

Monograph

Efectos del Nivel de Hidratación y el Entrenamiento de Sobrecarga sobre los Marcadores de Daño Muscular

Lawrence E Armstrong^{1,2,3}, William J Kraemer^{1,2}, Jeff S Volek^{1,3}, Carl M Maresh^{1,2,3}, Daniel A Judelson^{1,4}, Mark J Farrell¹, Linda M Yamamoto¹, Douglas J Casa¹ y Elaine C Lee¹

¹Human Performance Laboratory, Department of Kinesiology, University of Connecticut, Storrs, Connecticut 06269.

²Department of Physiology and Neurobiology, University of Connecticut, Storrs, Connecticut.

³Nutritional Sciences, University of Connecticut, Storrs, Connecticut.

⁴Department of Kinesiology, California State University, Fullerton, California.

RESUMEN

Está bien establecido que el entrenamiento de sobrecarga puede dañar al tejido muscular, pero los efectos combinados de la hipohidratación y el ejercicio de sobrecarga sobre el daño muscular no están claros. Dos marcadores circulantes comunes del daño muscular, la mioglobina (Mb) y la creatinquinasa (CK) pueden ser atenuados por la ingestión de fluidos después del ejercicio. El propósito de este trabajo fue estudiar el efecto combinado del entrenamiento de sobrecarga y el nivel de hidratación sobre el daño muscular. Siete hombres entrenados en sobrecarga (edad=23±4 años; masa corporal=87,8±6,8 kg; grasa corporal=11,5±5,2%) completaron 3 sesiones de entrenamiento de sobrecarga idénticas (6 series de hasta 10 repeticiones en sentadilla) con diferentes niveles de hidratación: euhidratados (HY0), hipohidratados en ~2,5% de la masa corporal (HY2,5), e hipohidratados en ~5,0% de la masa corporal (HY5). Los sujetos alcanzaron los niveles de deshidratación deseados a través de la privación controlada de agua, estrés del ejercicio-calor, e ingesta de fluidos. Tanto la Mb como la CK fueron medidas durante la condición de reposo en estado euhidratado (PRE). La Mb también fue medida inmediatamente después del ejercicio, 1 hora (+ 1H) y 2 horas (+ 2H) post-ejercicio; la CK fue medida a 24 y 48 horas post-ejercicio. La masa corporal disminuyó 0,2±0,4%, 2,4±0,4%, y 4,8±0,4% durante las condiciones HY0, HY2,5 y HY5, respectivamente. Las concentraciones de Mb se incrementaron significativamente (tamaño del efecto ≥1, p<0,05) desde la condición PRE (2,6±1,1, 3,5±2,8, y 3,2±1,6 nmol.L⁻¹), hasta + 1H (5,3±3,4, 6,8±3,2, y 7,6±2,8 nmol.L⁻¹) y +2H (5,5±3,8, 6,2±3,0, y 7,2±3,0 nmol.L⁻¹) para las condiciones HY0, HY2,5, y HY5, respectivamente, pero no fueron significativamente diferentes entre pruebas. Las concentraciones de CK permanecieron dentro del rango normal de reposo en todos los puntos de tiempo. Así, la hipohidratación no mejoró el daño muscular después del desafío que implicó el entrenamiento de sobrecarga. A pesar de estos resultados, los atletas son alentados a comenzar el ejercicio en un estado euhidratado para maximizar los beneficios hormonales, mecánicos y metabólicos endógenos.

Palabras Clave: hipohidratación, daño inducido por el ejercicio, proteínas musculares

INTRODUCCION

La creatinquinasa (CK) y la mioglobina (Mb) son dos proteínas circulantes confiables y útiles para la evaluación del daño del músculo esquelético. La CK sérica se incrementa más lentamente que las concentraciones de Mb después del ejercicio

(12), y la Mb es considerada un marcador más sensible de daño muscular (12). Normalmente, una sesión aguda de ejercicio de sobrecarga intenso, incrementa las concentraciones de CK y Mb séricas, pero sus respuestas pueden ser moduladas por el nivel de entrenamiento (5, 9, 22), el modo de ejercicio (7, 34) y la ingestión de fluidos (6, 32).

Los atletas enfocan intencionalmente su entrenamiento para mejorar la masa muscular y el rendimiento. Frecuentemente, estos atletas fallan en rehidratarse apropiadamente después del ejercicio (15, 21, 24). No sabemos como puede afectar la hipohidratación crónica el estrés mecánico y metabólico que ejerce el entrenamiento de sobrecarga y que afecta el grado de daño muscular impuesto.

El efecto del nivel de hidratación sobre el daño muscular no ha sido estudiado completamente. Greiwe et al. (16) encontraron que la deshidratación (hasta -4%) en combinación con el estrés térmico no tuvo ningún efecto significativo sobre las concentraciones de Mb, pero el ejercicio per se, no fue estudiado. Cuando el ejercicio se inició en un estado euhidratado, la ingestión de fluidos atenuó la liberación de CK y Mb post-ejercicio (6, 32). Seifert et al. (32) reportaron un incremento significativo en las concentraciones de CK y Mb después del esquí alpino sin la ingestión de fluidos respecto a la ingesta de fluidos sin calorías, lo cual sugiere que la deshidratación puede haber producido un estrés metabólico suficientemente grande para inducir daño muscular.

