

Monograph

Ausencia de Efectos de la Suplementación de Aminoácidos a Corto Plazo sobre las Variables Relacionadas con el Daño Muscular en Corredores de Ultra-Distancia de 100 km

Beat Knechtle^{1,2}, Patrizia Knechtle¹, Claudia Mrazek¹, Oliver Senn², Thomas Rosemann², Reinhard Imoberdorf³ y Peter Ballmer³

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

²Institute of General Practice and Health Services Research, University of Zurich, Zurich, Suiza

³Departement Medizin, Klinik für Innere Medizin, Kantonsspital Winterthur, Suiza.

RESUMEN

Introducción: El propósito de este estudio fue investigar el efecto de la suplementación a corto plazo de aminoácidos, sobre las variables de daño en el músculo esquelético y dolor muscular, antes y durante una ultra maratón de 100 km. Planteamos la hipótesis que la suplementación con aminoácidos antes y durante una ultra maratón produciría una reducción en las variables de daño en el músculo esquelético, una disminución en el dolor muscular y un mejor rendimiento. **Métodos:** Veintiocho corredores de ultra maratón entrenados de sexo masculino fueron divididos en dos grupos, uno que recibió suplementación con aminoácidos y otro como grupo control. El grupo que consumió los aminoácidos consumió un total de 52,5 g de un concentrado de aminoácidos antes y durante la ultra maratón de 100 km. Se determinaron los valores de creatinquinasa, urea y mioglobina antes y después de la carrera. Al mismo tiempo, se solicitó a los atletas que expresaran su sensación subjetiva del dolor muscular. **Resultados:** El tiempo de carrera no fue diferente entre los grupos cuando se realizó un control sobre el mejor tiempo personal en una ultra maratón de 100 km. Los aumentos en la creatinquinasa, urea y mioglobina no fueron diferentes en ambos grupos. La sensación subjetiva de dolor músculo-esquelético no fue diferentes entre los grupos. **Conclusiones:** Nosotros concluimos que la suplementación a corto plazo de aminoácidos antes y durante una ultra maratón de 100 km, no produjo ningún efecto sobre las variables de daño músculo- esquelético y de dolor muscular.

Palabras Clave: dolor muscular de aparición tardía (DOMS), suplemento nutricional, resistencia, pedestrismo

INTRODUCCION

Aparte de la distancia clásica de maratón de 42,195 km, en los últimos años se han publicado un número creciente de estudios de atletas que participan en ultra maratones de 100 km [1-3] o más [4-6]. Sobre la base de las grandes demandas excéntricas de estas actividades, las carreras de maratón y ultra maratón como ejercicio excéntrico, provocan lesiones en el músculo esquelético que producen un aumento en las enzimas de las células musculares como la creatinquinasa plasmática [1,4,6], urea [3, 7, 8] y mioglobina[1, 7, 9].

Se ha observado que durante el ejercicio de resistencia se produce la degradación de proteínas corporales y los aminoácidos movilizados están disponibles para mayores tasas de oxidación y gluconeogenesis durante los ejercicios de resistencia [10]. El aumento en las variables de daño músculo-esquelético durante carreras de ultra maratón podría estar asociado con la disminución en la masa del músculo esquelético tal como se ha observado en corredores de ultra maratón [2, 11, 12].

En los últimos años, varios estudios de laboratorio realizados en ciclistas informaron reducciones en las enzimas marcadoras de daño del músculo esquelético de las células musculares durante los ejercicios de resistencia y mejoras en el rendimiento después de la ingesta combinada de carbohidratos y proteínas. Se ha demostrado que el consumo de una bebida de carbohidratos y proteínas durante un ejercicio de ciclismo de alta intensidad produce un menor aumento en la creatinquinasa plasmática [13,14] y en la mioglobina [15]. En el estudio de Saunders et al. [15] los sujetos consumieron 200 mL de una bebida con carbohidratos (6%) o 500 mL de una bebida con carbohidratos más hidrolizado de caseína (6% carbohidratos + 1,8% hidrolizado de proteínas) inmediatamente antes del ejercicio y cada 5 km. En el estudio de Valentine et al [15], los participantes consumieron 250 ml de un placebo, carbohidratos (7,75%), carbohidratos más carbohidratos (9,69%) o carbohidratos más proteínas (7,76% + 1,94%) cada 15 min hasta la fatiga. La ingesta combinada de carbohidratos y proteínas mejoró el rendimiento de ciclismo [16, 17] y redujo los índices de dolor muscular [14]. La ingesta de aminoácidos antes de un ejercicio redujo tanto el dolor muscular de aparición retardada como la fatiga muscular durante varios días después del ejercicio [18]. Además, se descubrió que la suplementación con aminoácidos durante el entrenamiento evitó la proteólisis muscular inducida por el ejercicio [19].

Hasta la fecha, ningún estudio ha investigado si la suplementación con aminoácidos ejerce un efecto sobre las variables de daño músculo-esquelético y el rendimiento en corredores de ultra-resistencia que compiten en eventos que superan la distancia de la maratón clásica. Por lo tanto, nosotros planteamos el interrogante sobre si la suplementación a corto plazo de aminoácidos antes y durante una ultra-maratón de 100 km tendría efecto sobre las variables de daño del músculo esquelético en atletas de ultra-resistencia. En este estudio, nosotros planteamos la hipótesis que la suplementación de aminoácidos antes y durante una ultra-maratón produciría un menor aumento en las variables de daño músculo-esquelético, una disminución en el dolor muscular y mejoras en el rendimiento.

