

Monograph

Correr 338 Kilómetros durante Cinco Días no Tiene Efecto sobre la Masa y la Grasa Corporal pero Reduce la Masa del Músculo Esquelético - *Isarrun 2006*

Beat Knechtle¹ y Götz Kohler²

¹Gesundheitszentrum St. Gallen, St. Gallen, Suiza.

²Division of Biophysical Chemistry, Biozentrum, University of Basel, Suiza.

RESUMEN

En este trabajo investigamos los cambios en la composición corporal que se producen en corredores durante una carrera de ultra-resistencia con múltiples etapas, la competición Isarrun 2006 en Baviera, Alemania en la cual los atletas debían correr 338 km en 5 días. Con el objetivo de calcular la masa de músculo esquelético y la masa grasa corporal para analizar los cambios que se producen luego de la carrera, se realizaron mediciones de masa corporal, grosor de los pliegues cutáneos y perímetro de las extremidades en 21 corredores masculinos bien entrenados en resistencia extrema, quienes finalizaron principalmente dentro de la primera mitad del ranking de clasificación (valores de las principales características de los participantes expresados como Media±DS: 41,5±6,9 años, 72,6±6,4 kg, 178±5 centímetros, BMI 23,0±2,0 kg.m²). La masa corporal y la masa grasa calculada no registraron cambios significativos ($p>0,05$), pero, la masa calculada del músculo esquelético disminuyó significativamente ($p<0,05$) en 0,63±0,79 kg a final de la carrera. La disminución más pronunciada de masa del músculo esquelético calculada ($p<0,01$) se produjo durante la primera etapa, y no se observaron cambios durante las últimas 4 etapas. Nosotros concluimos, que la carrera de ultra resistencia con múltiples etapas de 338 km realizada durante 5 días no provoca ningún cambio en la masa corporal ni en la masa grasa corporal, pero si provoca una disminución de 0,63±0,79 kg (estadísticamente significativa) en la masa del músculo esquelético al final de la carrera en los corredores de ultra-resistencia bien entrenados y bien experimentados. La variación en la masa del músculo esquelético debería ser evaluada en estudios posteriores en carreras de ultra-resistencia mediante los métodos adecuados para detectar los cambios en el nivel de hidratación y en el metabolismo del agua.

Palabras Clave: composición corporal, antropometría, *ultra-running*, carrera en etapas, masa grasa, ultra-resistencia

INTRODUCCION

Es ampliamente conocido que la grasa es el principal sustrato rico en energía para el rendimiento de resistencia de larga

duración (Frykman et al., 2003; Helge et al., 2003; Raschka y Plath, 1992; Reynolds et al., 1999) y que el ejercicio de resistencia provoca una reducción del tejido adiposo subcutáneo (Boschmann et al., 2002) como ha sido observado en estudios realizados en el laboratorio y el campo (Helge et al., 2003; Höchli et al., 1995; Raschka et al., 1991; Raschka y Plath, 1992).

Las carreras de ultra-resistencia son una buena oportunidad para estudiar la disminución del tejido adiposo subcutáneo en las pruebas de resistencia de larga duración. Pero parece haber diferencias entre aquellas pruebas con descansos establecidos - por ejemplo, durante la noche - y las pruebas sin descansos establecidos. En las pruebas de resistencia de larga duración con descansos, como los eventos con muchas etapas, la masa corporal permanecería estable (Cox et al., 2003; Dressendorfer y Wade, 1991; Nagel et al., 1989; Väänänen y Vihko, 2005) o incluso aumentaría (Raschka y Plath, 1992) y la grasa corporal se reduciría (Cox et al., 2003; Raschka et al., 1991; Raschka y Plath, 1992), mientras que la masa de músculo esquelético no se vería afectada (Cox et al., 2003; Dressendorfer y Wade, 1991; Reynolds et al., 1999). Por el contrario, en las pruebas de ultra-resistencia de horas, días o incluso semanas de duración sin descanso, ha sido observada una disminución en la masa corporal (Bircher et al., 2006; Helge et al. 2003; Knechtle et al., 2005; Lehmann et al. 1995), y al parecer también disminuirían la grasa corporal y la masa de músculo esquelético (Bircher et al., 2006; Knechtle et al., 2005; Knechtle y Bircher, 2005).

Debido a que, hasta este momento, sólo se ha podido demostrar la disminución en la masa de músculo esquelético en las pruebas de ultra-resistencia en reportes de casos (Bircher et al., 2006; Knechtle et al., 2005; Knechtle y Bircher, 2005) o en muestras pequeñas (Helge et al., 2003), en este estudio nuestro objetivo fue investigar en una muestra mayor de atletas de ultra-resistencia, si los corredores de ultra-resistencia experimentaban solamente una degradación de tejido adiposo subcutáneo o si sufrían una pérdida adicional de masa de músculo esquelético. Además, intentamos cuantificar la pérdida de masa grasa corporal y de músculo esquelético.

METODOS

Todos los participantes de la competición Isarrun 2006 fueron contactados por los organizadores mediante un boletín informativo independiente 3 meses antes de la carrera para consultarles si deseaban participar en el estudio. Sesenta atletas (8 mujeres y 52 hombres) deseaban participar. Cincuenta corredores varones y siete mujeres participaron en la carrera de los cuales 49 corredores (6 mujeres y 43 hombres) lograron finalizarla. En el estudio participaron veintidós corredores blancos caucásicos de sexo masculino. Todos dieron su consentimiento informado por escrito. De los sujetos que participaron en el estudio, 21 corredores; (datos presentados como valores medios \pm DS; edad 41,5 \pm 6,9 años, peso 72,6 \pm 6,4 kg, talla 178 \pm 5 centímetros, BMI 23,0 \pm 2,0 kg.m²) lograron finalizar la carrera, en su mayor parte dentro de la primer mitad del ranking de clasificación. Un corredor abandonó el grupo de estudio debido a problemas ortopédicos. Los finalistas exitosos entrenaron durante 11,6 \pm 6,0 horas por semana y habían completado en promedio 7 \pm 11 (2 a 50) carreras de 24 horas o de mayor duración antes de comenzar la presente carrera.