En la actualidad, ningún trabajo ha estudiado los efectos combinados de la hipohidratación y el ejercicio de sobrecarga sobre la liberación de CK y Mb séricas después del ejercicio. En base a investigaciones previas sobre el daño muscular y el reemplazo de fluidos durante el ejercicio, nosotros planteamos la hipótesis que indica que el entrenamiento de sobrecarga y la hipohidratación en conjunto podrían incrementar las concentraciones circulantes de CK y Mb. De este modo, el propósito de este trabajo fue estudiar los efectos del nivel de hidratación sobre estos indicadores de daño muscular luego del ejercicio de sobrecarga de alta intensidad realizado por hombres entrenados en sobrecarga.

MÉTODOS

Enfoque Experimental al Problema

Para estudiar los efectos de la hidratación y el ejercicio de sobrecarga sobre el daño muscular, los sujetos completaron 3 sesiones de ejercicio de sobrecarga idénticas en diferentes estados de hidratación: euhidratados (HY0), hipohidratados en ~2,5% de la masa corporal (HY2,5), e hipohidratados en ~5% de la masa corporal (HY5). El nivel de hidratación fue manipulado 1 día antes de la evaluación, controlando la privación de agua, el estrés del ejercicio-calor, y la ingesta de fluidos. El orden de evaluación fue aleatorio y fue completado en condiciones ambientales (21 °C). Los marcadores de daño muscular fueron medidos inmediatamente antes (PRE), e inmediatamente después del ejercicio (IP), 1 hora post- (+ 1H), 2 horas post- (+ 2H) y 24 horas post- (+ 24H) y 48 horas post-ejercicio (+ 48 H). Este estudio fue parte de una gran investigación y así impuso algunas restricciones sobre el diseño del estudio.

Sujetos

Siete hombres sanos, entrenados en fuerza [edad, 23±4 años; talla, 1,79±0,58 m; masa corporal, 87,8±6,8 kg; grasa corporal, 11,5±5,2%, valor de una repetición máxima (1RM) en sentadilla, 152±20 kg] se ofrecieron voluntariamente para este estudio.

Antes de realizar cualquier sesión de familiarización o evaluación, cada sujeto fue informado de los riesgos de la investigación y completó un consentimiento informado aprobado por el Comité de Revisión Institucional. A los sujetos se les pagó por participar en el estudio.

Familiarización

Fueron realizadas dos sesiones de evaluación preliminares, en días no consecutivos, al menos una semana antes del inicio de la evaluación experimental. Los sujetos fueron pesados en varias ocasiones en un estado postabsortivo y euhidratado, para establecer el peso de la condición inicial o *baseline*. Una muestra de orina fue analizada para osmolalidad (U_{OSM}) por medio de la disminución del punto de congelamiento (Model 3250, Advanced Instruments, Inc., Norwood, MA) y la densidad relativa (U_{SG}) fue valorada por refractometría (A300CL-E01, Atago, Tokio, Japón) para documentar la euhidratación en todos los días preliminares; una $U_{SG} \leq 1,020$ fue definida como una condición de euhidratación (1).

Durante la primera sesión de familiarización, el valor de 1RM en sentadilla de los sujetos fue determinado usando una máquina Smith modificada (LifeFitness, Schiller Park, IL). Los sujetos hicieron una entrada en calor en una bicicleta ergométrica (Model 818E; Monark, Estocolmo, Suecia) durante 10 minutos, y luego realizaron estiramientos activos y

pasivos.

Luego, los sujetos completaron 1 serie de 5-10 repeticiones en sentadilla con aproximadamente el 50% de su 1RM estimada, seguido de descanso y una segunda entrada en calor de 3-5 repeticiones con ~ 75% de 1RM. El valor de una repetición máxima fue establecido con una repetición en la que se iba incrementando el peso con un mínimo de 3 min de descanso entre los intentos, hasta que el peso máximo era correctamente levantado. La repetición máxima (1 RM) era alcanzada dentro de 3-5 levantamientos, y la profundidad de la sentadilla era alcanzada cuando el fémur estaba paralelo al suelo (23).

En el segundo día de familiarización, los sujetos completaron una evaluación a través de un ejercicio de sobrecarga de alta intensidad (REC). El REC consistía de 6 series de sentadilla paralela al 80% del valor de 1RM predeterminado para el sujeto con 2 minutos de pausa entre series. Los sujetos intentaron completar 10 repeticiones por serie. Si un sujeto no era capaz de completar 10 repeticiones, se detenía en el agotamiento, pero todavía intentaba completar las series restantes. El número total de repeticiones completadas durante estas 6 series sirvió como estándar para todos los experimentos subsiguientes de valoración.

Prueba Experimental

Cada experimento duró 4 días e incluyó un día de deshidratación, un día de ejercicio, y evaluaciones post-ejercicio a las 24 y 48 horas.

Día 1

En la mañana del primer día de la prueba experimental (DHY), los sujetos llegaron después de un ayuno de 12 y fueron hidratados para realizar una extracción sanguínea, una muestra de orina y una valoración de la masa corporal en la condición inicial. Los sujetos fueron luego instruidos para consumir alimentos con poca humedad y abstenerse de ingerir líquidos por el resto del día.