METODOS

Esta investigación se realizó a través de un estudio intervencional realizado a campo en la "Lauf Biel de 100 km" en Biel, Suiza. El organizador contactó a todos los participantes de la carrera en 2009 mediante una hoja informativa en el momento de la inscripción a la carrera, en la cual les pidió que participaran en el estudio. Aproximadamente 1000 corredores caucásicos varones comenzaron la carrera; un total de 30 varones, corredores de ultra-distancia participaron en esta investigación. Este estudio fue aprobado por el Comité de Revisión Institucional para las investigaciones con Seres Humanos de la Universidad de Berna, Suiza.

Sujetos

Un total de 28 atletas participaron en esta investigación. La Tabla 1 presenta los datos antropométricos de los participantes, mientras que en la Tabla 2 se muestran las variables de entrenamiento previas a la carrera. Los atletas estaban informados de los riesgos experimentales y dieron su consentimiento informado por escrito.

	Aminoácidos (n=14)	Control (n=14)
Edad (años)	42,4 (9,1)	45,1 (6,1)
Masa corporal (kg)	72,1 (6,4)	75,1 (5,6)
Talla (m)	1,74 (0,06)	1,80 (0,06)
Índice de masa corporal (kg/m ²)	23,5 (1,5)	22,9 (2,2)
Porcentaje de grasa corporal (%)	14,1 (3,0)	16,0 (4,5)

Tabla 1. Comparación de la edad y mediciones antropométricas previas a la carrera de los participantes. Los resultados se presentan en forma de media±desvío estándar. No se observaron diferencias entre los grupos.

	Aminoácidos (n=14)	Control (n=14)
Años como corredor activo	13,1 (9,4)	10,3 (8,3)
Volumen de carrera semanal promedio (km)	81,6 (21,8)	60,0 (16,2)
Volumen de carrera semanal promedio (h)	7,4 (2,3)	5,7 (2,0)
Velocidad promedio de carrera durante el entrenamiento (km/h)	10,9 (1,8)	11,2 (1,1)
Cantidad de carreras de 100 km finalizadas	5,7 (5,1) (n = 10)	2,8 (2,3) (n = 8)
Mejor tiempo personal en una carrera de 100 km (min)	601 (107)	672 (98)

Tabla 2. Comparación del entrenamiento y la experiencia de los participantes antes de la carrera. Los resultados se presentan en forma de media±desvío estándar. No se observaron diferencias entre los grupos.

Mediciones y Cálculos

Los corredores de ultra-distancia que participaron voluntariamente en esta investigación completaron un registro completo de entrenamiento, que incluía el registro de sus unidades de entrenamiento de carrera semanales, teniendo en cuenta la duración (minutos) y distancia (kilómetros), desde la inscripción al estudio hasta el comienzo de la carrera. Además, debían informar el número de carreras de 100 km que habían finalizado incluyendo su mejor tiempo personal en una ultramaratón de 100 km. El mejor tiempo personal se definió como el mejor tiempo que los atletas habían logrado en su carrera activa como un corredor de ultra-distancia.

Los atletas que estaban de acuerdo en participar fueron asignados al azar al grupo que consumió la suplementación con aminoácidos o al grupo control en el momento de inscripción al estudio. En caso de que un atleta abandonara, otro atleta ocupaba su lugar. Veintiocho de los 30 atletas esperados se presentaron a los investigadores en el lugar de la carrera, entre las 04:00 pm y 09:00 pm el 12 de junio de 2009.

Los atletas del grupo que recibió la suplementación con aminoácido recibieron, en el momento en que se realizaron las mediciones previas a la carrera, un paquete de aminoácidos pre-envasados en forma de tabletas comerciales (amino-loges®, Dr. Loges + Co. GmbH, 21423 Winsen (Luhe), Alemania). La composición del producto se presenta en la Tabla 3. Estos atletas ingirieron 12 tabletas una hora antes de la largada de la carrera y luego cuatro tabletas en cada un de las 17 estaciones de ayuda. Los corredores llevaban un total de 80 tabletas en los bolsillos de su ropa de carrera. En total, ingirieron 52,5 g de aminoácidos; 20 g eran aminoácidos de cadena ramificada. Durante la carrera, consumieron alimentos y fluidos ad limitum en las estaciones de ayuda. En cada estación de ayuda, registraron la ingesta de alimentos y fluidos. Debido a las advertencias del fabricante con respecto al elevado contenido de calcio de las tabletas placebo que, junto con la deshidratación esperada, podía ser perjudicial para la función renal de los atletas, debimos resignar el control con placebo. Por lo tanto los atletas también asignados al azar al grupo control consumieron alimentos y fluidos ad libitum y registraron su ingesta de nutrientes y fluidos pero no recibieron ninguna tableta con el placebo.

Veintiocho de los 30 atletas que esperábamos se presentaron a los investigadores, entre 04:00 pm y 09:00 pm el 12 de junio de 2009 para que se les realizaran las mediciones antropométricas previas a la carrera y se les extrajeran muestras de sangre. Al finalizar la carrera, a los 27 corredores que lograron completar la carrera, se les realizaron las mismas mediciones dentro de una hora de haber finalizado.