La Carrera

La tercera competición Isarrun se realizó en Baviera (Alemania) desde el 15 al 19 de mayo del 2006 a lo largo de una distancia de 338 km. Debieron ser completadas cinco etapas (Tabla 1) en un período de 5 días consecutivos. El pequeño grupo de 60 corredores debía correr desde el delta del Río Isar en Baviera, Alemania, hasta la nacimiento del Isar en Austria. Los atletas disponían de alojamiento en los pequeños hoteles-restaurantes en los pueblos donde se desarrollaba cada etapa de la carrera. Todas las mañanas a las 07:00 de la mañana, los corredores comenzaban la siguiente etapa juntos. Ningún corredor podía recibir ayuda de su equipo de apoyo personal durante la duración de cada etapa, y debían correr por lo menos a una velocidad de 9 min.km-1, si no eran expulsados de la carrera.

Etapa	Desde-Hasta	Distancia (km)	Ascenso (m)	Descenso (m)	Condiciones climáticas generales
1	Plattling - Dingolfing	62	280	230	Soleado, seco 22° C
2	Dingolfing - Freising	75	240	145	Nublado lluvioso, 21° C
3	Freising - Wolfratshausen	73	220	90	Soleado, seco 22° C
4	Wolfratshausen - Fall	61	785	570	Moderado, 22° C
5	Fall - Scharnitz	67	740	580	Moderado, 19° C
Total		338	2265	1615	

Tabla 1. Duración y condiciones climáticas de cada una de las etapas de Isarrun 2006.

Mediciones y Cálculos

La tarde antes del comienzo de la carrera y luego de alcanzar la línea de llegada cada tarde, se realizaron mediciones de la masa corporal y de los perímetros del brazo, muslo y pantorrilla. La masa corporal fue determinada con los atletas vestidos con la misma ropa antes y después de la carrera con una balanza comercial (Beurer BF 15, Beurer GmbH, Ulm, Alemania) con una apreciación de 0,1 kg. El grosor de los pliegues cutáneos y los perímetros de las extremidades fueron determinados en el lado derecho del cuerpo, siguiendo la metodología descrita por Lee et al., 2000. Los perímetros del brazo y de la pantorrilla fueron medidos en el perímetro máximo de las extremidades; mientras que el perímetro del muslo se determinó a 15 centímetros por encima del polo superior de la rótula. Todas las mediciones de perímetros fueron registradas con una apreciación de 1 mm.

El grosor de los pliegues cutáneos del pecho, pliegue axilar medio (vertical), tríceps, subescapular, abdominal (vertical), suprailíaco (en la región anterior de la axila), muslo y pantorrilla, fueron medidos con un calibre de pliegues cutáneos (GPM-Hautfaltenmessgerät, el Siber & Hegner, Zurich, Suiza) con una apreciación de 0,2 mm. Cada medición fue realizada 3 veces por la misma persona y luego, para realizar los cálculos, se utilizó el promedio de las tres mediciones. La masa de músculo esquelético (SM) fue calculada aplicando la siguiente fórmula: $SM = Ht \times 0,00744 \times CAG^2 \times 0,00088 \times CTG^2 \times 0,00441 \times CCG^2 \times 2,4 \times \text{sexo} - 0,048 \times \text{edad} \times \text{raza} \times 7,8$, donde Ht = talla, CAG = valor del pliegue cutáneo del brazo corregido, CTG = valor del pliegue cutáneo del muslo corregido, CCG = valor del pliegue cutáneo de la pantorrilla corregido, sexo = 1 para varón, raza = 0 para la raza blanca (Lee et al., 2000). El porcentaje de grasa corporal (% BF) fue calculado utilizando la siguiente fórmula: $\% BF = 0,465 \times 0,180 \times (\Sigma 7SF) - 0,0002406 \times (\Sigma 7SF)^2 + 0,0661 \times \text{edad}$, donde $\Sigma 7SF$ = sumatoria de los valores medios del grosor de los pliegues cutáneos del pecho, pliegue axilar medio, tríceps, subescapular, abdomen, suprailíaco y muslo (Ball et al. 2004). La masa grasa fue calculada a partir del % BF de la masa corporal.

Análisis Estadísticos

El análisis estadístico fue realizado con el *software* R (R Development Core Team 2005). Para determinar si se producían cambios significativos en la masa corporal, masa de músculo esquelético y masa grasa durante toda la carrera, durante la primera etapa y durante las últimas 4 etapas, se utilizó el test de Wilcoxon de rangos de rangos signados de una sola muestra. El ajuste de Bonferroni se aplicó para compensar los efectos de las mediciones múltiples (3 tests de muestras de a pares de 3 parámetros). El nivel de significancia estadística fue fijado en 0,05.

RESULTADOS

En la Figura 1 se observan la masa corporal media, la masa grasa corporal y la masa de músculo esquelético calculadas antes de Isarrun y después de cada una de las 5 etapas. En las Figura 2 y 3 se presenta el grosor de los pliegues cutáneos y los perímetros de las extremidades. El día antes de que comenzara la carrera, la masa corporal de los competidores estaba entre 59,6 kg y 85,5 kg y no registró cambios significativos ($p > 0,05$) durante la competición Isarrun. La masa grasa calculada estaba entre 6,6 kg y 21,2 kg antes del comienzo de la carrera. Aunque se observó una ligera disminución en la masa grasa ($p > 0,05$) durante la primera etapa, no se registró una disminución significativa al finalizar toda la competición ($p > 0,05$). Los valores de la masa de músculo esquelético antes de que comenzara la competencia estaban comprendidos entre 34,3 kg y 46,1 kg y disminuyeron significativamente ($0,62 \pm 0,79$ kg) al final de la carrera ($p < 0,05$) (Figura 1). La masa de músculo esquelético disminuyó claramente durante la primera etapa de la carrera ($p < 0,001$), pero no registró

cambios significativos ($p > 0,05$) durante las siguientes 4 etapas.

