

Monograph

Efecto del Nivel de Hidratación sobre el Rendimiento de Fuerza, Potencia y Resistencia

Lawrence E Armstrong¹, William J Kraemer¹, Jeff S Volek¹, Carl M Maresh¹, Daniel A Judelson^{1,2}, Mark J Farrell¹, Linda M Yamamoto¹, Barry A Spiering¹, Douglas J Casa¹ y Jeffrey M Anderson¹

¹Human Performance Laboratory, Department of Kinesiology, University of Connecticut, Storrs, CT, Estados Unidos.

RESUMEN

Objetivo: Aunque muchos trabajos han intentado estudiar el efecto de la hipohidratación sobre la fuerza, la potencia, y la resistencia de alta intensidad, solo algunos han logrado aislar con éxito los cambios en el contenido de agua de todo el cuerpo de otras variables que alteran el rendimiento (por ej., la elevación de la temperatura central), y ninguno ha probado la influencia de la hipohidratación sobre una sesión de ejercicios isotónicos, con series y repeticiones múltiples, característica del entrenamiento de sobrecarga. Más aún, ninguna investigación ha establecido el efecto de la hipohidratación sobre la capacidad del sistema nervioso central para estimular la musculatura, a pesar de que numerosos científicos han sugerido esta posibilidad. Los objetivos de este trabajo fueron estudiar por separado el efecto del nivel de hidratación sobre: 1) la fuerza, potencia, y el rendimiento en ejercicios de sobrecarga, y 2) el índice de activación central (CAR). **Métodos:** Siete varones saludables entrenados en fuerza (edad =23±4 años, masa corporal =87,8±6,8 kg, grasa corporal =11,5±5,2 %) completaron tres sesiones de ejercicios de sobrecarga con diferentes niveles de hidratación: euhidratados (EU), hipohidratados en aproximadamente el 2,5% de la masa corporal (HY25), e hipohidratados en aproximadamente 5,0 % de la masa corporal (HY50). Los investigadores regularon el estado de hidratación a través de la realización de ejercicio en condiciones de estrés térmico y del control de la ingesta de fluidos 1 día antes de la evaluación. **Resultados:** La masa corporal disminuyó 2,4±0,4 % y 4,8±0,4 % durante HY25 y HY50, respectivamente. No se observaron diferencias significativas entre las diferentes condiciones de hidratación en altura de salto vertical, potencia máxima de los miembros inferiores (determinada a través de salto desde sentadilla), o en la fuerza máxima de los miembros inferiores (determinada mediante la realización de sentadilla isométrica). El índice de activación central (CAR) tendió a disminuir a medida que aumentaba la hipohidratación (EU=95,6±4,9 %, HY25=94,0±3,1%, HY50 =92,5±5,1%; $p=0,075$, $h_p^2=0,41$). Cuando la hipohidratación fue evaluada como una función del porcentaje de trabajo total realizado durante un protocolo de seis series de sentadilla, la misma disminuyó significativamente el rendimiento de la fuerza durante las series 2-3 y 2-5 para HY25 y HY50, respectivamente. **Conclusión:** Estos datos indican que la hipohidratación atenúa el rendimiento en los ejercicios de sobrecarga; el papel de la conducción central como mecanismo causal que produce estas respuestas merece ser investigado más detalladamente.

Palabras Clave: deshidratación, neuromuscular, agua, levantamiento de pesas

INTRODUCCION

Hay numerosos trabajos de investigación que demuestran los efectos perjudiciales de la hipohidratación (i.e., reducción del

agua corporal total) sobre el rendimiento en ejercicios de resistencia (9). Diferentes estudios también han intentado determinar si éstos efectos desfavorables se extienden a ejercicios que requieren fuerza, potencia, o resistencia de alta intensidad; lamentablemente, los resultados de muchas de estas investigaciones no pueden ser estudiados solamente en el contexto de la hidratación porque sus diseños de investigación: 1) no controlaron los procedimientos de reducción de la masa y/o 2) incluyeron factores (por ejemplo, temperatura central elevada, restricción calórica, entrenamiento de resistencia previo, estado menstrual no controlado, y/o efecto de aprendizaje) que tienen influencia sobre la hidratación o sobre el rendimiento del ejercicio (7, 13, 16, 20). Un pequeño grupo de publicaciones ha evaluado exitosamente el efecto de la hipohidratación por separado sobre la función muscular de alta intensidad, demostrando que la hipohidratación disminuye (4, 6, 28, 30, 32, 36) o no afecta (2, 4, 5, 7, 16, 30, 34) el rendimiento muscular.

Dado este pequeño conjunto de resultados contradictorios [a veces dentro del mismo estudio (4, 5, 30)], no está claro si el estado de hidratación afecta la fuerza, potencia, y la resistencia de alta intensidad (i.e, actividades de esfuerzo máximo que duran entre 30 s y 120 s) y de que manera lo hace.

En este grupo de publicaciones relativamente pequeño e inconsistente, la mayoría de las investigaciones han usado variables de comprobación que requieren esfuerzos máximos simples (normalmente isométricos) o contracciones sostenidas hasta producir fatiga (normalmente isométricas o isocinéticas).