Aminoácidos	Por tableta (mg)	En toda la carrera (g)
L-Leucina	125	10
L-Ornitina	62,5	5
L-Isoleucina	62,5	5
L-Valina	62,5	5
L-Arginina	62,5	5
L-Colina	31,25	2,5
L-Cisteína	50	4
L-Tirosina	50	4
L-Lisina	31,25	2,5
L-Fenilalanina	31,25	2,5
L-Treonina	31,25	2,5
L-Histidina	31,25	2,5
L-Metionina	12,5	1
L-Triptofano	12,5	1

Tabla 3. Composición del suplemento de aminoácidos.

Encuestas de Sensación Subjetiva

Junto con las mediciones pre- y post-carrera se les consultó a los atletas sobre sus sensación subjetiva del dolor muscular, utilizando una escala subjetiva de 0-20, donde 0 representaba absolutamente ningún dolor muscular y 20 la mayor incomodidad subjetiva con dolor muscular. Después de la carrera, se les preguntó si habían corrido la carrera tal como lo esperaban, peor de lo que esperaban o mejor de lo esperado.

Mediciones Antropométricas

La masa corporal se determinó con una balanza comercial (*Beurer BF 15, Beurer GmbH, Ulm, Alemania*) con un nivel de apreciación de 0,1 kg. La talla corporal se midió con un estadiómetro cuyo nivel de apreciación era de 1 cm. El índice de masa corporal (kg/m²) se calculó usando la masa corporal y la talla.

El porcentaje de grasa corporal se estimó a través de la siguiente fórmula antropométrica de Ball et al.: Porcentaje de grasa corporal = $0,465 + 0,180 * (\sum 7SF) - 0,0002406 * (\sum 7SF)^2 + 0,0661 * (\text{edad})$, donde $\sum 7SF$ = la suma del grosor de los pliegues cutáneos pectoral, axilar, tríceps, sub-escapular, abdomen, suprailíaco y muslo [20]. Los valores de los pliegues cutáneos se obtuvieron con un calibre de pliegues cutáneos (*GPM-Hautfaltenmessgerat, Siber & Hegner, Zurich, Suiza*) y fueron registrados con un nivel de apreciación de 0,2 mm. Un investigador especializado realizó todas las mediciones antropométricas para eliminar la variabilidad entre evaluadores. Las mediciones de los pliegues cutáneos se realizaron una vez para los ocho pliegues cutáneos completos y luego fueron repetidas dos veces más por el mismo investigador; para el análisis se utilizó la media de las tres determinaciones. La duración de la toma de las mediciones de pliegues cutáneos fue estandarizada para asegurar la confiabilidad y las lecturas se realizaron después de 4 s siguiendo lo establecido por Becque et al [21].

Análisis de las Muestras de Sangre

Mientras los participantes permanecían sentados se extrajeron dos tubos *Sarstedt S-Monovette* (gel de suero, 7,5 ml) de sangre por punción de la una vena antecubital del brazo derecho, para el posterior análisis químico. Los *Monovettes* para el suero fueron centrifugados a 3000 g durante 10 min a 4°Celsius. Se recolectó el suero, se colocó en hielo y fue inmediatamente transportado al laboratorio para el análisis dentro de 6 horas. En el suero, se midió el contenido de urea, creatinquinasa y mioglobina con el analizador *COBAS INTEGRA® 800 (Roche, Mannheim, Alemania)*.

Estimación de la Ingesta y el Gasto Energético

Durante la carrera, los atletas consumieron comida y bebidas ad libitum e informaron su ingesta de fluidos y de sólidos en cada estación de ayuda. En estas estaciones de ayuda, los líquidos y alimentos tales como bebidas deportivas hipotónicas, té, bebidas con cafeína, agua, bananas, naranjas, barras energéticas y pan fueron preparados de una manera estandarizada, es decir los alimentos y las bebidas fueron proporcionados en porciones de tamaño estandarizado. Las tazas de bebidas se llenaron con 0,2 L; las barras de energía y las frutas fueron partidas en dos. La ingesta de fluidos y alimentos

sólidos se determinó según los informes de los atletas utilizando una tabla de alimentos [22]. El gasto de energía durante el evento se estimó utilizando la masa corporal, velocidad media y tiempo destinado a correr [23].

Análisis Estadísticos

El test de Shapiro-Wilk se utilizó para verificar la distribución normal de los datos. Los datos se presentan en forma de media y desviación estándar (Media \pm DS). Se realizaron comparaciones con tests paramétricos y no paramétricos según el caso, ambos dentro de cada grupo (comparación entre los valores pre- y post-carrera) y entre los grupos (diferencias durante la carrera entre el grupo que recibió la suplementación y el grupo control). Se aplicaron análisis de correlación para investigar el efecto de la suplementación con aminoácidos sobre las variables de daño en el músculo esquelético y cambios en las mediciones antropométricas. Además nosotros calculamos el f^2 de Cohen como un tamaño del efecto apropiado que puede ser aplicado en el contexto de regresiones múltiples para estimar la importancia relativa de las diferencias entre los dos grupos. Por convención, los tamaños del efecto f^2 iguales a 0,02, 0,15 y 0,35 se denominan pequeño, medio y grande, respectivamente [24]. En datos categóricos se utilizó el test exacto de Fischer para evaluar el efecto de la suplementación con aminoácidos sobre la estimación subjetiva del resultado de la carrera. La significancia estadística se fijó en un nivel p de dos colas <0,05 para todas las comparaciones.

RESULTADOS

Las características antropométricas obtenidas al comienzo (línea de base o condición inicial) (Tabla 1), y el entrenamiento y experiencia previos a la competencia (Tabla 2) no presentaron ninguna diferencia entre los atletas del grupo que recibió el suplemento con aminoácidos y el grupo control.