Los sujetos regresaron al laboratorio durante la tarde de DHY para realizar el protocolo de deshidratación.

Para esto, los sujetos caminaron en una cinta rodante motorizada a 3,4 millas.h⁻¹ y con una inclinación de 2% en una cámara con ambiente controlado [37 °C, humedad relativa de 40-50%, (Model 2000, Minus Eleven, Inc., Malden, MA)]. Cada 20 minutos fueron monitoreados el peso corporal mientras los sujetos estaban desnudos, la frecuencia cardíaca (Vantage, Polar Electro, Woodbury, NY), la temperatura rectal (información de un termistor) y el índice de esfuerzo percibido (3). Los sujetos caminaron hasta que (a) tuvieran una pérdida de 5% de su peso corporal de la mañana, (b) alcanzaran los criterios preestablecidos de seguridad, (c) presentaron signos o síntomas de enfermedad por calor inducida por el ejercicio o (d) pidieran detenerse debido a la fatiga inducida por el ejercicio.

Después de la deshidratación, los sujetos se sentaron confortablemente y se les proporcionaron fluidos, mitad en forma oral y mitad de forma intravenosa (1 L.h⁻¹ por medio de cada vía), para hacerlos regresar a un nivel de hidratación apropiado (HY0, HY2,5, HY5). El fluido oral consistió de una bebida sin calorías, saborizada, con electrolitos y el fluido intravenoso fue una solución salina normal (0,9% de NaCl).

Luego del reemplazo de fluidos, los sujetos consumieron una comida alta en calorías y rica en carbohidratos (CHO) (13 kcal.kg⁻¹ de peso corporal y 2,25 g de CHO.kg⁻¹ de peso corporal; Classic Hand-Tossed Cheese Pizza, Domino's Pizza, Ann Arbor, MI). Después de esto, los sujetos fueron instruidos para no comer, beber, o realizar ejercicio antes de regresar al laboratorio la mañana siguiente.

Día 2

Los sujetos regresaron al laboratorio temprano a la mañana siguiente. Luego del arribo, fueron pesados y se les tomó una muestra de orina para verificar el nivel de hidratación. Una cánula calibre 20 de Teflón fue insertada en una vena antecubital, la cual mantenida abierta con solución salina normal y heparina (9:1).

Luego de entrar en calor, los sujetos completaron el protocolo REC y luego descansaron cómodamente en una silla durante 2 horas después del ejercicio.

Fueron extraídas muestras sanguíneas en las condiciones PRE, IP, +1H, +2H. Luego de la extracción sanguínea +1H, a los sujetos se les permitió comer y beber ad libitum.

Días 3 y 4

Los sujetos se reportaron al laboratorio en la mañana de los dos días que seguían al protocolo de ejercicio (+ 24H, + 48H);

fueron tomadas muestras sanguíneas con una aguja mariposa calibre 20. Los sujetos se abstuvieron de realizar ejercicio hasta que se les realizara la extracción sanguínea correspondiente al segundo día de evaluación. Para asegurar que se produjera la rehidratación, se les pidió que consumieran fluidos extra estos 2 días.

Análisis Sanguíneos

Fueron realizados análisis sanguíneos en tubos vacíos o tratados con ácido etilendiaminotetraacético (Vacutainer; Becton Dickinson, Franklin Lakes, NJ) en DHY, PRE, IP, + 1H, + 24 H, y + 48 H. El hematocrito fue determinado en triplicado usando una técnica microcapilar, y la hemoglobina (Hb) fue medida en duplicado (Hb 201+; HemoCue, Ängelholm, Suecia) para determinar el porcentaje de cambio en el volumen plasmático (10). Lo que quedaba de sangre entera fue centrifugada a 1500 g durante 15 min a 4 °C. En una alícuota de plasma fue inmediatamente valorada la osmolaridad (P_{OSM}) en duplicado a través de la disminución del punto de congelamiento (3DII; Advanced Digimatic, Needham Heights, MA). El suero fue dividido en alícuotas y congelado (-80°C) para los análisis subsiguientes en duplicado de lactato (HLA), utilizando una técnica enzimática (Model 2300, Yellow Springs Inc., Yellow Springs, OH), Mb (Diagnostic Automation Inc., Calabasas, CA) y CK (Diagnostic Chemicals Ltd, Oxford, CT), a 340 nm en un espectrofotómetro (Biomate; ThermoSpectronic, Rochester, NY). Los coeficientes de variación intraensayo para HLa, Mb, y CK fueron 0,6%, 8,3% y 1,4%, respectivamente.

Análisis Estadísticos

Los datos son presentados como valores medios \pm DS. Los datos fueron analizados con análisis de varianza para mediciones repetidas (tratamiento x tiempo).

Cuando fue apropiado, fue usado un test post hoc de Fisher para determinar diferencias específicas de a pares. El nivel de significancia fue establecido a un nivel $p \leq 0,05$.