Aunque estas mediciones de rendimiento exhiben una validez interna alta, les falta la validez externa de los ejercicios de sobrecarga intermitentes, isotónicos, con repeticiones y series múltiples, característicos de las actividades realizadas por los miles de atletas, soldados, y obreros cada día. Debido a que el ejercicio de sobrecarga convencional pone a prueba todos los aspectos de la función muscular (fuerza, potencia, y resistencia), este tipo de ejercicio podría experimentar una mayor susceptibilidad a los efectos de la hipohidratación; el único trabajo que estudió los esfuerzos isotónicos repetidos (32) apoya esta hipótesis.

Aunque diferentes mecanismos fisiológicos explican las disminuciones en el rendimiento inducidas por la hipohidratación durante ejercicios de resistencia (9), hay menos posibilidades fisiológicas que expliquen los potenciales cambios causados por la hipohidratación en la fuerza, potencia, y resistencia de alta intensidad. Entre éstos, el mecanismo más probable sería que existen alteraciones en la capacidad del sistema nervioso central para estimular la musculatura. A pesar de la limitada y poco concluyente evidencia, que documenta los efectos de la hipohidratación sobre la electromiografía (EMG) (2, 13, 14, 33) y la excitabilidad de la membrana muscular (10, 11), muchos informes plantean la hipótesis de que la pérdida de agua en el cuerpo entero afectaría perjudicialmente algún componente del sistema neuromuscular (4, 14, 19, 32, 34).

Lamentablemente, no hay evidencia científica que evalúe el efecto de la hipohidratación sobre un parámetro directo de la conducción central (por ejemplo, contracción interpolada o índice de activación central). Por consiguiente, el propósito de este trabajo fue estudiar el efecto del nivel de hidratación sobre: 1) la fuerza máxima, la potencia máxima, y el rendimiento en ejercicios de sobrecarga, y 2) sobre una medición directa de la conducción central (es decir, el índice de activación central).

MÉTODOS

Sujetos

En el estudio participaron voluntariamente siete varones saludables, no fumadores, entrenados en fuerza (edad=23±4 años, talla=1,79±0,58 m, masa corporal=87,8±6,8kg, porcentaje de grasa corporal=11,5±5,2%, una repetición máxima en sentadilla (1 RM)=152±20 kg). El criterio de inclusión consistió en tener un mínimo de 6 meses de experiencia en el ejercicio de sentadilla paralela y una historia clínica libre de enfermedades músculo-esqueléticas, cardíacas, endocrinas, y relacionadas con el calor. Antes de comenzar con la participación, nuestro médico supervisor revisó todas las historias clínicas y los sujetos firmaron una declaración de consentimiento informado aprobada por el Comité de Revisión Institucional de la Universidad de Connecticut.

Diseño Experimental

Para evaluar los efectos del nivel de hidratación en el rendimiento y en las respuestas fisiológicas al ejercicio de sobrecarga, los sujetos realizaron tres sesiones idénticas de ejercicios de sobrecarga en diferentes niveles de hidratación: euhidratados (EU), hipohidratados en aproximadamente 2,5% de la masa corporal (HY25), e hipohidratados en aproximadamente 5,0 % de la masa corporal (HY50).

Los sujetos realizaron las sesiones de ejercicio de sobrecarga en orden aleatorio en el mismo momento del día (en la mañana \pm 1h), y en condiciones medioambientales templadas (\sim 21°C). Los investigadores regularon el nivel de hidratación 1 día antes de cada prueba a través de ejercicios con estrés por calor y de la ingesta controlada de fluidos.

Controles del Estudio

Las pruebas experimentales fueron realizadas con aproximadamente 1 semana de separación durante la cual los sujetos realizaron entrenamientos establecidos por ellos mismos. Para mantener un nivel de entrenamiento similar a lo largo del estudio, se solicitó a los sujetos que registraran y repitieran las sesiones de ejercicio individuales entre las sesiones experimentales de prueba. Se realizaron controles similares en la ingesta dietaria durante los 2 días anteriores a las sesiones experimentales. Para minimizar el potencial efecto de una ingesta calórica reducida en el rendimiento del ejercicio (24), los investigadores estimularon a los sujetos para que consumieran su dieta habitual a lo largo del estudio.

Para limitar las fluctuaciones fisiológicas, los sujetos no realizaron ejercicios, consumieron alcohol, o ingirieron estimulantes durante 36 h antes de cada sesión de evaluación. Finalmente, los sujetos comenzaron las tres sesiones de evaluación iniciales (línea de base) y las tres pruebas experimentales de 28 h en condición de euhidratación [peso específico de la orina menor o igual a 1,020 (1)] luego de un ayuno de 12 horas durante la noche. Para promover la euhidratación en estos días específicos, los sujetos bebieron aproximadamente 1 L de agua la noche previa y 1 L de agua durante la mañana de las sesiones de evaluación.

Evaluaciones Iniciales (Línea de Base) y Familiarización

Durante tres visitas preliminares, los investigadores obtuvieron las características iniciales de los sujetos (las tres visitas) y ellos se familiarizaron con los procedimientos de evaluación (solo en dos visitas).

Durante cada sesión de evaluación preliminar, al llegar al laboratorio, los sujetos orinaban inmediatamente hasta vaciar la vejiga. Posteriormente se realizaban las mediciones de peso específico de la orina (U_{sg}) y de la osmolaridad (U_{osm}) de la orina y éstas reflejaban cuantitativamente el nivel de hidratación (1). Luego se determinó la masa corporal a través de una balanza de plataforma (DS44L, Ohaus, Florham Park, NJ).