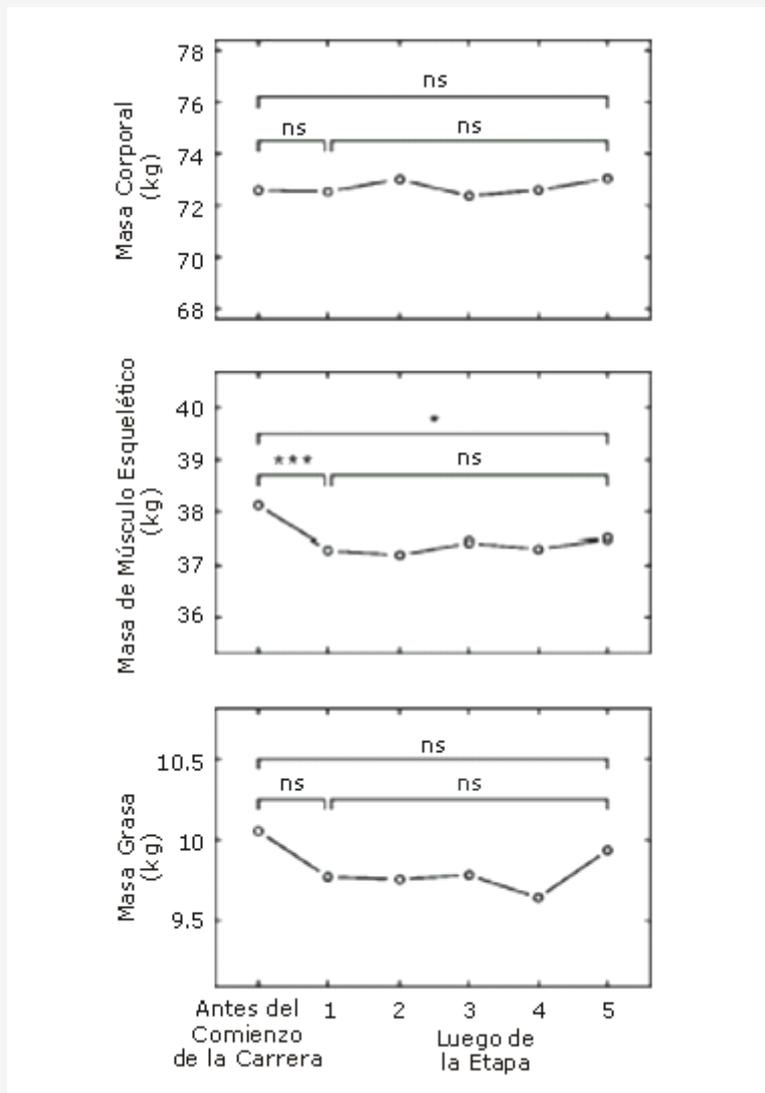


Figura 1. Valores de masa corporal, masa de músculo esquelético calculada y masa grasa calculada, obtenidos durante la competición Isarrun 2006. No se incluyeron las desviaciones estándar, porque excederían los valores de los intervalos graficados. Con el fin de que los efectos de las mediciones múltiples sean pequeños, para el análisis estadístico solo se utilizaron los datos registrados en los momentos más importantes. Las barras indican comparaciones de a pares. * y *** indican que existen diferencias significativas correspondientes a $p < 0,05$ y $p < 0,001$, respectivamente. "ns" indica que no se observaron diferencias estadísticamente significativas.

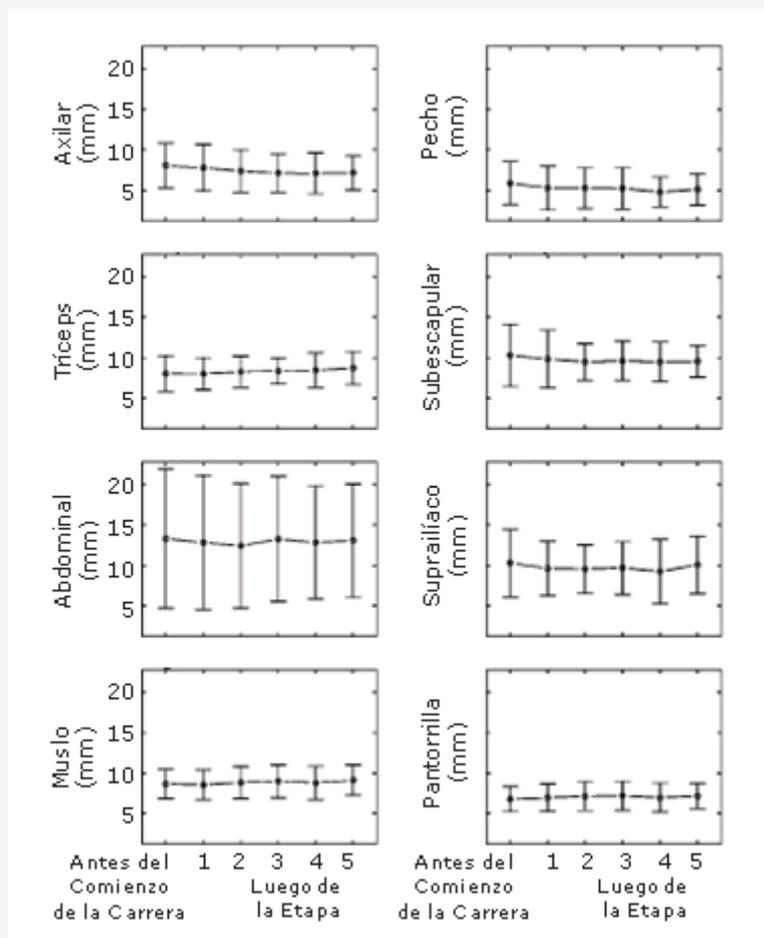


Figura 2. Grosor de los pliegues cutáneos en las diferentes regiones corporales determinado durante la competición Isarrun 2006.