RESULTADOS

Los índices de hidratación (masa corporal, U_{SG} , U_{OSM} , P_{OSM}) verificaron que se alcanzaron los niveles de hidratación apropiados para cada prueba. La masa corporal de los sujetos disminuyó (DHY hasta PRE) en un $0,2 \pm 0,1\%$, $2,4 \pm 0,1\%$, y $4,8 \pm 0,1\%$ para las pruebas HY0, HY2,5, y HY5, respectivamente. La U_{SG} fue $<1,020$ para todas las pruebas. La hipohidratación luego de la rehidratación provocó una U_{SG} significativamente mayor en las pruebas HY2,5 ($1,025 \pm 0,001$) y HY5 ($1,027 \pm 0,001$) que en la HY0 ($1,019 \pm 0,001$) y estas diferencias fueron mantenidas durante la noche hasta la condición PRE (HY0= $1,020 \pm 0,001$), HY2,5= $1,026 \pm 0,001$, HY5= $1,027 \pm 0,001$). No se encontraron diferencias entre HY2,5 y HY5.

La U_{OSM} en la condición inicial fue <800 mOsm.kg⁻¹ para todas las pruebas. De manera similar a la U_{SG} , la hipohidratación luego de la rehidratación causó una U_{OSM} significativamente mayor durante las pruebas HY (HY2,5= 926 ± 16 , HY5= 972 ± 10 mOsm.kg⁻¹) que HY0 (780 ± 10 mOsm.kg⁻¹) y estas diferencias significativas persistieron durante la noche hasta PRE (HY0= 887 ± 15 , HY2,5= 1031 ± 13 , HY5= 1067 ± 14 mOsm.kg⁻¹). No se encontraron diferencias significativas entre las condiciones HY2,5 y HY5. La Tabla 1 muestra el ΔP_{OSM} y el cambio porcentual en el volumen plasmático para las pruebas. Los resultados no cambiaron cuando las variables seleccionadas fueron corregidas para el cambio en el volumen plasmático; de este modo, los datos son presentados como valores no corregidos.

Los valores de HLa (Tabla 2) se elevaron en forma significativa después del ejercicio, pero no difirieron entre las pruebas.

Tiempo de la Prueba	ΔP_{OSM} (mOsm.kg ⁻¹)	ΔPV (%)
HY0		
PRE	5±0,6 *	
IP	19±0,7 *	-22,2±0,4
+ 1H	8±0,9 *	-0,1±0,5
HY2,5		
PRE	9±0,6 *	
IP	24±0,7 *	-21,2±0,5
+ 1H	11±0,6 *	-0,4±0,7
HY5		
PRE	14±0,4 *	
IP	29±0,7 *	-18,3±0,8
+ 1H	16±0,6 *	-1,2±0,8

Tabla 1. Índices de hidratación. Los datos son presentados como valores medios±DS. ΔP_{OSM} , cambio en la osmolalidad plasmática respecto a las mediciones de la condición inicial; ΔPV , cambio en el volumen plasmático respecto a la condición pre-ejercicio; HY0, estado euhidratado; PRE, pre-ejercicio; IP, inmediatamente post-ejercicio; + 1H, 1 hora post-ejercicio; HY2,5, condición de hipohidratación en ~2,5% de la masa corporal; HY5, condición de hipohidratación en ~5% de la masa corporal. * Diferencias significativa entre pruebas.

Prueba	Lactato (mmol.L ⁻¹)		
	PRE	IP	+ 1H
HY0	1,7±0,1	13,4±0,5	3,6±0,1
HY2,5	1,4±0,1 *	14,6±0,4	3,5±0,1
HY5	1,6±0,1	15,3±0,4	3,1±0,1

Tabla 2. Respuestas del lactato a la hipohidratación y al ejercicio de sobrecarga. Los datos son presentados como valores medios±desvío estándar. PRE, pre-ejercicio; IP, inmediatamente post-ejercicio; + 1H, 1 hora post-ejercicio; HY0, condición de euhidratación; HY2,5, condición de hipohidratación en ~2,5% de la masa corporal; HY5, condición de hipohidratación en ~5% de la masa corporal. * Diferencias significativas entre las condiciones HY2,5 y HY0.

La Figura 1 muestra la respuesta de la Mb a la hipohidratación y al ejercicio de sobrecarga. En las condiciones +1H, y + 2H, los valores de Mb estuvieron significativamente elevados por encima de los correspondientes valores PRE para todas las pruebas. La Mb no fue estadísticamente diferente entre las pruebas. No fueron encontradas diferencias significativas en CK a través del tiempo o en respuesta al nivel de hidratación (Figura 2). El trabajo total completado entre pruebas fue el mismo (Figura 3), con ligeras diferencias atribuidas a la profundidad de la sentadilla.