Las masas corporales obtenidas en las tres visitas preliminares fueron utilizadas para calcular la masa corporal media en estado de euhidratación (8). Otras mediciones obtenidas durante la primera visita preliminar incluyeron la altura de los sujetos, composición corporal (por medio de análisis de los pliegues cutáneos), y 1 RM en sentadilla.

Brevemente, los sujetos pedalearon durante 5-10 min a una intensidad moderada, luego realizaron varias series submáximas de sentadilla. Después del calentamiento, los sujetos intentaron levantar una carga equivalente a aproximadamente el 90% de su RM estimada. Si el levantamiento era exitoso, las pruebas continuaban con aumentos graduales de la carga hasta que el sujeto no pudiera levantar la misma de manera apropiada. Los sujetos realizaron todos los ejercicios de sobrecarga en una máquina Smith modificada (Life Fitness, Rosemont, IL) (limitando el movimiento a un plano de movimiento) y descansaron un mínimo de 3 min entre los intentos.

La RM fue definida como la mayor carga que un sujeto levantó de manera correcta a lo largo de un rango completo de movimiento, esto implicaba que la parte superior del muslo quedara paralela al suelo (23).

Durante la segunda visita, los sujetos realizaron un protocolo con sobrecarga a alta intensidad (REC) luego de las mediciones de masa corporal. El REC consistió en seis series de sentadilla paralela con el 80% de 1 RM predeterminada para los sujetos; quienes intentaron realizar 10 repeticiones por serie.

Si no podían completar las 10 repeticiones, se detenían en el momento en que sintieran agotamiento, pero aún intentaban realizar las series restantes utilizando la carga inicial (es decir, 80% de 1 RM). En nuestro laboratorio la correlación intraclass para una serie de ejercicio similar fue de 0,98.

Al final de cada serie, los sujetos proporcionaron un índice de esfuerzo percibido (RPE) (3) y descansaron durante 2 min antes de comenzar la próxima serie. El número total de repeticiones realizadas durante las seis series sirvió como control para las evaluaciones experimentales de REC subsiguientes.

Pruebas Experimentales

Cada sujeto realizó tres pruebas experimentales que sólo se diferenciaban por el nivel de hidratación durante la evaluación. Cada prueba duró aproximadamente 28 horas y comenzaba cuando los sujetos euhidratados arribaban al laboratorio por la mañana, aproximadamente 24 horas antes del ejercicio (ver Controles del Estudio). Los sujetos proporcionaban una muestra completa de orina; en la cual los investigadores determinaban el específico y la osmolaridad,

también se determinó la masa corporal de los sujetos. Después de la determinación de la masa corporal, los sujetos se abstuvieron de ingerir fluidos o comidas ricas en líquidos durante el resto del día. Los sujetos dejaron el laboratorio, y retornaron entrada la tarde para aumentar la pérdida de agua caminando en una cinta caminadora con motor (velocidad inicial=1,5 m/s, pendiente inicial =3 %) en una cámara con ambiente calefaccionado (36-37º, 40-50 % de humedad relativa) (Model 200, Minus Eleven Inc., Malden, MA).

Cada 20 min, los sujetos dejaban de realizar ejercicio, se secaban el sudor del cuerpo, y se pesaban. Los investigadores midieron la temperatura rectal (Modelo 401, Yellow Springs Instruments, Springs, OH), la frecuencia cardíaca (Vantage XL, Polar Electro, Woodbury, NY), y el RPE inmediatamente antes de realizar las mediciones de masa corporal.

Los sujetos repitieron este ciclo (ejercicio, mediciones fisiológicas, y determinación de masa corporal) hasta que: 1) hubieran perdido 5% de su masa corporal inicial (previa a la privación de agua), 2) su frecuencia cardíaca superara los 180 lat.min⁻¹ durante cinco minutos consecutivos, 3) su temperatura rectal superara los 39,5º, 4) presentaran signos o síntomas de enfermedad por calor inducida por el ejercicio o 5) solicitaran dejar de realizar ejercicio. Los investigadores disminuyeron la intensidad del ejercicio gradualmente de manera individual para prolongar el estrés por deshidratación y maximizar la oportunidad para que los sujetos perdieran masa corporal sin exceder el criterio de seguridad. Durante la prueba inicial, dos sujetos solicitaron abandonar el ejercicio, y los cinco restantes perdieron completamente el 5% de masa corporal. Para minimizar la influencia del protocolo de deshidratación sobre el rendimiento subsecuente, los sujetos realizaron series idénticas de caminatas durante las tres pruebas (es decir, durante las pruebas 2 y 3 se repitieron las características del primer ejercicio con shock térmico, independientemente del nivel de hidratación alcanzado). El manejo subsiguiente de la ingesta de fluidos (ver abajo) resolvió las pequeñas fluctuaciones en la pérdida de masa de corporal entre las pruebas de idéntica duración e intensidad.

Después de la deshidratación, los sujetos salieron de la cámara de ambiente controlado y permanecieron sentados en condiciones templadas mientras los investigadores los rehidataban de manera que a la mañana siguiente, estuvieran hipohidratados aproximadamente en 0%, 2,5 %, o 5%. Teniendo en cuenta la pérdida de fluidos que se produce por la micción y durante la noche, los sujetos fueron rehidratados con un volumen fluido ligeramente mayor que el necesario para alcanzar el nivel de hidratación deseado (29). La rehidratación consistió en la inyección intravenosa de una solución salina normal (velocidad=1 L/h) y la ingestión oral de una solución de electrolitos fortificada, sin calorías, y saborizada (velocidad=1 L/h en tomas realizadas cada 15 min). Después de la rehidratación, los sujetos consumieron una comida elevada en calorías (13 kcal /kg de masa corporal) y rica en hidratos de carbono (2,25 g de carbohidratos por kilogramo de masa corporal) (Classic Hand Tossed Cheese Pizza, Domino Pizza, Ann Arbor, MI). Finalmente, los sujetos dejaron el laboratorio con instrucciones de no realizar ejercicio y de no ingerir nada (ni siquiera agua).