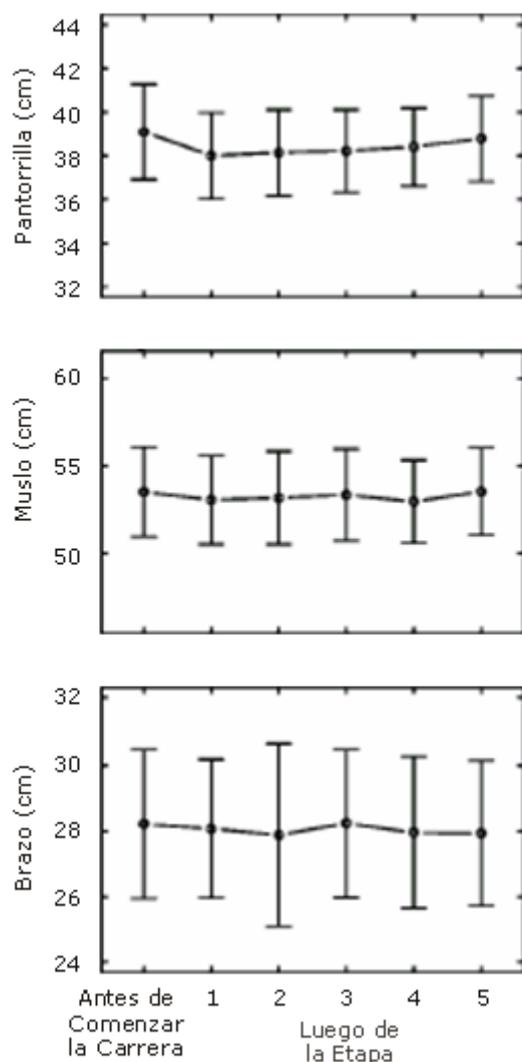


Figura 3. Datos correspondientes a la media y desviación estándar del perímetro de: pantorrilla, muslo y brazo durante la competición Isarrun 2006.

DISCUSION

El principal resultado de nuestra investigación es que una carrera de ultra-resistencia de varios días de duración provoca una disminución estadísticamente significativa de la masa de músculo esquelético, mientras que la masa corporal y la masa grasa permanecen estables. Estos resultados no coinciden con lo observado en estudios anteriores realizados en carreras de ultra-resistencia y pruebas de ultra-resistencia con descansos, en las cuales la masa corporal permaneció estable (Dressendorfer y Wade, 1991; Nagel et al., 1989; Väänänen y Vihko, 2005), la grasa corporal se redujo (Cox et al., 2003; Raschka et al., 1991; Raschka y Plath, 1992) y el músculo esquelético se mantuvo constante (Cox et al., 2003; Dressendorfer y Wade, 1991; Reynolds et al., 1999).

Disminución de la Masa Corporal durante Pruebas de Resistencia

Las carreras de ultra-resistencia de horas, días, o incluso semanas de duración sin descansos, generalmente producen una disminución en la masa corporal (Bircher et al., 2006; Helge et al., 2003; Knechtle et al., 2005; Lehmann et al., 1995; Raschka, 1995; Volk et al., 2001). La disminución de la masa corporal en éstos atletas de ultra-resistencia puede llegar a ser de aproximadamente 1,75 kg en una carrera de muchos días de 1000 km; 2 kg en una carrera de ultra-ciclismo (Bircher et al., 2006); 2 kg en un triatlón *Triple Iron* (Volk et al., 2001), 2,5 kg en una carrera de 6 días (Knechtle y

Bircher, 2005), cerca de 3,3 kg en un Triatlón *Double Iron* (Gastmann et al., 1998; Lehmann et al., 1995) o hasta de 5 kg en la Carrera a través de América (Knechtle et al., 2005).

En contraste con los resultados mencionados previamente, en los atletas que participaron en la presente carrera de ultra-resistencia con múltiples etapas no se observó disminución en la masa corporal, pero notablemente, sí se observó una disminución significativa en la masa de músculo esquelético (Figura 1). En general, el tejido adiposo subcutáneo es la principal fuente de energía para las pruebas de resistencia de larga duración (Frykman et al., 2003; Raschka y Plath, 1992) y la masa del músculo esquelético parecería mantenerse (Reynolds et al., 1999). En las pruebas de muy larga duración, puede observarse una disminución, tanto en la masa grasa corporal (Helge et al., 2003; Höchli et al., 1995; Knechtle y Bircher, 2005) como en la masa magra (Bircher et al., 2006; Helge et al., 2003; Knechtle et al., 2005; Knechtle y Bircher, 2005). En algunas situaciones, como ha sido descrito en reportes de caso o en estudios que involucraron pocos sujetos, la masa de músculo esquelético disminuye en las pruebas de ultra-resistencia (Bircher et al., 2006; Frykman et al., 2003; Helge et al., 2003).

Disminución de la Masa Grasa en Pruebas de Ultra-resistencia

En varios estudios, se observaron disminuciones de la grasa corporal durante pruebas de ultra-resistencia.

En el estudio de Helge et al., 2003, dónde 4 sujetos de sexo masculino cruzaron el casquete de hielo de Groenlandia en la modalidad esquí de fondo, la masa corporal disminuyó desde $79,2 \pm 3,9$ kg hasta $73,6 \pm 3,4$ kg; el porcentaje de grasa corporal disminuyó de $22,4 \pm 1,4\%$ a $18,2 \pm 1,1\%$ y la masa magra corporal bajó de $61,3 \pm 2,0$ kg a $60,3 \pm 2,0$ kg. En promedio, los sujetos presentaron una pérdida de masa promedio de $5,7 \pm 0,5$ kg de los cuales el $78 \pm 7\%$ era masa corporal grasa y el resto masa magra. En una carrera de 1000 km de 20 días de duración, se observó una tendencia hacia la disminución en el grosor de todos los pliegues corporales determinados y en la masa grasa; sólo se observó un aumento en el valor del pliegue cutáneo del muslo al comienzo de la carrera, pero luego disminuyó a partir del cuarto día en adelante (Raschka y Plath, 1992). Höchli y colaboradores, 1995 observaron una disminución de 10% en la grasa corporal en los corredores de la Carrera Pedestre París-Dakar de 8000 km de largo (cada corredor debía correr 600 km durante 30 días). Cox et al., 2003 demostraron en una carrera de 1049 millas de trineos tirados con perros, que la masa magra se mantuvo con una disminución concomitante en la grasa corporal. En nuestros sujetos, no se observó disminución en la masa grasa corporal, pero la masa del músculo esquelético disminuyó en $0,62 \pm 0,79$ kg (Figura 1); disminución que fue estadísticamente significativa.