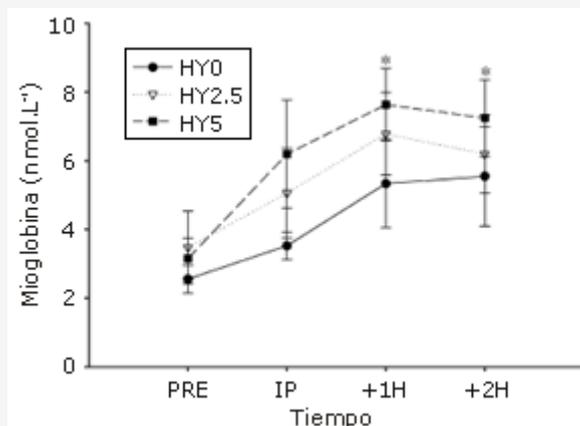


Figura 1. Respuestas de la mioglobina al ejercicio de sobrecarga en sujetos euhidratados e hipohidratados. Los datos son presentados

como valores medios \pm desvío estándar. * Diferencias significativas en todas las pruebas en comparación a los valores pre-ejercicio correspondientes. HY0, condición de euhidratación; HY2,5, condición de hipohidratación en ~2,5% de la masa corporal; HY5, condición de hipohidratación en ~5% de la masa corporal; PRE, pre-ejercicio; IP, inmediatamente post-ejercicio; + 1H, 1 hora post-ejercicio; + 2H, 2 horas post-ejercicio.

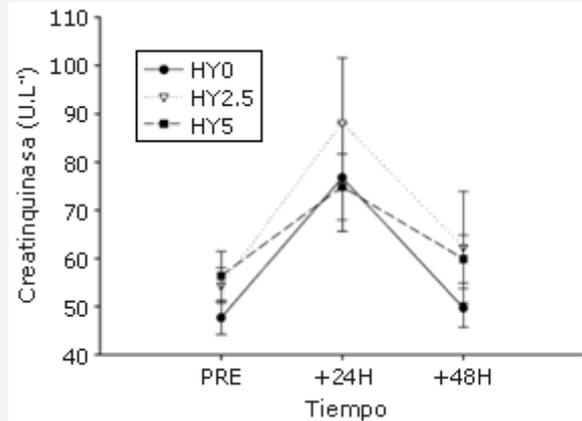


Figura 2. Respuesta de la creatinquinasa al ejercicio de sobrecarga en los sujetos euhidratados y deshidratados. Los datos son presentados como valores medios \pm desvío estándar. HY0, condición de euhidratación; HY2,5, condición de hipohidratación en ~2,5% de la masa corporal; HY5, condición de hipohidratación en ~5% de la masa corporal; PRE, pre-ejercicio; IP, inmediatamente post-ejercicio; + 24 H, 24 hora post-ejercicio; + 48H, 48 horas post-ejercicio.

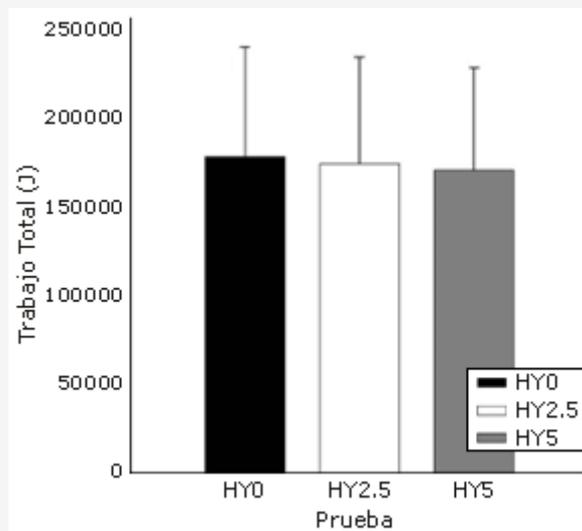


Figura 3. Trabajo total completado durante la evaluación en el ejercicio de sobrecarga en los diferentes tratamientos. Los datos son presentados como valores medios \pm desvío estándar. HY0, condición de euhidratación; HY2,5, condición de hipohidratación en ~2,5% de la masa corporal; HY5, condición de hipohidratación en ~5% de la masa corporal.

El tamaño del efecto (ES) fue calculado para las mediciones de Mb y CK. El ES de la Mb fue grande entre los valores PRE y + 1H y + 2H para todas las pruebas (Tabla 3). El ES de la CK fue grande entre los valores PRE y + 24 H (Tabla 3). El valor de ES grande corresponde a cambios significativos en las concentraciones de Mb y CK. La escala para determinar la magnitud del ES fue una escala de Cohen (29) modificada, la cual reflejó mejor los datos obtenidos a partir de investigaciones de fuerza y acondicionamiento.

Tiempo de la Prueba	ES de Mb	ES de CK	Magnitud (29)
HY0			
IP	0,90		Moderada
+ 1H	2,57		Grande
+ 2H	2,76		Grande
+ 24H		3,160	Grande
+ 48H		0,220	Trivial
HY2,5			
IP	0,57		Moderada
+ 1H	1,18		Grande
+ 2H	0,97		Grande
+ 24H		3,42	Grande
+ 48H		0,81	Moderada
HY5			
IP	1,91		Grande
+ 1H	2,81		Grande
+ 2H	2,56		Grande
+ 24H		1,37	Grande
+ 48H		0,26	Pequeña

Tabla 3. Tamaño del efecto respecto a la condición pre-ejercicio. Los datos son presentados como valores medios \pm desvío estándar. HY0, condición de euhidratación; IP, inmediatamente post-ejercicio; + 1H, 1 hora post-ejercicio; + 2H, 2 horas post-ejercicio; + 24H, 24 horas post-ejercicio; + 48H, 48 horas post-ejercicio; HY2,5, condición de hipohidratación en \sim 2,5% de la masa corporal; HY5, condición de hipohidratación en \sim 5% de la masa corporal; PRE, pre-ejercicio.