La mañana siguiente (10-12 h después de la rehidratación), regresaron al laboratorio donde los investigadores registraron el nivel de hidratación de los sujetos a partir de una muestra completa de orina y realizaron mediciones de la masa corporal.

Posteriormente los sujetos se sentaron y respondieron un cuestionario computarizado del Perfil del Estado de Animo (POMS) (25). Después de la realización del POMS, se determinó la temperatura central de los sujetos introduciendo 10 cm a través del esfínter anal un termistor rectal (Model 401, Yellow Springs Instruments, Yellow Springs, OH). Luego de retirar el sensor de temperatura los sujetos, realizaron pedalearon durante 5-10 min a una intensidad moderada y realizaron 5-10 min de ejercicios de elongación establecidos por ellos mismos.

Posteriormente, los sujetos realizaron las pruebas de rendimiento para cuantificar la altura de salto vertical (VJ), potencia pico de los miembros inferiores, fuerza pico de los miembros inferiores, y pruebas de conducción central. Los sujetos realizaron cada prueba tres veces, con 1 min (prueba VJ) o 3 min (las otras pruebas) de descanso entre los intentos. En todas las pruebas de rendimiento, posteriormente sólo se analizó el mejor resultado. La altura de salto vertical VJ fue determinada utilizando un salto con contramovimiento estándar (Vertec, Sports Imports, Columbus, OH). La potencia pico de los miembros inferiores fue establecida a través de mediciones de reacción de fuerza contra el suelo (JUMP force platform, Advanced Mechanical Technology, Watertown, MA and AccuPower 1.0 software, Frappier Acceleration Sports Training, Fargo, ND) durante una serie de tres saltos desde sentadilla consecutivos (30 % de 1 RM). La fuerza pico de los miembros inferiores fue determinada midiendo la reacción de fuerza contra el suelo durante una sentadilla isométrica. Los sujetos realizaron la prueba de sentadilla isométrica asumiendo una posición de sentadilla estandarizada (aproximadamente un tercio de la profundidad máxima, ángulo medio de la rodilla =121º, ángulo medio de la cadera =124º) y presionando al máximo hacia arriba contra una barra fija. Trabajos preliminares en nuestro laboratorio indicaron que esta profundidad producía la mayor producción de fuerza. La correlación intra-clase para el salto vertical, salto desde sentadilla, y sentadilla isométrica en nuestro laboratorio fue superior a 0,93.

Luego los sujetos realizaron las pruebas de conducción central (capacidad del sistema nervioso central para estimular la musculatura). Para esto se sentaron en una máquina de extensión de piernas modificada (NT-1260, Nautilus Fitness

Products, Louisville, CO) con un ángulo de rodilla de aproximadamente 70° (extensión completa=180°); el tobillo dominante fue ajustado a la barra de extensión mediante correas de velcro, los miembros inferiores de los sujetos se ajustaron con un cinturón de seguridad, y correas ajustables colocadas encima de los hombros fijaron la ubicación de los miembros superiores. Se colocaron electrodos superficiales (5 cm x 5 cm, Dura-Stick II, Chattanooga Group, Hixson, TN) en la cara lateral superior del músculo recto femoral y en la cabeza del músculo vasto medial. Antes de colocar los electrodos, los investigadores afeitaron los sitios donde iban a ser colocados y desgastaron ligeramente la piel con una gasa embebida en alcohol para aumentar al máximo la conductividad. Luego de una orden, cada sujeto extendió al máximo su rodilla dominante durante 4 s contra una barra fija acolchada localizada inmediatamente por encima de la articulación del tobillo.

Luego de aproximadamente 2 s de contracción, los investigadores aplicaron manualmente un tren aislado de estímulos eléctricos en los cuádriceps (intensidad del estímulo=150 V, duración del tren=100 ms, velocidad del estímulo =100 Hz, duración del pulso=0,1 ms) (S48 Square Pulse Stimulator and SIU8T Transformer Stimulus Isolation Unit, Grass Instrument Division, Astro-Med, West Warwick, RI).

La evaluación durante la etapa de familiarización preliminar aseguró que este estímulo aumentaba al máximo la producción de fuerza. La correlación intra-clase informada previamente para este procedimiento fue igual a 0,98 (31). La producción de torque fue evaluada a 5 kHz con un transductor de fuerza (SBO-300-T, Transducer Techniques, Temecula, CA), amplificada (TMO-1, Transducer Techniques, Temecula, CA), filtrada con filtro de paso bajo a 100 Hz (LPF30, World Precision Instruments, Sarasota, FL), convertida en señal digital (DAS1802AO, Keithley Instruments, Cleveland, OH), y mostrada en una computadora equipada con un software personalizado *Labview* (National Instruments, Austin, TX). El índice de activación central (CAR) fue calculado (21) según la siguiente fórmula $CAR=100$ (torque máximo voluntario)/(torque máximo voluntario + torque provocado eléctricamente)

Después de las cuatro pruebas de rendimiento anteriormente descritas, los sujetos repitieron el REC (seis series de sentadilla con el 80% de 1RM; ver la descripción anterior). Si durante las seis series un sujeto no podía realizar el mismo número de repeticiones totales que las realizadas durante el procedimiento inicial (línea de base), debía realizar series adicionales hasta que la cantidad de repeticiones totales durante el REC experimental igualara la cantidad de REC iniciales (línea de base).