Disminución de la Masa del Músculo Esquelético en Pruebas de Ultra-resistencia

La masa de músculo esquelético parece disminuir en las carreras de ultra-resistencia sin descanso, tal como se ha observado en algunos reportes de caso (Bircher et al., 2006; Knechtle et al., 2005; Knechtle y Bircher, 2005) o en un pequeño número de atletas de ultra-resistencia (Helge et al., 2003). En contraste, en otras pruebas de ultra-resistencia, la masa de músculo esquelético permaneció estable (Cox et al., 2003; Frykman et al., 2003; Reynolds et al., 1999).

En una carrera de 1000 km en 20 días, la masa muscular disminuyó inicialmente sólo de 59,3 kg a 58,9 kg en el día 11 y aumentó al final de la carrera a 59,9 kg superando al valor de la masa muscular registrado al comienzo de la carrera. Debido a la disminución en la masa muscular, todos los perímetros musculares disminuyeron a excepción del perímetro del muslo (Raschka et al., 1991).

¿La Deshidratación provoca Pérdida de Masa de Músculo Esquelético en Pruebas de Ultra-resistencia?

Un inconveniente en nuestro estudio fue el hecho de que realizamos las mediciones en los atletas inmediatamente después de que alcanzaran la línea de llegada todos los días y no pudimos determinar correctamente si estaban deshidratados o no. En todos los métodos establecidos para la valoración de la composición corporal debe considerarse que el ejercicio físico y sus efectos en el cuerpo podrían influenciar los valores de la medición, produciendo errores sistemáticos de medición. Debido a que para que el cuerpo compense la deshidratación es necesario que transcurra un período de tiempo determinado, también podría ser importante el momento en que se realice la medición de la masa corporal después de la carrera.

De modo similar a lo que ocurre con la deshidratación, el cuerpo demora cierto tiempo para compensar los efectos físicos de la carrera. Se puede plantear la hipótesis de que la pérdida de peso durante un triatlón *Ironman* se debe principalmente a la deshidratación. La prueba de resistencia provoca deshidratación, la cual a su vez produce pérdida de peso (Walsh et al., 1994). Sin embargo se ha planteado, que la pérdida de peso en un triatlón *Ironman* deriva más probablemente de fuentes diferentes a la pérdida de fluidos (Speedy et al., 2001).

Se conocen varios indicadores del nivel de hidratación, tales como el peso corporal, la osmolaridad del plasma, la osmolaridad de la orina y el peso específico de la orina (Kavouras, 2002). En condiciones de deshidratación, generalmente

se esperaría que el hematocrito aumentara (Whiting et al.1984). En contraste, las pruebas de ultra-resistencia provocan hipervolemia con hemodilución y una disminución en el hematocrito (Astrand y Saltin, 1964.; Davidson et al., 1987; Lindemann et al., 1978; Refsum et al., 1973; Wu et al., 2004). En un triatlón *Triple Iron* con 11,6 km natación, 540 km de ciclismo y 126,6 km de carrera, se observó especialmente una disminución en los valores del hematocrito desde 48 ± 4 hasta $45 \pm 3\%$ (Volk y Neumann, 2001), desde $47,6 \pm 3,0$ hasta $43,1 \pm 3,4\%$ (Volk et al., 2001) y desde 48 hasta 45% (Volk et al., 1998) antes y después de la carrera. El fenómeno de la hipervolemia con hemodilución y disminución del hematocrito se puede explicar a través de la salida de agua desde el interior de las células hacia el espacio extracelular y de una mayor ingesta de fluidos durante la prueba (Wells et al., 1987).

Pero todavía permanece sin respuesta la pregunta, si realmente se produce deshidratación durante una prueba de ultra-resistencia. Hay estudios realizados en los triatlones *Ironman* y *Triple Iron* que demuestran que los atletas sufren una pérdida de masa corporal sin deshidratación. Laursen et al., 2006 demostraron en un estudio de campo con 10 atletas de triatlón *Ironman* que la disminución estadísticamente significativa de $2,3 \pm 1,2$ kg ($-3,0 \pm 1,5$ %) de masa corporal durante la carrera no se relacionó con el peso específico de la orina. En el *Triple Iron* de Alemania 1999 en Lensahn, Volk y col., 2001 evaluaron el estado de hidratación en triatletas de ultra-resistencia, con análisis de bioimpedancia. Los autores compararon sus resultados de análisis de bioimpedancia con pruebas de laboratorio estándar (hematocrito, osmolaridad sérica y concentración de sodio en el suero). Durante el tramo de ciclismo de 540 km, el hematocrito aumentó desde $45,6 \pm 3,6$ hasta $47,6 \pm 3,0\%$, la concentración de sodio disminuyó de $142,3 \pm 1,0$ mmol/L hasta $140,4 \pm 2,3$ mmol/L, el volumen plasmático disminuyó en 5,8% y la práctica de ciclismo en condiciones de calor provocó un aumento en la pendiente y un alargamiento de los vectores en el análisis de bioimpedancia. De manera contraria, después del siguiente tramo de carrera de 126 km en condiciones de calor, el hematocrito bajó desde $47,6 \pm 3,0$ hasta $46,4 \pm 2,7\%$ ($-2,5$ %), el volumen plasmático aumentó en 18,5% y en el análisis de bioimpedancia, los vectores mostraron una acortamiento y pendiente descendiente hacia la línea de base.