Ejercicio	Mb (nmol.L ⁻¹)	CK (U. L ⁻¹)
Fútbol americano (18)	5,9	160
Fútbol (30)	7,3	15
Entrenamiento de la fuerza (28)	7,3	636
Sentadilla - 5 x 15-20 con el 50% de 1 RM (34)	6,7	483

Tabla 4. Daño muscular después de diferentes actividades en sujetos entrenados en sobrecarga. Mb, mioglobina, CK, creatinquinasa, 1 RM, 1 repetición máxima.

DISCUSION

En oposición a nuestra hipótesis, el hallazgo principal de esta investigación indica que el daño muscular, valorado mediante las mediciones de Mb y CK, en respuesta al ejercicio intenso no fue afectado por los niveles bajos a moderados de hipohidratación en sujetos entrenados en sobrecarga. Los atletas pueden dañar el tejido muscular durante el transcurso del entrenamiento y la competición (18, 20). Además, muchos de estos atletas no restituyen adecuadamente la pérdida de fluidos durante el ejercicio (15, 21, 24).

Nuestros resultados sugieren que sin tener en cuenta el nivel de hidratación, los atletas no sufrieron un daño muscular adicional en respuesta al REC.

Trabajos previos estudiaron el rol de la ingesta de fluidos sobre el daño muscular (6, 32), sin embargo, estos trabajos no estudiaron el rol del nivel de hidratación per se sobre el daño muscular. Debido a que en estos estudios no fueron proporcionados indicadores del nivel de hidratación post-ejercicio, no fue posible especular respecto al grado de deshidratación que experimentaron, y si esto implicó alguna alteración, o como puede alterar las respuestas de la Mb y CK. En el presente estudio, los sujetos comenzaron el ejercicio tanto en un estado euhidratado como en dos estados hipohidratados diferentes. El grado de daño muscular producido no fue significativamente diferente entre las pruebas. De este modo, parece que la hipohidratación no contribuye al daño muscular resultante a partir de una sesión de ejercicio de sobrecarga, aunque los datos fueron presentados en sí mismos de un modo escalonado consistente con el nivel de hidratación.

Aunque la intensidad del ejercicio fue suficiente para estimular el incremento en las concentraciones séricas de Mb en las condiciones + 1H, y +2H, las concentraciones de CK permanecieron estables. Una sesión de ejercicio que es capaz de estimular la liberación de Mb, puede no ser suficiente para estimular la liberación de CK (12, 14, 30), especialmente en sujetos entrenados (5, 9, 22); además, la liberación de CK sola puede no representar daño muscular. Normalmente, las concentraciones de CK hacen un pico a los 4-6 días después del ejercicio (5, 8, 34). Teniendo en cuenta que este estudio fue parte de una investigación más grande, a los sujetos se les requirió que se ejercitaran entre las dos pruebas para mantener el nivel de entrenamiento. De este modo, la toma de una muestra de CK 48 horas post-ejercicio no fue posible, pero el incremento es frecuentemente notado para este momento (34). La Figura 2 muestra que las concentraciones de CK, aunque no se incrementaron significativamente, alcanzaron un pico en la condición + 24 H. A pesar de la alta intensidad del REC, las concentraciones de CK permanecieron dentro de los valores fisiológicos normales de reposo en todos los puntos de tiempo (36). La mayoría de los estudios encontraron incrementos significativos en las concentraciones de CK después de protocolos de ejercicio igual de demandantes, sin tener en cuenta el nivel de entrenamiento (9, 11, 34). Clarkson et al. (4) encontraron que el grado de daño muscular incurrido en los individuos fue determinado por polimorfismos genéticos en la quinasa de la cadena de miosina liviana. En el presente estudio no fueron analizados los polimorfismos asociados con el incremento de la Mb y CK después del ejercicio, lo cual sugiere que la genética, además del nivel de entrenamiento, puede jugar un importante rol en el grado de daño muscular sostenido.

No fueron encontradas diferencias significativas entre pruebas para las concentraciones de Mb o CK a pesar de las alteraciones significativas en el nivel de hidratación. En uno de los pocos trabajos que estudió el rol de la hidratación y el daño muscular, Clarkson et al. (6) usaron un diseño de daño muscular aislado y encontraron la ingestión de fluido que es necesaria para mantener estable a la CK. De manera similar, después de + 1H, los sujetos en este estudio ingirieron ad libitum e incrementaron la ingestión de fluido hasta que recuperaron un estado de euhidratación. La ingestión de fluidos puede haber afectado las concentraciones de proteínas musculares séricas, lo cual fue indicado por la disminución en la condición +2H de las concentraciones de Mb séricas y la falta de cambio en las concentraciones séricas de CK.