La asignación de igual cantidad de repeticiones entre las pruebas fue necesaria debido a aspectos de la investigación informados en otra sección del manuscrito.

Análisis Bioquímicos

En cada momento en donde se recolectó la orina (línea de base, pre-prueba, y pre-ejercicio), la misma fue colocada en un recipiente plástico limpio e inmediatamente analizada. El peso específico de la orina (U_{sg}) fue determinado mediante refractometría (A300CL, Atago Co., Tokyo, Japón). La osmolaridad de la orina (U_{osm}) fue determinada por duplicado a través de la disminución del punto de congelación (3DII, Advanced Digimatic, Needham Heights, MA).

Análisis de los Datos

Para normalizar los datos correspondientes al trabajo total individual realizado por cada sujeto durante el REC, el número bruto de repeticiones realizadas durante cada serie fue convertido en porcentaje acumulado de trabajo total. Este valor fue calculado dividiendo el número total de repeticiones que realizó el sujeto luego de un dado número de series por las repeticiones totales que el sujeto realizó durante todo el REC. Por ejemplo, si un sujetos realizaba 40 repeticiones totales durante el REC y completaba 10 repeticiones durante la primera serie, el porcentaje total acumulado para la serie 1 era igual al 25% (10/40). Si el mismo sujeto realizaba 8 repeticiones durante la segunda serie, el porcentaje total acumulado para la serie 2 era igual a 45%((10 +8)/40).

Análisis Estadísticos

El tamaño de muestra que nosotros utilizamos fue establecido según los datos del trabajo de investigación realizado por Caterisano et al. (6), cuyo diseño de investigación era muy semejante a nuestro trabajo en lo que respecta al protocolo de ejercicio, niveles de hidratación alcanzados y población de sujetos. Utilizando esos datos y evaluando una hipótesis de dos colas con una potencia de 0,80, se calculó que el número de sujetos necesarios para establecer diferencias significativas a un nivel $p=0,05$, era de aproximadamente cuatro.

Los datos descriptivos (promedios, desviaciones estándar, y error estándar de la media) fueron calculados para todas las variables de la prueba. Las diferencias entre las pruebas fueron analizadas mediante un ANOVA para mediciones repetidas de dos vías de 3 (nivel de hidratación) por X (tiempo) donde X representa el número de veces que la variable fue determinada durante una prueba (por ejemplo, para CAR, X =1, para el rendimiento de REC, X=6). En caso de encontrarse

un índice F significativo, las diferencias específicas pareadas fueron establecidas a través del test a posteriori LSD de Fischer. Para variables específicas que se aproximaron a la significancia estadística se calculó la magnitud o tamaño del efecto (h_p^2), según la fórmula $h_p^2 = (SS_{\text{efecto}}) / (SS_{\text{efecto}} + SS_{\text{error}})$, donde SS=suma de cuadrados. La significancia estadística fue fijada a un nivel $p < 0,05$. Los datos se presentan como media \pm SD, a menos que se especifique otra cosa.

RESULTADOS

Procedimientos de Deshidratación

No se observaron diferencias significativas entre las pruebas en la temperatura del cuarto, humedad relativa, o duración del estrés por el ejercicio-calor (promedio de todas las pruebas = 36 ± 1 °C; 44 ± 6 %, y 184 ± 14 min, respectivamente). Los valores de frecuencias cardíacas, temperaturas rectales, y datos de RPE medidos al finalizar el estrés por ejercicio-calor también fueron similares entre las pruebas (promedio de todas las pruebas = 150 ± 14 lat.min⁻¹, $38,53 \pm 0,28$ °C y 14 ± 2 , respectivamente). Después del estrés por ejercicio-calor, los sujetos repusieron volúmenes significativamente diferentes de fluido (EU = $4,669 \pm 0,308$ L; HY25 = $2,531 \pm 0,336$ L; HY50 = $0,594 \pm 0,328$ L), pero consumieron una similar cantidad de energía (EU = 1122 ± 92 kcal; HY25 = 1076 ± 113 kcal; HY50 = 1098 ± 128 kcal).

La temperatura central disminuyó hasta los valores normales de reposo en la mañana posterior, pero la hipohidratación aumentó significativamente la temperatura central pre-ejercicio (HY25 = $36,84 \pm 0,32$ °C; HY50 = $36,98 \pm 0,42$ °C) en comparación con la temperatura registrada en condiciones de euhidratación EU ($36,56 \pm 0,37$ °C).

Mediciones de Hidratación

No se registraron diferencias significativas en los valores de masa corporal establecidos al inicio en condiciones de euhidratación determinados durante las pruebas de familiarización y los valores iniciales experimentales obtenidos antes de comenzar las pruebas (valores medios obtenidos: durante la familiarización = $87,78 \pm 6,82$ kg, EU inicial = $87,81 \pm 7,48$ kg, HY25 inicial = $87,71 \pm 6,96$ kg, HY50 inicial = $87,99 \pm 7,38$ kg.). La Figura 1 muestra los cambios porcentuales observados en la masa corporal durante cada una de las pruebas experimentales.