Luego de la carrera, sólo la masa corporal presentó una disminución estadísticamente significativa de 2 kg. No se observaron cambios estadísticamente significativos en el hematocrito, en el contenido de sodio ni en la osmolaridad. Los autores sugieren que durante el tramo de ciclismo se produce una deshidratación involuntaria porque el atleta se encuentra solo durante la noche; pero durante el pedestrisimo, el comité de apoyo tiene más posibilidades de asistir a los atletas, por lo tanto no pudieron demostrar la deshidratación durante el triatlón *Triple Iron*.

Cambios en las Hormonas Anabólicas durante las Pruebas de Ultra-resistencia y Efecto sobre la Masa de Músculo Esquelético

Durante las pruebas de ultra-resistencia la disminución de músculo esquelético también podría estar relacionada con cambios en las hormonas anabólicas testosterona y hormona de crecimiento.

Notablemente, el efecto de estas 2 hormonas anabólicas sería diferente durante la ultra-resistencia.

Una prueba de ultra-resistencia reduce la concentración de testosterona (Bircher et al., 2006; Dressendorfer y Wade, 1991; Fournier et al., 1997; Gastmann et al., 1998), pero aumenta la concentración de la hormona del crecimiento (Gastmann et al., 1998; Scavo et al., 1991).

Probablemente la duración de la prueba de ultra-resistencia es importante para que se produzca un efecto sobre estas hormonas anabólicas. Después de una carrera de 1000 km, no se observaron cambios en la hormona del crecimiento (Pestell et al., 1989). Pero durante una carrera de ultra-resistencia de 1000 km durante 20 días, después del primer día la testosterona aumentó desde un valor de $0,33$ $\mu\text{g/dL}$, obtenido antes de la carrera, hasta un valor de $0,36$ $\mu\text{g/dL}$, pero a partir del tercer día comenzó a disminuir (Raschka et al., 1991). A partir de estos datos, podríamos suponer que la disminución de testosterona tendría un efecto sobre la masa de músculo esquelético. Pero con los resultados obtenidos en el estudio de Raschka y col., 1991, donde los atletas debían correr 50 km por día durante 20 días consecutivos, la disminución en la masa de músculo esquelético después de la primera etapa de 62 km observada en nuestro estudio (Tabla 1), no parecería estar relacionada con un cambio en la testosterona.

Determinación de la Grasa Corporal y de la Masa de Músculo Esquelético a través de Mediciones Antropométricas

Es necesario señalar que en la presente investigación, a diferencia de la masa corporal, el grosor de los pliegues cutáneos o el perímetro de los miembros, la masa del músculo esquelético y la masa grasa corporal no fueron determinadas de manera directa en personas vivas. Existen varias fórmulas para calcular la masa de músculo esquelético y la masa grasa corporal a través de las mediciones antropométricas.

Uno de los métodos más comunes para estimar la masa de músculo esquelético (Housh et al., 1995; Kuriyan et al., 2004; Lee et al., 2000) y la masa grasa corporal (Eisenmann y Malina, 2002; Hildreth et al., 1997; Housh et al., 1996) es la

determinación de los perímetros de las extremidades y el grosor de los pliegues cutáneos.

Aun cuando las mediciones antropométricas simples permiten establecer la composición corporal mucho más fácilmente que otros métodos, la precisión de este método parecería ser suficiente para determinar correctamente la masa grasa corporal. Sin embargo, el cálculo de la composición corporal a partir de las mediciones antropométricas es una estimación y no una medición directa y la pregunta que se plantea es, ¿en que condiciones este método es válido y útil?

Las mediciones antropométricas simples parecen ser suficientes para determinar la masa grasa corporal, mientras que las mediciones del grosor de los pliegues cutáneos constituyen una buena estimación de la grasa corporal (Chang et al., 1998; Housh et al., 1996; Lean et al., 1996) y el tejido adiposo subcutáneo puede ser estimado a partir de mediciones antropométricas simples (Bonora et al., 1995). Estas mediciones antropométricas sencillas parecerían ser suficientes para determinar, correctamente, la masa magra corporal.

En condiciones de campo como en el caso de esta competición, las investigaciones complejas realizadas por medio de grandes equipos de laboratorio son prácticamente imposibles. La estimación de la densidad corporal a partir de las mediciones de pliegues cutáneos tiene la ventaja de ser un procedimiento simple, de bajo costo y de validez razonable, con estimaciones dentro de 3 a 4% para el 70% de la población (Brodie, 1988). Cualquiera sea el método que se utilice para determinar la composición corporal, debe ser considerado el hecho de que el ejercicio físico y sus efectos en el cuerpo podrían influenciar los valores de la medición produciendo errores sistemáticos de medición. Si sólo se obtienen mediciones pre- y post-evento, no es posible descubrir un error sistemático. De manera contraria, una competencia de varios días, compuesta por varias etapas similares sería la condición óptima para validar los métodos de valoración de la composición corporal y estimar el efecto de ejercicio físico en el método utilizado.

En este estudio, la masa de músculo esquelético calculada disminuyó muy significativamente ($p < 0,001$) durante la primera etapa, pero durante las siguientes 4 etapas no registró ningún cambio significativo ($p > 0,05$). En el caso del % BF se observó un efecto similar, ya que se halló una tendencia de reducción durante la primera etapa, pero no se observaron cambios durante las 4 etapas siguientes. Nosotros suponemos que la pérdida aparente de masa muscular durante la primera etapa se produjo por un efecto del ejercicio físico sobre el método usado para la valoración de la composición corporal y no por una degradación "real" de masa muscular. Al igual que en la deshidratación, los atletas demoran cierto tiempo en compensar los efectos físicos de la carrera. De acuerdo a esto último, no sería ventajoso realizar la valoración de la composición corporal inmediatamente después de haber finalizado la competición, porque en ese momento es cuando se manifiestan mayormente los efectos de la misma.