El daño muscular ocurre a través de mecanismos mecánicos y metabólicos (14). Un posible mecanismo para el daño muscular en este estudio podría haber sido el incremento de la glucogenólisis, debido a la disminución en la ingesta de fluidos en las pruebas HY2,5 y HY5, lo cual creó un mayor estrés fisiológico sobre el músculo (13, 17). Los mecanismos mecánicos probablemente produjeron la mayor contribución al daño muscular incurrido. Fue evidente que las contracciones excéntricas en el REC indujeron daño muscular suficiente para liberar Mb, pero debido al nivel de entrenamiento de los sujetos, el estímulo no fue lo suficientemente grande alterar la permeabilidad de la membrana para que libere una molécula relativamente grande como la CK (80 kD).

Teniendo en cuenta que las membranas celulares están compuestas por una bicapa fosfolipídica anhidra (33), es improbable que la integridad estructural fuera comprometida, ya sea por la deshidratación o hipohidratación. Como resultado de esto, el daño muscular inducido (i.e., elevación de las concentraciones de Mb) fue atribuido solo al protocolo de sentadilla, y no a, o junto con, el nivel de hidratación. Fue altamente probable que la combinación del estrés por calor y el ejercicio para el protocolo de deshidratación el día anterior al REC tuviera un impacto sobre las concentraciones de proteínas musculares, ya que Greiwe et al. (16), determinaron que el estrés por calor y la deshidratación no resultaron en daño muscular.

En conclusión, la hipohidratación, aunque es perjudicial para el rendimiento, no afecta la magnitud del daño muscular como consecuencia del entrenamiento de sobrecarga en sujetos entrenados.

Se podría obtener más información investigando los efectos de la hipohidratación sobre el daño muscular inducido por el entrenamiento de sobrecarga sobre respondedores genéticos identificados al daño muscular tanto en sujetos adaptados como no adaptados al entrenamiento de sobrecarga.

Aplicaciones Prácticas

Los sujetos que realizan ejercicio restituyen solo aproximadamente el 70% de su pérdida de agua neta durante el ejercicio (15, 21), lo cual sugiere que muchos atletas pueden estar crónicamente hipohidratados (2-3%). En el presente estudio, la hipohidratación no alteró significativamente el grado de daño muscular sostenido durante una sesión aguda de entrenamiento de sobrecarga. De forma importante, la CK circulante permaneció dentro de los niveles normales después del ejercicio de sobrecarga de alta intensidad para las tres pruebas; sin embargo, los datos se presentaron en sí mismos de un modo escalonado, consistente con el grado de hipohidratación. El daño muscular resultante a partir del REC es similar a los valores observados en sujetos entrenados en diferentes deportes (Tabla 4); los valores representan la mayor medición post-ejercicio de Mb y CK en cada estudio.

La hipohidratación a niveles moderados (1-5%) ha afectado consistentemente el rendimiento de fuerza (31, 35), la temperatura del centro del cuerpo (2, 27), y el perfil hormonal (19, 25, 26). Nosotros aconsejamos a los atletas para que inicien el ejercicio en un estado de euhidratación para maximizar los beneficios hormonales, mecánicos, y metabólicos

endógenos del entrenamiento de sobrecarga y minimizar los potencial de que se produzca daño muscular.

Dirección para Envío de Correspondencia

Dr. Carl M. Maresh, carl.maresh@uconn.edu.

Agradecimientos

Los autores agradecen al dedicado grupo de hombres que sirvieron como sujetos para este demandante proyecto de investigación. Además, agradecen la ayuda técnica invaluable de Disa Hatfield, Barry Spiering, y Jacob Vingren.