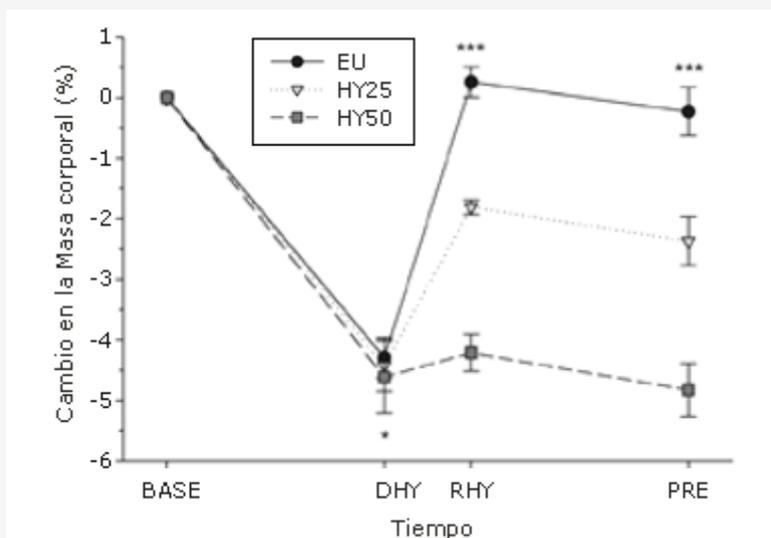


Figura 1. Cambios porcentuales en la masa corporal (media \pm DS) observados durante las tres pruebas experimentales: EU=euhidratados; HY25= hipohidratados en aprox. 2,5%; HY50= hipohidratados en aproximadamente 5,0%; BASE, medición inicial en condiciones de euhidratación; DHY, medición realizada inmediatamente luego de la deshidratación causada por estrés con ejercicio-calor; RHY, medición realizada inmediatamente luego de la rehidratación; PRE, medición realizada inmediatamente antes de realizar los ejercicios (pre-ejercicio). * Diferencias significativas entre EU e HY50; *** Diferencias significativas entre todas las mediciones en un cierto tiempo.

Inmediatamente antes del ejercicio de resistencia, todos los puntos presentaron diferencias significativas; los cambios porcentuales promedio en la masa corporal fueron $-0,2\pm 0,4\%$; $-2,4\pm 0,4\%$ y $-4,8\pm 0,4\%$ para EU, HY25, y HY50, respectivamente.

El peso específico de la orina (U_{sg}) inicial (línea de base) fue menor a 1,020 en todas las pruebas. La deshidratación, rehidratación, y el ayuno durante la noche provocaron un U_{sg} significativamente mayor en las pruebas con hipohidratación (HY25= $1,026\pm 0,004$; HY50= $1,027\pm 0,004$) que en condiciones de euhidratación EU ($1,020\pm 0,003$), pero no se observaron diferencias entre HY25 y HY50. La U_{osm} inicial fue menor a 800 mOsm/kg en todas las pruebas. Al igual que lo observado con la U_{sg} , la hipohidratación y rehidratación provocaron que la osmolaridad de la orina, fuera significativamente mayor durante las pruebas en condiciones de hipohidratación (HY25= 1031 ± 88 mOsm/kg, HY50= 1067 ± 100 mOsm/kg) que en condiciones de euhidratación (EU= 887 ± 102 mOsm/kg), pero no se observaron diferencias entre HY25 y HY50.

Rendimiento en el Ejercicio

La Tabla 1 muestra los resultados de las pruebas de rendimiento. Dificultades técnicas eliminaron los datos de uno de los sujetos en el salto desde sentadilla, el press isométrico, y el test CAR, lo que dio como resultado un $n=6$. No se observaron diferencias significativas entre los niveles de hidratación en altura de VJ, potencia pico concéntrica durante el salto desde sentadilla, o fuerza máxima producida durante la sentadilla isométrica. El CAR disminuyó en forma incremental ($\sim 1,5\%$) en cada nivel de hidratación, pero estos resultados no fueron estadísticamente significativos ($p=0,075$, $np^2=0,41$).

| Pruebas con Diferentes Niveles de Hidratación | (VJ) cm | Potencia de Salto desde Sentadilla (W) | Fuerza Isométrica en Sentadilla (N) | CAR (%) |
|---|----------------|--|-------------------------------------|----------------|
| EU | 61,1 \pm 9,4 | 5908 \pm 660 | 2829 \pm 622 | 95,6 \pm 4,9 |
| HY25 | 62,6 \pm 8,5 | 5942 \pm 552 | 2723 \pm 370 | 94,0 \pm 3,1 |
| HY50 | 62,8 \pm 9,2 | 5959 \pm 702 | 2898 \pm 644 | 92,5 \pm 5,1 |

Tabla 1. Mediciones de rendimiento. Los datos se expresan como valores medios \pm DS. VJ, altura de salto vertical; CAR, índice de activación central; EU, euhidratados; HY25, hipohidratados en 2,5% de la masa corporal; HY50, hipohidratados en 5,0% de la masa corporal. No se observaron diferencias significativas entre las pruebas. $n=6$ para salto desde sentadilla, sentadilla isométrica, y CAR.