Sin embargo, debido a que la recuperación de los atletas también comienza inmediatamente después de haber finalizado la carrera, es difícil distinguir entre la pérdida aparente y "real" de masa muscular. En nuestra investigación la composición corporal fue determinada al final de cada etapa todos los días de la misma manera, por lo que sería razonable pensar que el "efecto de la competición" sobre el método utilizado fue prácticamente similar durante los últimos 4 días de la competición Isarrun. No se observó degradación de masa muscular durante las 4 etapas siguientes. Esta observación indica claramente que en las condiciones dadas el período de descanso entre las etapas fue suficiente para evitar la degradación de masa muscular.

Conclusiones

Una carrera de resistencia extrema de 338 km con etapas múltiples durante 5 días, no produce cambios en la masa corporal y en la masa grasa corporal, pero produce una disminución estadísticamente significativa en la masa del músculo esquelético. Para probar que la deshidratación no produce la pérdida de masa de músculo esquelético en pruebas de ultra-resistencia, deberían realizarse estudios adicionales con mediciones antropométricas y marcadores del nivel de hidratación (indicadores hematológicos como contenido de hemoglobina y hematocrito; indicadores urinarios como osmolaridad y peso específico de la orina o análisis de bioimpedancia eléctrica).

Puntos Clave

Los corredores de ultra-resistencia de la competición Isarrun 2006 no sufrieron pérdida de masa corporal.

La masa de músculo esquelético disminuyó de manera muy significativa durante la primera etapa, pero no se observaron cambios significativos durante las 4 etapas siguientes de la competición Isarrun 2006.

La masa grasa corporal permaneció estable durante la competición Isarrun 2006.

Agradecimientos

Agradecemos a Brida Duff y Ulrich Welzel por su ayuda técnica; a Matthias Knechtle, Lausanne, Suiza, Stephen Williams,

REFERENCIAS

1. Ball, S. D., Altena, T. S. and Swan, P. D (2004). Comparison of anthropometry to DXA: a new prediction equation for men. *European Journal of Clinical Nutrition* 58, 1525-1531
2. Bircher, S., Enggist, A., Jehle, T. and Knechtle, B (2006). Effects of an extreme endurance race on energy balance and body composition □ a case study. *Journal of Sports Science and Medicine* 5, 154-162
3. Bonora, E., Micciolo, R., Ghiatas, A. A., Lancaster, J. L., Alyassin, A., Muggeo, M. and DeFronzo, R. A (1995). Is it possible to derive a reliable estimate of human visceral and subcutaneous abdominal adipose tissue from simple anthropometric measurements?. *Metabolism* 44, 1617-1625
4. Boschmann, M., Rosenbaum, M., Leibel, R.L. and Segal, K.R (2002). Metabolic and hemodynamic responses to exercise in subcutaneous adipose tissue and skeletal muscle. *International Journal of Sports Medicine* 23, 537-543
5. Brodie, D. A (1988). Techniques of measurement of body composition. Part I. *Sports Medicine* 5, 11-40
6. Chang, Y. L., Leung, S. S., Lam, W. W., Peng, X. H. and Metreweli, C (1998). Body fat estimation in children by magnetic resonance imaging, bioelectrical impedance, skin fold and body mass index: a pilot study. *Journal of Paediatrics and Child Health* 34, 22-28
7. Cox, C., Gaskill, S., Ruby, B. and Uhlig, S (2003). Case study of training, fitness, and nourishment of a dog driver during the Iditarod 1049-mile dogsled race. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 13, 286-293
8. Davidson, R. J. L., Roberston, J. D., Galea, G. and Maughan, R. J (1987). Hematological changes associated with marathon running. *International Journal of Sports Medicine* 8, 19-25
9. Dressendorfer, R. H. and Wade, C. E (1991). Effects of a 15-d race on plasma steroid levels and leg muscle fitness in runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 23, 954-958
10. Eisenmann, J. C. and Malina, R. M (2002). Age-related changes in subcutaneous adipose tissue of adolescent distance runners and association with blood lipoproteins. *Annals of Human Biology* 29, 389-397
11. Fournier, P. E., Stalder, J., Mermillod, B. and Chantraine, A (1997). Effects of a 110 kilometres ultramarathon race on plasma hormone levels. *International Journal of Sports Medicine* 18, 252-256
12. Frykman, P. N., Harman, E. A., Opstad, P. K., Hoyt, R. W. DeLany, J. P., and Friedl, K. E (2003). Effects of a 3-month endurance event on physical performance and body composition: the G2 trans-Greenland expedition. *Wilderness and Environmental Medicine* 14, 240-248
13. Helge, J. W., Lundby, C., Christensen, D. L., Langfort, J., Messonnier, L., Zacho, M., Andersen, J. L. and Saltin, B (2003). Skiing across the Greenland icecap: divergent effects on limb muscle adaptations and substrate oxidation. *The Journal of Experimental Biology* 206, 1075-1083
14. Hildreth, H. G., Johnson, R. K., Goran, M. I. and Contompasis, S. H (1997). Body composition in adults with cerebral palsy by dual-energy X-ray absorptiometry, bioelectrical impedance analysis, and skin fold anthropometry compared with the 18 O isotope-dilution technique. *American Journal of Clinical Nutrition* 66, 1435-1442
15. Housh, D. J., Housh, T. J., Weir, J. P., Weir, L. L., Johnson, G. O. and Stout, J. R (1995). Anthropometric estimation of thigh muscle cross-sectional area. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27, 784-791
16. Housh, T. J., Johnson, G. O., Housh, D. J., Eckerson, J. M. and Stout, J. R (1996). Validity of skin fold estimates of percent fat in high school female gymnasts. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 28, 1331-1335
17. Kavouras, S. A (2002). Assessing hydration status. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* 5, 519-524
18. Kimber, N. E., Ross, J. J., Mason, S. L. and Speedy, D. B (2002). Energy balance during an Ironman triathlon in male and female triathletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 12, 47-62
19. Knechtle, B. and Bircher, S (2005). Changes in body composition during an extreme endurance run. *Praxis* 94, 371-377
20. Knechtle, B., Enggist, A. and Jehle, T (2005). Energy turnover at the Race across America (RAAM) □ A case report. *International Journal of Sports Medicine* 26, 499-503
21. Kuriyan, R. and Kurpad, A. V (2004). Prediction of total body muscle mass from simple anthropometric measurements in young Indian males. *The Indian Journal of Medical Research* 119, 121-128
22. Laursen, P. B., Suriano, R., Quod, M. J., Lee, H., Abbiss, C. R., Nosaka, K., Martin, D. T. and Bishop, D (2006). Core temperature and hydration status during an Ironman triathlon. *British Journal of Sports Medicine* 40, 320-325
23. Lean, M. E., Han, T. S. and Deurenberg, P (1996). Predicting body composition by densitometry from simple anthropometric measurements. *American Journal of Clinical Nutrition* 63, 4-14
24. Lee, R. C., Wang, Z., Heo, M., Ross, R., Janssen, I. and Heymsfield, S. B (2000). Total-body skeletal muscle mass: development and cross-validation of anthropometric prediction models. *American Journal of Clinical Nutrition* 72, 796-803
25. Lehmann, M., Huonker, M. and Dimeo, F (1995). Serum amino acid concentrations in nine athletes before and after the 1993 Colmar Ultra Triathlon. *International Journal of Sports Medicine* 16, 155-159
26. Lindemann, R., Ekanger, R., Opstad, P. K., Nummestad, M. And Ljosland, R (1978). Hematological changes in normal men during prolonged severe exercise. *American Corrective Therapy Journal* 32, 107-111
27. Nagel, D., Seiler, D., Franz, H., Leitzmann, C. and Jung, K (1989). Effects of an ultra-long-distance (1000 km) race on lipid metabolism. *European Journal of Applied Physiology* 59, 16-20