Rendimiento

Un atleta del grupo control abandonó la competencia después de 71 km debido a problemas médicos. El tiempo de finalización medio (\pm DS) de los 14 atletas en el grupo que consumió los aminoácidos fue 624,3 (79,5) minutos, mientras que los restantes 13 atletas del grupo control finalizaron en 697,8 (89,7) minutos. La diferencia media de 73,6 minutos en el tiempo de carrera entre los dos grupos fue estadísticamente significativa ($p = 0,033$). Los límites del intervalo de confianza de 95% correspondiente de la diferencia de tiempo de carrera estaban entre 6,5 min. y 140,6 min. El tiempo de carrera se asoció significativamente, con el mejor tiempo personal en una ultra-maratón de 100 km para el grupo que consumió el suplemento y el grupo control, con coeficientes de correlación de Pearson de 0,77 y 0,81 ($p < 0,05$ para ambos), respectivamente. La diferencia media correspondiente (95% CI) en el mejor tiempo personal entre los grupos fue 71,0 (-33,2 a 175,1) minutos ($p = 0,17$). Debido a las diferencias similares en tiempo de carrera y el mejor tiempo personal en una ultra-maratón de 100 km entre los dos grupos y la asociación significativa entre el tiempo de carrera y el mejor tiempo personal en una ultra-maratón de 100 km, realizamos una regresión lineal realizando un control sobre el mejor tiempo personal en una ultra-maratón de 100 km, como potencial variable de confusión para la diferencia entre tiempos de carrera de 100 km. La diferencia de tiempo de carrera media resultante (SE) de 5,5 ($\pm 28,6$) minutos dejó de ser estadísticamente significativa cuando se realizó un ajuste para el mejor tiempo personal en una ultra-maratón de 100 km.

Balance Energético e Ingesta de Fluidos

Los atletas del grupo que consumió aminoácidos, consumieron 8,5 ($\pm 3,2$) L de fluidos durante la carrera, los corredores del grupo control consumieron 7,9 ($\pm 3,5$) L ($p > 0,05$). La ingesta de energía, gasto de energía y balance de energía no fueron diferentes entre los dos grupos (Tabla 4). Los atletas en el grupo que consumió aminoácidos, ingirieron una cantidad de proteínas significativamente mayor en comparación con el grupo control. El déficit de energía se relacionó significativamente con la disminución en la masa corporal de los corredores del grupo que consumió los aminoácidos (Pearson $r = 0,7$; $p = 0,003$). El efecto adicional (f^2 de Cohen) de la suplementación con aminoácidos sobre la asociación entre la pérdida de masa corporal y el déficit de energía fue 0,018. En el grupo que consumió los aminoácidos, la masa corporal disminuyó 1,8 ($\pm 1,6$) kg y en el grupo control 1,9 ($\pm 2,0$) kg; $p > 0,05$). No se observó ninguna asociación entre el tiempo de carrera de 100 km y el cambio en la masa corporal en los dos grupos.

	Aminoácidos (n = 14)	Control (n = 13)
Gasto de energía (kcal)	7160 (844)	7485 (621)
Ingesta de energía (kcal)	3311 (1450)	2590 (1334)
Balance de energía (kcal)	- 3848 (1369)	-4894(1641)
Ingesta de carbohidratos (g)	755,7 (354,8)	608,8 (326,4)
Ingesta de proteínas (g)	79,9 (12,7) **	26,7 (22,0)
Ingesta de grasas (g)	5,1 (4,8)	7,0 (7,1)

Tabla 4. Comparación del balance energético y la ingesta de nutrientes de los participantes durante la carrera.

Los resultados se presentan en forma de media±desvío estándar. Los atletas del grupo que consumió aminoácidos ingirieron una cantidad de proteínas significativamente mas alta que los participantes del grupo control.** = $p < 0,01$.

Cambios en las Variables Séricas

Las concentraciones plasmáticas de creatinquinasa, urea y mioglobina disminuyeron significativamente en los dos grupos (Tabla 5). Los cambios pre- vs. post-carrera (Δ) no fueron diferentes entre los dos grupos. Los valores post-carrera de la creatinquinasa, urea sérica y mioglobina fueron 2637 (± 1278) %, 175 (± 32)%, y 14548 (± 8522) % superiores a los valores previos a la carrera en el grupo que consumió aminoácidos; y 2749 (± 1962)%, 168 (± 38) % y 13435 (± 10724)% en el grupo control ($p < 0,01$). Los aumentos no fueron diferentes entre los dos grupos.

	Aminoácidos (n=14)			Control (n=13)			Diferencia entre los cambios
	Pre carrera	Post carrera	Δ (post carrera - pre carrera)	Pre carrera	Post carrera	Δ (post carrera - pre carrera)	Δ aminoácido- Δ control
Creatin quinasa (U/l)	168,3 (61,7)	4582,5 (3150,3)	4414 (3107) **	157,8 (74,5)	3861,5 (2357,8)	3703 (2340) **	711 (1065)
Urea mmol/l	6,2 (1,4)	10,6 (2,1)	4,4 (1,6) **	5,9 (1,5)	9,5 (1,6)	3,6 (1,5)**	0,8 (0,6)
Mioglobina (μg/l)	50,2 (17,8)	6933 (4208)	6883 (4206) **	43,8 (13,0)	5709 (4053)	5665 (4049) **	1218 (1591)

Tabla 5. Comparación de las variaciones en las variables sanguíneas durante la carrera dentro y entre los grupos.