La Figura 2 presenta los resultados del REC. Utilizando las evaluaciones preliminares como los controles de rendimiento (ver descripción anterior), los sujetos realizaron 34 ± 14 repeticiones durante las seis series de ejercicios. Los sujetos realizaron una cantidad de trabajo significativamente mayor durante la segunda y tercera series iniciales de ejercicio cuando se encontraban euhidratados en comparación a cuando estaban hipohidratados (HY25 y HY50) y también realizaron una cantidad significativamente mayor de trabajo durante la cuarta y quinta series iniciales de ejercicio en condiciones EU en comparación con la condición HY50. La cantidad de trabajo porcentual total acumulado realizado fue idéntica entre las pruebas en condiciones de hipohidratación después de todas las series.

Medición de Aspectos Psicológicos o de Percepción

La Tabla 2 muestra los resultados del cuestionario de POMS. La hipohidratación no afectó la ansiedad-estrés, abatimiento-depresión, hostilidad-enojo, vigor-actividad, inercia-fatiga, y desconcierto-confusión. La alteración total del estado de ánimo aumentó en forma incremental (aproximadamente seis puntos) con cada nivel de hidratación, pero estos resultados no llegaron a ser estadísticamente significativos ($p=0,077$, $h_p^2=0,35$). No se observaron diferencias significativas entre las tres condiciones de hidratación en RPE.

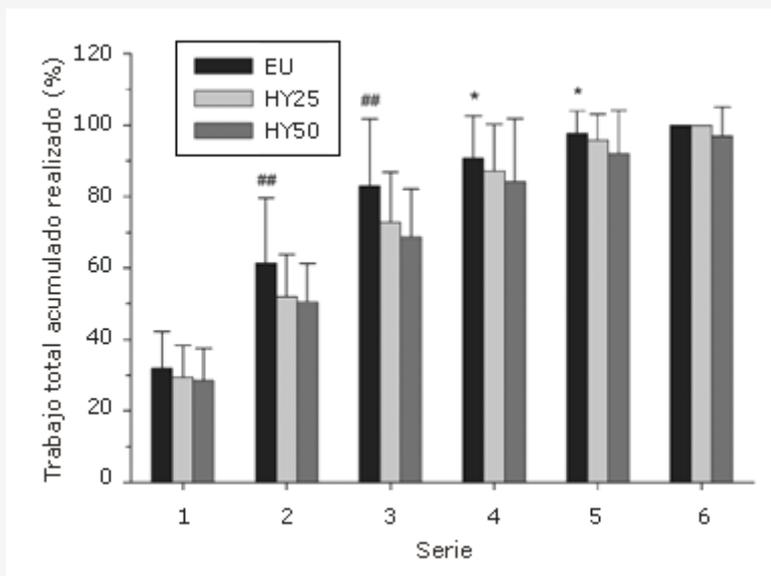


Figura 2. Porcentaje de trabajo total acumulado realizado (media±DS) luego de cada serie durante el REC (en el apartado metodología se proporcionan los detalles de cómo se realizaron los cálculos). EU, euhidratación; HY25 hipohidratado en aprox. 2,5% de la masa corporal; HY50, hipohidratado en aprox. 5,0 % de la masa corporal. ## Diferencias significativas entre la condición EU y las dos condiciones de hipohidratación.* Diferencias significativas entre las condiciones EU y HY50.

| Condiciones de hidratación | Ansiedad-Estrés | Abatimiento-Depresión | Hostilidad-Enojo | Vigor-Actividad | Inercia-Fatiga | Desconcierto-Confusión | Alteración Total Del Estado de Animo |
|----------------------------|-----------------|-----------------------|------------------|-----------------|----------------|------------------------|--------------------------------------|
| | (0 a 32) | (0 a 60) | (0 a 48) | (0 a 32) | (0 a 28) | (0 a 24) | (-32 a 192) |
| EU | 5 ± 3 | 1 ± 1 | 1 ± 2 | 10 ± 5 | 6 ± 2 | 3 ± 2 | 7 ± 11 |
| HY25 | 6 ± 4 | 3 ± 5 | 3 ± 4 | 11 ± 4 | 8 ± 3 | 4 ± 1 | 14 ± 16 |
| HY50 | 7 ± 3 | 3 ± 4 | 4 ± 6 | 10 ± 6 | 10 ± 5 | 5 ± 4 | 19 ± 17 |

Tabla 2. Perfil de las respuestas al cuestionario de alteraciones en el estado de ánimo frente a la hipohidratación. Los datos se expresan como valores medios±DS. EU, euhidratados; HY25, hipohidratados en aproximadamente 2,5% de la masa corporal; HY50, hipohidratados en aproximadamente 5,0% masa corporal. Los valores que se encuentran entre paréntesis representan el intervalo de puntuaciones probables para una determinada categoría. No se observaron diferencias significativas entre las tres condiciones de hidratación.

DISCUSION

Los resultados principales de este estudio fueron que la hipohidratación 1) tiene un efecto demostrable pequeño sobre la fuerza y la potencia de un esfuerzo máximo y asilado, pero 2) limita la capacidad que poseen los varones saludables, entrenados en fuerza para realizar un protocolo de seis series de sentadilla.

Estos resultados sugieren que los individuos hipohidratados que realizan ejercicios de sobrecarga, isotónicos e intermitentes, con repeticiones, y series múltiples, probablemente experimentarán una disminución en el rendimiento.

Los desafíos experimentales asociados con aislar el efecto que tiene el nivel de hidratación sobre el rendimiento del ejercicio y sobre los cambios fisiológicos son significativos porque el estímulo de la deshidratación (a diferencia de la hipohidratación real) frecuentemente afecta los resultados del estudio.