28. Pestell, R. G., Hurley D. M. and Vandongen, R (1989). Biochemical and hormonal changes during a 1,000 km ultramarathon. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* 15, 353-361
29. R Development Core Team (2005). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Available from URL <http://www.R-project.org>*
30. Raschka, C (1995). Changes in body height and weight during ultra-long marathon running. *Sportverletzung Sportschaden* 9, 123-125
31. Raschka, C., Plath, M., Cerull, R., Bernhard, W., Jung, K. and Leitzmann, C (1991). The body muscle compartment and its relationship to food absorption and blood chemistry during an extreme endurance performance. *Zeitschrift für Ernährungswissenschaft* 30, 276-288
32. Raschka, C. and Plath, M (1992). Body fat compartment and its relationship to food intake and clinical chemical parameters during extreme endurance performance. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie* 40, 13-25
33. Reynolds, R. D., Lickteig, J. A., Deuster, P. A., Howard, M. P., Conway, J. M., Pietersma, A., deStoppelaar, J. and Deurenberg, P (1999). Energy metabolism increases and regional body fat decreases while regional muscle mass is spared in humans climbing Mt. Everest. *Journal of Nutrition* 129, 1307-1314
34. Scavo, D., Barletta, C., Vagiri, D. and Letizia, C (1991). Adrenocortico-tropic hormone, beta-endorphin, cortisol, growth hormone and prolactin circulating levels in nineteen athletes before and after half-marathon and marathon. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 31, 201-406
35. Sharwood, K., Collins, M., Goedecke, J., Wilson, G. and Noakes, T (2002). Weight changes, sodium levels, and performance in the South African Ironman triathlon. *Clinical Journal of Sport Medicine* 12, 391-399
36. Sharwood, K. A., Collins, M., Goedecke, J. H., Wilson, G. and Noakes, T. D (2004). Weight changes, medical complications, and performance during an Ironman triathlon. *British Journal of Sports Medicine* 38, 718-724
37. Speedy, D. B., Campbell, R., Mulligan, G., Robinson, D. J., Walker, C., Gallagher, P. and Arts, J. H (1997). Weight changes and serum sodium concentrations after an ultradistance multisport triathlon. *Clinical Journal of Sport Medicine* 7, 100-103
38. Speedy, D. B., Noakes, T. D., Kimber, N. E., Rogers, I. R., Thompson, J. M., Boswell, D. R., Ross, J. J., Campbell, R. G., Gallagher, P. G. and Kuttner, J. A (2001). Fluid balance during and after an Ironman triathlon. *Clinical Journal of Sport Medicine* 11, 44-50
39. Volk, O. and Neumann, G (1998). Metabole und muskuläre Stressparameter während eines Dreifach-Triathlons. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie* 46, 67-70
40. Volk, O. and Neumann, G (2001). Verhalten ausgewählter Aminosäuren während eines Dreifachlangtriathlons. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 52, 169-174
41. Walsh, R. M., Noakes, T. D., Hawley, J. A. and Dennis, S. C (1994). Impaired high-intensity cycling performance time at low levels of dehydration. *International Journal of Sports Medicine* 15, 392-398
42. Wells, C. L., Stern, J. R., Kohrt, W. M. and Campbell, K. D (1987). Fluid shifts with successive running and bicycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 19, 137-142
43. Whiting, P. H., Maughan, R. J. and Miller, J. D (1984). Dehydration and serum biochemical changes in marathon runners. *European Journal of Applied Physiology* 52, 183-187
44. Wu, H. J., Chen, K. T., Shee, B. W., Chang, H. C., Huang, Y. J. and Yang, R. S (2004). Effects of 24 h ultra-marathon on biochemical and haematological parameters. *World Journal of Gastroenterology* 15, 2711-2714

Cita Original

Beat Knechtle y Götz Kohler. Running 338 kilometres within five days has no effect on body mass and body fat but reduces skeletal muscle mass the Isarrun 2006. *Journal of Sports Science and Medicine*; 6, 401- 407, 2007.