un incremento en la frecuencia cardíaca para un esfuerzo percibido dado, y esto quizás se deba a la ansiedad provocada por el ambiente de la carrera. O quizás, la frecuencia cardíaca bajo estas condiciones extremas refleje el elevado gasto energético en relación a la intensidad determinada mediante el consumo de oxígeno. Nuevamente, debido a la naturaleza del curso de la carrera, la contribución de la translocación cardiovascular al incremento de la frecuencia cardíaca observado en el presente estudio es difícil de determinar. Sin embargo, una elevada frecuencia cardíaca fue aparente incluso durante las primeras etapas de la carrera del sujeto del presente estudio.

CONCLUSIONES

Debido a que el rendimiento en carreras de ultra resistencia puede estar relacionado mayormente con cubrir el costo metabólico mediante la ingesta de fluidos y nutrientes exógenos, estos datos tienen grandes implicaciones para la comunidad de atletas de ultra resistencia. Los participantes saben que durante los eventos de ultra resistencia la intensidad es baja, y por lo tanto creen que el costo energético también es bajo. Además, muchos están familiarizados con la suposición simplificada de que establece un costo energético de 100 kcal/milla (Krauss et al., 2000) sin considerar su peso corporal o las condiciones de carrera. Estas suposiciones pueden resultar en una baja ingesta *ad libitum* de nutrientes. De hecho, se ha hallado que la ingesta de nutrientes durante carreras de ultra resistencia está por debajo del costo energético estimado (Dumke, observaciones no publicadas; Fallon et al., 1998; Kruseman et al., 2005). Bajo estas circunstancias, una nutrición subóptima resultará en una desmejora del rendimiento.

En resumen, a pesar de la baja intensidad relativa el costo energético de la carrera se ve incrementado cuando esta se lleva a cabo en los difíciles terrenos característicos de los eventos de ultra resistencia, y en comparación a las carreras realizadas en terrenos planos. Esto puede resultar en una ingesta subóptima de nutrientes exógenos que puede derivar en la desmejora del rendimiento-

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Lana Widman de UC-Davis quien proveyó los gases de calibración y las baterías de reserva para el Cosemed K4b2. Previamente a la publicación de este artículo se presentó un resumen en el Congreso Nacional del

REFERENCIAS

1. Braun, W.A. and Dutto, D.J (2003). The effects of a single bout of downhill running and ensuing delayed onset of muscle soreness on running economy performed 48 h later. *European Journal of Applied Physiology* 90, 29-34
2. Calbet, J.A., Chavarren, J. and Dorado, C (2001). Running economy and delayed onset muscle soreness. *Journal of Sports. Medicine and Physical Fitness* 41, 18-26
3. Davies, C.T. and Thompson, M.W (1979). Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 41, 233-245
4. Davies, C.T. and Thompson, M.W (1979). Estimated aerobic performance and energy cost of severe exercise of 24 h duration. *Ergonomics* 22, 1249-1255
5. Davies, C.T. and Thompson, M.W (1986). Physiological responses to prolonged exercise in ultramarathon athletes. *Journal of Applied Physiology* 61, 611-617
6. Eden, B.D. and Abernethy, P.J (1994). Nutritional intake during an ultraendurance running race. *International Journal of Sport Nutrition* 4, 166-174
7. Fallon, K.E., Broad, E., Thompson, M.W. and Reull, P.A (1998). Nutritional and fluid intake in a 100-km ultramarathon. *International Journal of Sport Nutrition* 8, 24-35
8. Hausswirth, C., Bigard, A.X. and Guezennec, C.Y (1997). Relationships between running mechanics and energy cost of running at the end of a triathlon and a marathon. *International Journal of Sports Medicine* 18, 330-339
9. Hausswirth, C., Bigard, A.X. and Le Chevalier, J.M (1997). The Cosmed K4 telemetry system as an accurate device for oxygen uptake measurements during exercise. *International Journal of Sports Medicine* 18, 449-453
10. Hausswirth, C. and Lehenaff, D (2001). Physiological demands of running during long distance runs and triathlons. *Sports Medicine*, 31, 679-689
11. Hill, R.J. and Davies, P.S (2001). Energy expenditure during 2 wk of an ultra-endurance run around Australia. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33, 148-151
12. Kruseman, M., Bucher, S., Bovard, M., Kayser, B. and Bovier, P.A (2005). Nutrient intake and performance during a mountain marathon: an observational study. *European Journal of Applied Physiology* 94, 151-157
13. Lejeune, T.M., Willems, P.A. and Heglund, N.C (1998). Mechanics and energetics of human locomotion on sand. *Journal of Experimental Biology* 201, 2071-2080
14. McArdle, W.D., Katch, F.I. and Katch, V.L (2001). Exercise physiology: Energy, nutrition, and human performance. *Baltimore, Lippincott William & Wilkins*
15. McLaughlin, J.E., King, G.A., Howley, E.T., Bassett, D.R., JR. and Ainsworth, B.E (2001). Validation of the COSMED K4 b2 portable metabolic system. *International Journal of Sports Medicine* 22, 280-284
16. Minetti, A.E., Moia, C., Roi, G.S., Susta, D. and Ferretti, G (2002). Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes. *Journal of Applied Physiology*, 93, 1039-46
17. Morgan, D.W. and Craib, M (1992). Physiological aspects of running economy. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 24, 456-461
18. Myles, W.S (1979). The energy cost of an 80 km run. *British Journal of Sports Medicine* 13, 12-14
19. Palmer, C.D. and Sleivert, G.G (2001). Running economy is impaired following a single bout of resistance exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport* 4, 447-459
20. Roi, G.S., Giacometti, M. and Von Duvillard, S.P (1999). Marathons in altitude. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 31, 723-728
21. Saunders, P.U., Pyne, D.B., Telford, R.D. and Hawley, J.A (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine* 34, 465-485
22. Saunders, P.U., Telford, R.D., Pyne, D.B., Cunningham, R.B., Gore, C.J., Hahn, A.G. and Hawley, J.A (2004). Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate-altitude exposure. *Journal of Applied Physiology* 96, 931-937
23. Sproule, J (1998). The influence of either no fluid or carbohydrate-electrolyte fluid ingestion and the environment (thermoneutral versus hot and humid) on running economy after prolonged, high-intensity exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 77, 536-542
24. Xu, F. and Montgomery, D.L (1995). Effect of prolonged exercise at 65 and 80% of $\dot{V}O_{2\max}$ on running economy. *International Journal of Sports Medicine*, 16, 309-313
25. Krauss, R.M., Eckel, R.H., Howard, B., Appel, L.J., Daniels, S.R., Deckelbaum, R.J., Erdman, J.W., Kris-Etherton, P.M., Goldberg, I.J., Kotchen, T.A., Lichtenstein, A.H., Mitch, W.E., Mullis, R (2000). Dietary Guidelines: Revision 2000: A statement for Healthcare Professionals from the Nutrition Committee of the American Heart Association. *Circulation* 102, 2296-2311

Cita Original

Charles L. Dumke, Lesli Shooter, Robert H. Lind and David C. Nieman. Indirect Calorimetry During Ultradistance Running: A Case Report. *Journal of Sports Science and Medicine* (2006) 5, 692 - 698