Los resultados se presentan en forma de Media±DS para las comparaciones dentro de los grupos y en forma de Media±ES para las comparaciones entre los grupos. * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,001$, respectivamente para las comparaciones dentro de los grupos. No se observaron diferencias significativas en la comparación del cambio (Δ) entre los dos grupos. ES= Error Estándar.

En el grupo que consumió aminoácidos, el tiempo de carrera se correlacionó positivamente con el aumento en la concentración de urea plasmática (Pearson $r = 0,56$, $p = 0,038$), lo que no se observó en el grupo control (Pearson $r = -0,30$, $p = 0,3$). El tamaño de efecto correspondiente (f^2 de Cohen) para la diferencia observada entre el tiempo de carrera y el cambio en la concentración de urea entre los dos grupos fue 0,23.

Sensación Subjetiva del Dolor Muscular y Rendimiento

En el grupo que consumió los aminoácidos, la sensación subjetiva de dolor muscular aumentó de 0,9 ($\pm 2,2$) antes de la carrera a 11,3 ($\pm 4,3$) luego de la carrera ($p < 0,05$); en el grupo control de 0,4 ($\pm 1,0$) antes de la carrera a 9,4 ($\pm 4,6$) luego de la carrera ($p < 0,05$). Los cambios entre los dos grupos no fueron diferentes. Cuando se les preguntó a los atletas, luego de la carrera, si habían completado la carrera tal como esperaban, mejor de lo que esperaban o peor de lo esperado, no se observó ninguna diferencia.

DISCUSION

En este estudio investigamos los efectos potenciales de la suplementación de corto plazo con aminoácidos sobre las variables de daño músculo-esquelético en los corredores de ultra-distancia durante una ultra-maratón de 100 km. Planteamos la hipótesis que la suplementación con aminoácidos antes y durante una ultra-maratón reduciría el incremento en las variables de daño del músculo esquelético, disminuiría la percepción subjetiva de dolor muscular y mejoraría el rendimiento en la carrera. En contraste con nuestra hipótesis, la suplementación con aminoácidos no tuvo efecto sobre las variables de daño músculo-esquelético, ni en la creatinquinasa y la mioglobina, ni en la percepción subjetiva de dolor muscular y tampoco en el rendimiento. Las posibles explicaciones para estos resultados negativos podrían estar vinculadas con el tiempo y la duración de la suplementación con aminoácidos y con el tipo de ejercicio.

Cambio en las Variables de Daño Músculo-esquelético

Planteamos la hipótesis que la suplementación con aminoácidos disminuiría los valores post-carrera de las variables de daño del músculo esquelético en comparación con los participantes del grupo control. Sin embargo no encontramos ninguna diferencia en el aumento en las concentraciones séricas de creatinquinasa, urea y mioglobina entre los dos grupos. Cockburn et al. demostraron que la creatinquinasa y la mioglobina aumentaron en menor grado después de la suplementación con proteínas obtenidas de la leche [25]. Sin embargo, estos autores midieron la creatinquinasa y la mioglobina 24 h y 48 h después del ejercicio, lo que podría explicar la diferencia en los resultados.

En maratonistas, la creatinquinasa post-carrera fue significativamente más alta entre los corredores más rápidos que en los corredores más lentos y los aumentos de creatinquinasa observados 24 horas después de la maratón estaban inversamente relacionados con los tiempos de finalización [26]. Skenderi et al. describieron 39 corredores en el Spartathlon, una ultra-maratón de 246 km que los atletas completaron en 33,3 ($\pm 0,5$) h [6]. El tiempo de finalización no se correlacionó con la concentración de creatinquinasa post-carrera, como hemos encontrado en el estudio presente.

Duración de la Suplementación con Aminoácidos

Nuestros atletas ingirieron una carga de aminoácidos de 12 g antes de la carrera y luego 4 g en cada estación de ayuda durante la ultra-maratón de 100 km. La cantidad total fue 52,5g de aminoácidos y el tiempo de suplementación estuvo entre 12 y 13 horas. Este período de tiempo podría ser demasiado corto para evidenciar un efecto de la suplementación con aminoácidos sobre el rendimiento. Períodos de suplementación con aminoácidos de dos semanas [27], cuatro semanas [28] o incluso ocho semanas [29] produjeron efectos beneficiosos en el rendimiento. Sin embargo la suplementación con aminoácidos durante un período más corto podría tener efectos positivos en las variables séricas o en el dolor muscular. Shimomura et al. demostraron que la ingesta de 5g de aminoácidos de cadena ramificada 15 minutos antes de realizar 7 series de 20 sentadillas por serie, redujo el dolor muscular de aparición retardada y fatiga muscular durante varios días después del ejercicio [18].

La duración de la suplementación también podría haber sido demasiado corta para observar un efecto en la creatinquinasa. El consumo de 12 g de aminoácidos de cadena ramificada durante siete días redujo el aumento de creatinquinasa y lactato deshidrogenasa después del rendimiento [30]. Ohtani et al., observaron una disminución en las concentraciones séricas de creatinquinasa post-ejercicio en comparación con los valores pre-ejercicio cuando los atletas ingirieron, tres veces por día, 2,2 g de una mezcla de aminoácidos durante un mes [28]. Sin embargo, existen datos, que demuestran que la ingesta de aminoácidos durante el ejercicio tiene efecto sobre las variables de daño del músculo esquelético. En un reciente estudio realizado con ciclistas masculinos desentrenados, la ingesta de aminoácidos de cadena ramificada redujo el aumento en la concentración sérica de creatinquinasa después del ejercicio [31]. Los resultados diferentes podrían ser explicados por el hecho que éstos investigadores estudiaron ciclistas desentrenados mientras que nosotros investigamos a corredores de ultra-distancia altamente entrenados y experimentados.