REFERENCIAS

1. Armstrong L., Maresh C., Castellani J., Bergeron M., Kenefick R., LaGasse K. and Riebe D (1994). Urinary indices of hydration status. *Int J Sport Nutr* 4: 265-279
2. Armstrong L. E., Whittlesey M. J., Casa D. J., Elliott T. A., Kavouras S. A., Keith N. R. and Maresh C. M (2006). No effect of 5% hypohydration on running economy of competitive runners at 23 degrees C. *Med Sci Sports Exerc* 38: 1762-1769
3. Borg G (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med* 2: 92-98
4. Clarkson P., Hoffman E., Zambraski E., Gordish-Dressman H., Kearns A., Hubal M., Harmon B. and Devaney J (2005). ACTN3 and MLCK genotype associations with exertional muscle damage. *J Appl Physiol* 99: 564-569
5. Clarkson P. and Hubal M (2002). Exercise-induced muscle damage in humans. *Am J Phys Med Rehabil* 81: S52-S69
6. Clarkson P., Kearns A., Rouzier P., Rubin R. and Thompson P (2006). Serum creatine kinase levels and renal function measures in exertional muscle damage. *Med Sci Sports Exerc* 38: 623-627
7. Clarkson P., Kroll W., Graves J. and Record W (1982). The relationship of serum creatine kinase, fiber type, and isometric exercise. *Int J Sports Med* 3: 145-148
8. Clarkson P., Nosaka K. and Braun B (1992). Muscle function after exercise induced muscle damage and rapid adaptation. *Med Sci Sports Exerc* 24: 512-520
9. Clarkson P and Tremblay I (1988). Exercise-induced muscle damage, repair, and adaptation in humans. *J Appl Physiol* 65: 1-6
10. Dill D. and Costill D (1974). Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J Appl Physiol* 37: 247-248
11. Dolezal B., Potteiger J., Jacobsen D. and Benedict S (2000). Muscle damage and resting metabolic rate after acute resistance exercise with an eccentric overload. *Med Sci Sports Exerc* 32: 1202-1207
12. Gonzalez-Alonso J., Calbet J. A. and Nielsen B (1999). Metabolic and thermodynamic responses to dehydration-induced reductions in muscle blood flow in exercising humans. *J Physiol* 520: 577-589
13. Goodman C., Henry G., Dawson B., Gillam I., Beilby J., Ching S., Fabian V., Dasig D., Kakulas B. and Moring P (1997). Biochemical and ultrastructural indices of muscle damage after a twenty-one kilometre run. *Aust J Sci Med Sport* 29: 95-98
14. Greenleaf J. and Sargent F (1965). Voluntary dehydration in man. *J Appl Physiol* 20: 719-724
15. Greiwe J., Staffey K., Melrose D., Narve M. and Knowlton R (1998). Effects of dehydration on isometric muscular strength and endurance. *Med Sci Sports Exerc* 30: 284-288
16. Hargreaves M., Dillo P., Angus D. and Febbraio M (1996). Effect of fluid ingestion on muscle metabolism during prolonged exercise. *J Appl Physiol* 80: 363-366
17. Hoffman J. R., Maresh C. M., Armstrong L. E., Gabaree C. L., Bergeron M. F., Kenefick R. W., Castellani J. W., Ahlquist L. E. and Ward A (1994). Effects of hydration state on plasma testosterone, cortisol and catecholamine concentrations before and during mild exercise at elevated temperature. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 69: 294-300
18. Hubbard R., Sandick B., Matthew W., Francesconi R., Sampson J., Durkot M., Maller O. and Engell D (1984). Voluntary dehydration and alliesthesia for water. *J Appl Physiol* 57: 868-873
19. Koutedakis Y., Raafat A., Sharp N., Rosmarin M., Beard M. and Robbins S (1993). Serum enzyme activities in individuals with different levels of physical fitness. *J Sports Med Phys Fitness* 33: 252-257
20. Kraemer W., Ratamess N., Fry A. and French D (2006). Strength testing: development and evaluation of methodology. In: Physiological Assessment of Human Fitness. P. Maud and C. Foster (eds.). Champaign, IL: Human Kinetics
21. Maresh C. M., Bergeron M. F., Kenefick R. W., Castellani J. W., Hoffman J. R. and Armstrong L. E (2001). Effect of overhydration on time-trial swim performance. *J Strength Cond Res* 15: 514-518
22. Maresh C. M., Gabaree-Boulant C. L., Armstrong L. E., Judelson D. A., Hoffman J. R., Castellani J. W., Kenefick R. W., Bergeron M. F. and Casa D. J (2004). Effect of hydration status on thirst, drinking, and related hormonal responses during low-intensity exercise in the heat. *J Appl Physiol* 97: 39-44
23. Maresh C. M., Whittlesey M. J., Armstrong L. E., Yamamoto L. M., Judelson D. A., Fish K. E., Casa D. J., Kavouras S. A. and Castracane V. D (2006). Effect of hydration state on testosterone and cortisol responses to training-intensity exercise in collegiate runners. *Int J Sports Med* 27: 765-770
24. Montain S. J. and Coyle E. F (1992). Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J Appl Physiol* 73: 1340-1350
25. Paul G., De Lany J., Snook J., Seifert J. and Kirby T (1989). Serum and urinary markers of skeletal muscle tissue damage after

- weight lifting exercise. *Eur J Appl Physiol* 58: 786-790
26. Rhea M (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *J Strength Cond Res* 18: 918-920
 27. Roti S., Iori E., Guiducci U., Emanuele R., Robuschi G., Bandini P., Gnudi A. and Roti E (1981). Serum concentrations of myoglobin, creatine phosphokinase and lactic dehydrogenase after exercise in trained and untrained athletes. *J Sports Med* 21: 113-118
 28. Schoffstall J., Branch J., Leutholtz B. and Swain D (2001). Effects of dehydration and rehydration on the one-repetition maximum bench press of weight-trained males. *J Strength Cond Res* 15: 102-108
 29. Seifert J., Kipp R., Amann M. and Gazal O (2005). Muscle damage, fluid ingestion, and energy supplementation during recreational alpine skiing. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 15: 528-536
 30. Smith C., Marks A. and Lieberman M (2005). Marks Basic Medical Biochemistry: A Clinical Approach. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins
 31. Webster S., Rutt R. and Weltman A (1990). Physiological effects of a weight loss regimen practiced by college wrestlers. *Med Sci Sports Exerc* 22: 229-234
 32. Young D (1987). Implementation of SI units for clinical laboratory data. *Ann Intern Med* 106: 114-129

Cita Original

Yamamoto Linda M., Daniel A. Judelson, Mark J. Farrell, Elaine C. Lee, Lawrence E. Armstrong, Douglas J. Casa, William J. Kraemer, Jeff S. Volek, y Carl M. Maresh. Effects of Hydration State and Resistance Exercise on Markers of Muscle Damage. *J. Strength Cond. Res.*; 22 (5): 1387-1393, 2008.