Dos estudios recientes observaron un mejor rendimiento cuando se ingirieron tanto proteínas como carbohidratos durante eventos de resistencia. En dos estudios de ciclistas, la ingesta combinada de carbohidratos y proteínas durante el ejercicio aumentó el rendimiento [16, 17]. En el primer estudio de Saunders et al, los sujetos consumieron una bebida con carbohidratos y proteínas con 7,3% carbohidratos y proteínas más un concentrado de 1,8% de proteínas versus una bebida que solo contenía 7,3% de carbohidratos [16]. En el segundo estudio de Saunders et al., los sujetos consumieron geles con carbohidratos o carbohidratos y proteínas, con similar contenido de carbohidratos en intervalos de 15 minutos, con 0,15g de carbohidratos kg de masa corporal⁻¹ en el grupo que consumió carbohidratos versus 0,15g de carbohidratos + 0,038g de proteínas·kg de masa corporal⁻¹ para el grupo que consumió carbohidratos más proteínas [17]. En contraste con estos resultados, cuatro estudios no demostraron aumentos en el rendimiento después de la suplementación con proteínas. En tres estudios con ciclistas [13, 32, 33] y un estudio con corredores [34], la ingesta de carbohidratos y proteínas no mejoró el rendimiento en comparación con la ingesta de carbohidratos. De acuerdo con nuestros resultados, debemos asumir que

la suplementación con proteínas durante ejercicios de resistencia no tiene efectos en el rendimiento.

Suplementación con Aminoácidos y Dolor Muscular

Nuestra hipótesis era que la sensación subjetiva del dolor muscular después de la carrera disminuiría con la ingesta de aminoácidos. En los ciclistas, la ingesta combinada de carbohidratos y proteínas durante el ejercicio produjo disminuciones significativas en el dolor muscular en comparación con la ingesta de carbohidratos solos [14]. La suplementación con aminoácidos antes y después de realizar flexiones de brazos disminuyó el dolor muscular en la etapa de la recuperación [35]. En un estudio de suplementación con aminoácidos de cadena ramificada durante el ejercicio, los índices de esfuerzo percibido de los sujetos fueron 7% más bajos cuando se administraron aminoácidos de cadena ramificada, en comparación con el control [36]. En contraste con estos resultados, la suplementación con aminoácidos no ejerció efecto en el dolor muscular en nuestros corredores de ultra-distancia. Esto podría explicarse por el hecho que nosotros estudiamos a corredores y no a ciclistas [14] y registramos la sensación subjetiva del dolor muscular inmediatamente al llegar a la línea de finalización y no en la fase de recuperación [35].

Limitaciones del Presente Estudio e Implicaciones para las Investigaciones Futuras

El hallazgo que los atletas en el grupo que consumió aminoácidos eran significativamente más rápidos en comparación con el grupo control, no se produjo por la ingesta de aminoácidos si no por la muestra del estudio. Aunque los atletas fueron asignados al azar a los dos grupos y no se encontraron diferencias estadísticamente significativas con respecto a la antropometría y experiencia pre-carrera entre los dos grupos, nosotros asumimos un potencial factor de confusión causado por el mejor tiempo personal en una ultra-maratón de 100 km. La diferencia media de 73,6 min en el tiempo de carrera entre los dos grupos fue estadísticamente significativa. Los límites de confianza de 95% correspondientes a la diferencia en el tiempo de carrera se ubicaron entre 6,5 min. y 140,6 min. El tiempo de carrera se asoció significativamente con el mejor tiempo personal en una ultra-maratón de 100 km en ambos grupos. La diferencia media correspondiente (95% CI) en el mejor tiempo personal entre los dos grupos fue 71,0 (-33,2 a 175,1) min ($p=0,17$). Debido a las diferencias medias similares en tiempo de carrera y el mejor tiempo personal en 100 km entre los dos grupos y a la asociación significativa entre el tiempo de carrera y el mejor tiempo personal en una ultra-maratón de 100 km, la regresión lineal controlada para el mejor tiempo personal en una ultra-maratón tiempo de 100 km como una potencial variable de confusión para la diferencia entre tiempos de carrera 100 km, reveló que la diferencia media resultante (SE) de tiempo de carrera de 5,5 ($\pm 28,6$) minutos dejaba de ser estadísticamente significativa cuando se realizaban ajustes para el mejor tiempo personal en una ultra-maratón de 100 km. El mejor tiempo personal demostró ser una variable importante con respecto al rendimiento en las carreras de ultra-resistencia [37]. Así, realizando ajustes sobre el mejor tiempo personal se produjo una diferencia no significativa en tiempo de carrera entre los dos grupos.

El número de atletas también podría haber afectado el resultado. Una disminución de 0,6 kg en la masa corporal parece ser relevante. En un reciente estudio realizado con varones corredores de ultra-maratón de 100 km, la masa del músculo esquelético disminuyó 0,7 kg [2]. Con respecto a la potencia estadística, deberíamos haber incluido 42 sujetos por grupo para descubrir una diferencia clínica relevante entre los grupos con una potencia de 80%. Con nuestro tamaño de muestra real, nosotros sólo alcanzamos una potencia de 60%. Sin embargo, no fue posible aumentar la muestra de atletas en condiciones de campo, dado que solo participaron voluntariamente éstos 28 ultra-maratonistas del total de atletas.

Dado que las variables de daño del músculo esquelético, como la creatinquinasa y la mioglobina, se mantienen elevadas siete días después de una maratón [38], las mismas no sólo deben medirse inmediatamente después de la carrera, si no que también en la etapa de recuperación. Probablemente la ingesta de aminoácidos durante la carrera provocaría valores de creatinquinasa y mioglobina más bajos en la etapa de recuperación.

En una carrera de ultra-resistencia de muchas etapas, la masa del músculo esquelético disminuye continuamente a lo largo de la carrera [11,12]. Probablemente, la suplementación con aminoácidos tendría efecto en las variables de daño del músculo esquelético en una carrera de muchas etapas antes que en una ultra-maratón de una sola etapa. Se ha demostrado que la administración oral de aminoácidos producía una recuperación más rápida en la fuerza muscular después del ejercicio excéntrico [39]. La ingesta de proteínas durante períodos de descanso podría mejorar la recuperación [40]. Especialmente en corredores, la ingesta combinada de carbohidratos y proteínas después de cada sesión de entrenamiento a lo largo de 6 días, redujo el aumento post-ejercicio de creatinquinasa sérica y el dolor muscular [34].

Conclusiones

La ingesta de 52,5 g de aminoácidos inmediatamente antes y durante una ultra-maratón de 100 km no ejerció ningún efecto beneficioso sobre las variables de daño del músculo esquelético, dolor muscular y rendimiento de carrera. Es posible esperar un efecto positivo de la suplementación con aminoácidos en los corredores de ultra-distancia cuando los aminoácidos o proteínas se consumen en el período de descanso durante una carrera de ultra-resistencia de muchas etapas. La recuperación podría mejorarse y podría reducirse el aumento en las variables de daño del músculo esquelético y

éstos efectos deberán ser estudiados en el futuro.

Agradecimientos

Agradecemos a Mary Miller por su ayuda en la traducción del manuscrito

Contribución de los Autores

BK diseñó el estudio y redactó el manuscrito. PK y CM realizaron los análisis de sangre y colaboraron con la redacción del manuscrito. OS realizó el análisis estadístico de los datos y colaboró en la redacción del manuscrito. TR participó en el diseño del estudio y colaboró en la redacción del manuscrito. RI y PB participaron en el análisis e interpretación de los datos y colaboraron en la preparación del manuscrito. Todos los autores leyeron y aprobaron la versión final del manuscrito.

Intereses de competencia

Los autores declaran que no poseen intereses de competencia

REFERENCIAS

1. Gerth J, Ott U, Fünfstück R, Bartsch R, Keil E, Schubert K, Hübscher J, Scheucht S, Stein G (2002). The effects of prolonged physical exercise on renal function, electrolyte balance and muscle cell breakdown. *Clinical Nephrology*, 57:425-431
2. Knechtle B, Wirth A, Knechtle P, Rosemann T (2009). Increase of total body water with decrease of body mass while running 100 km nonstop -formation of edema? . *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 80:593-603
3. Rama R, Ibáñez J, Riera M, Prats MT, Pagés T, Palacios L (1994). Hematological, electrolyte, and biochemical alterations after a 100-km run. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 19:411-420
4. Kim HJ, Lee YH, Kim CK (2007). Biomarkers of muscle and cartilage damage and inflammation during a 200 km run. *European Journal of Applied Physiology*, 99:443-447
5. Roth HJ, Leithäuser RM, Doppelmayr H, Doppelmayr M, Finkernagel H, von Duvillard SP, Korff S, Katus HA, Giannitsis E, Beneke R (2007). Cardiospecificity of the 3rd generation cardiac troponin T assay during and after a 216 km ultra-endurance marathon run in Death Valley. *Clinical Research in Cardiology*, 96:359-364
6. Skenderi KP, Kavouras SA, Anastasiou CA, Yiannakouris N, Matalas AL (2006). Exertional rhabdomyolysis during a 246-km continuous running race. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38:1054-1057
7. Reid SA, King MJ (2007). Serum biochemistry and morbidity among runners presenting for medical care after an Australian mountain ultramarathon. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 17:307-310
8. Uberoi HS, Dugal JS, Kasthuri AS, Kolhe VS, Kumar AK, Cruz SA (1991). Acute renal failure in severe exertional rhabdomyolysis. *The Journal of the Association of Physicians of India*, 39:677-679
9. Fellmann N, Sagnol M, Bedu M, Falgairette G, Van Praagh E, Gaillard G, Jouanel P, Coudert J (1988). Enzymatic and hormonal responses following a 24h endurance run and a 10 h triathlon race. *European Journal of Applied Physiology*, 57:545-553
10. Dohm GL, Tapscott EB, Kasperek GJ (1987). Protein degradation during endurance exercise and recovery. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19:S166-S171
11. Knechtle B, Kohler G (2007). 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
12. Knechtle B, Duff B, Schulze I, Kohler G (2008). A multi-stage ultra-endurance run over 1,200 km leads to a continuous accumulation of total body water. *Journal of Sports Science and Medicine*, 7:357-364
13. Romano-Ely BC, Todd MK, Saunders MJ, Laurent TS (2006). Effect of an isocaloric carbohydrate-protein-antioxidant drink on cycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38:1608-1616
14. Saunders MJ, Moore RW, Kies AK, Luden ND, Pratt CA (2009). Carbohydrate and protein hydrolysate coingestions improvement of late-exercise time-trial performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 19:136-149
15. Valentine RJ, Saunders MJ, Todd MK, St Laurent TG (2008). Influence of carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and indices of muscle disruption. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 18:363-378
16. Saunders MJ, Kane MD, Todd MK (2004). Effects of a carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and muscle damage. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36:1233-1238
17. Saunders MJ, Luden ND, Herrick JE (2007). Consumption of an oral carbohydrate-protein gel improves cycling endurance and prevents postexercise muscle damage. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21:678-684
18. Shimomura Y, Yamamoto Y, Bajotto G, Sato J, Murakami T, Shimomura N, Kobayashi H, Mawatari K (2006). Nutritional effects of branched-chain amino acids on skeletal muscle. *The Journal of Nutrition*, 136:529S-532S
19. Tang FC (2006). Influence of branched-chain amino acid supplementation on urinary protein metabolite concentrations after swimming. *Journal of the American College of Nutrition*, 25:188-194
20. Ball SD, Altena TS, Swan PD (2004). Comparison of anthropometry to DXA. a new prediction equation for men. *European Journal of Clinical Nutrition*, 58:1525-1531

21. Becque MD, Katch VL, Moffatt RJ (1986). Time course of skin-plus-fat compression in males and females. *Human Biology*, 58:33-42
22. Kirchoff E (2002). Online-Publication of the German Food Composition Table [Souci-Fachmann-Kraut] on the Internet. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15:465-472
23. Williams MH (1995). Nutrition for Fitness and Sport. *Brown & Benchmark Publishers, USA*, fourth
24. Cohen J (1988). Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. *Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey Hove and London*, second
25. Cockburn E, Hayes PR, French DN, Stevenson E, St Clair Gibson A (2008). Acute milk-based protein-CHO supplementation attenuates exercise-induced muscle damage. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33:775-783
26. Siegel AJ, Silverman LM, Lopez RE (1980). Creatine kinase elevations in marathon runners: relationship to training and competition. *The Yale Journal of Biology and Medicine*, 53:275-279
27. Skillen RA, Testa M, Applegate EA, Heiden EA, Fascetti AJ, Casazza GA (2008). Effects of an amino acid carbohydrate drink on exercise performance after consecutive-day exercise bouts. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 18:473-492
28. Ohtani M, Maruyama K, Suzuki S, Sugita M, Kobayashi K (2001). Changes in haematological parameters of athletes after receiving daily dose of a mixture of 12 amino acids for one month during the middle- and longdistance running training. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 65:348-355
29. Lehmkuhl M, Malone M, Justice B, Trone G, Pistilli E, Vinci D, Haff EE, Kilgore JL, Haff GG (2003). The effects of 8 weeks of creatine monohydrate and glutamine supplementation on body composition and performance measures. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17:425-438
30. Coombes JS, McNaughton LR (2000). Effects of branched-chain amino acid supplementation on serum creatine kinase and lactate dehydrogenase after prolonged exercise. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40:240-246
31. Greer BK, Woodard JL, White JP, Arguello EM, Haymes EM (2007). Branched-chain amino acid supplementation and indicators of muscle damage after endurance exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 17:595-607
32. Osterberg KL, Zachwieja JJ, Smith JW (2008). Carbohydrate and carbohydrate +protein for cycling time-trial performance. *Journal of Sports Sciences*, 26:227-233
33. Luden ND, Saunders MJ, Todd MK (2007). Postexercise carbohydrate-protein antioxidant ingestion decreases plasma creatine kinase and muscle soreness. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 17:109-123
34. Van Essen M, Gibala MJ (2006). Failure of protein to improve time trial performance when added to a sports drink. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38:1476-1483
35. Nosaka K, Sacco P, Mawatari K (2006). Effects of amino acid supplementation on muscle soreness and damage. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 16:620-635
36. Blomstrand E, Hassmén P, Ek S, Ekblom B, Newsholme EA (1997). Influence of ingesting a solution of branched-chain amino acids on perceived exertion during exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 159:41-49
37. Knechtle B, Knechtle P, Rosemann T, Senn O (2010). Personal best time, not anthropometry or training volume, is associated with race performance in a Triple Iron Triathlon. *Journal of Strength and Conditioning Research*
38. Lijnen P, Hespel P, Fagard R, Lysens R, Vanden Eynde E, Goris M, Goossens W, Lissens W, Amery A (1988). Indicators of cell breakdown in plasma of men during and after a marathon race. *International Journal of Sports Medicine*, 9:108-113
39. Sugita M, Ohtani M, Ishii N, Maruyama K, Kobayashi K (2003). Effect of a selected amino acid mixture on the recovery from muscle fatigue during and after eccentric contraction exercise training. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 67:372-375
40. Buckley JD, Thomson RL, Coates AM, Howe PR, Denichilo MO, Rowney MK (2010). Supplementation with a whey protein hydrolysate enhances recovery of muscle force-generating capacity following eccentric exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13:178-181

Cita Original

Knechtle B., P. Knechtle, C. Mrazek, O. Senn, T. Rosemann, R. Imoberdorf and P. Ballmer. No effect of short-term amino acid supplementation on variables related to skeletal muscle damage in 100 km ultra-runners - a randomized controlled trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*; 8: 6,2011.