Si los procedimientos de deshidratación utilizados para reducir el contenido de agua de todo el cuerpo no son controlados adecuadamente, son realizados incorrectamente, o preceden inmediatamente a las evaluaciones de rendimiento, hay

variables tales como la fatiga muscular, el déficit calórico, y la temperatura elevada que confundirán y podrían influir fuertemente en los resultados de las variables asociadas al ejercicio (27). Creemos que el diseño de la presente investigación respondió eficazmente a la mayor parte de estos desafíos. Los datos de hidratación, principalmente el cambio porcentual en la masa corporal (Figura 1), indican que los sujetos alcanzaron tres niveles de hidratación claramente diferentes antes de realizar los ejercicios a pesar de realizar las mismas series en condiciones de deshidratación la noche anterior. El descanso durante toda la noche que separó al estrés por ejercicio-calor del ejercicio de sobrecarga ayudó a minimizar más el efecto del proceso de deshidratación en la evaluación experimental. Los sujetos también repitieron la ingesta dietaria durante las 48 h previas a cada prueba e ingirieron una comida estandarizada con elevado contenido de calorías y de hidratos de carbono aproximadamente 12 h antes del ejercicio de sobrecarga para limitar las diferencias en las reservas de energía. Hay que reconocer que las temperaturas centrales en reposo fueron diferentes entre las pruebas en condiciones de hipohidratación y las pruebas en condiciones de euhidratación, pero 1) las condiciones medioambientales templadas (~21 °C) y 2) la menor carga térmica proporcionada por el ejercicio de sobrecarga [estimada para aumentar la temperatura central en aproximadamente 0,2 °C (12)] sugieren que el REC sólo aumentaría modestamente la temperatura central. Debido a que la producción de fuerza isométrica normalmente se mantiene a temperaturas centrales inferiores a 38 °C (26), nosotros creemos que las diferencias relativas en la temperatura central en reposo entre las pruebas no afectaría los resultados significativamente, porque las temperaturas absolutas probablemente nunca alcanzaron una magnitud suficiente para alterar el rendimiento.

Rendimiento en el Ejercicio

Si bien hay un estudio que ha demostrado una mejora en el rendimiento de salto, inducida por la hipohidratación (34), la presente investigación coincide con investigaciones previas (19, 35) y sugiere que la hipohidratación no influiría en la altura del salto vertical (Tabla 1). Sin embargo estos resultados que describen el rendimiento en el ejercicio no reflejan necesariamente la capacidad fisiológica de músculo, debido a que la disminución en la masa corporal, característica de la hipohidratación, podría compensar la disminución en la fuerza y/o potencia muscular (7, 17).

Específicamente, si la hipohidratación no logra reducir la fuerza o la potencia muscular, la altura del salto vertical debería aumentar a medida que disminuye el contenido del agua corporal total, porque el saltador debe mover menos masa. Para medir con precisión los efectos del nivel de hidratación sobre la potencia muscular, calculamos la producción de potencia durante el salto desde sentadilla a través de determinaciones directas de fuerza y tiempo, independientes de la masa corporal.

La falta de cambio entre las pruebas con diferentes niveles de hidratación en la potencia pico concéntrica durante el salto desde sentadilla (Tabla 1) sugiere que la hipohidratación verdaderamente no influye en la potencia muscular. Otras cuatro investigaciones (7, 30, 34, 36) describieron el efecto aislado de la hipohidratación sobre las mediciones de potencia independientemente de otros factores que podrían confundir (por ejemplo, masa corporal, entrenamiento de resistencia, restricción calórica, incremento de la temperatura central, y/o fatiga); típicos de esta clase de publicaciones; dos trabajos demuestran que la hipohidratación indujo la disminución en el rendimiento (30, 36), y otros dos demostraron que la hipohidratación no influyó en la producción de potencia (7, 34). En conjunto con los presentes resultados, estos resultados contradictorios (que pueden ser posiblemente atribuidos al modo de ejercicio y cantidad de agua corporal perdida) requieren claramente garantizar futuras investigaciones acerca de los efectos de la hipohidratación sobre la potencia muscular.

La hipohidratación tampoco ejerció influencia sobre la fuerza máxima de los miembros inferiores (Tabla 1), coincidiendo con algunas (2, 16, 34), pero no todas (4, 5, 28), las investigaciones previas acerca del efecto de la hidratación sobre la producción de fuerza en un esfuerzo máximo aislado. Ninguna diferencia obvia en el diseño de investigación (grupo muscular, acción muscular, velocidad de contracción, población de sujetos, etc.) explica estas diferencias. Interesantemente, la fuerza máxima no cambió a pesar de las posibles diferencias en el estímulo nervioso de la musculatura. Si bien los datos no alcanzaron la significancia estadística, la activación central pareció disminuir a medida que la hipohidratación aumentaba, lo que implicaría que alteraciones en el sistema nervioso central, en el sistema nervioso periférico, y/o en el acoplamiento excitación-contracción podrían estar relacionadas con las disminuciones inducidas por la hidratación en el rendimiento de fuerza y resistencia. El notable tamaño del efecto ($h_p^2=0,41$) en una muestra pequeña ($n=6$) refuerza aún más las probabilidades de que esta relación exista. Reconociendo los límites de estos datos, tomamos estos resultados poco concluyentes como una posibilidad de que la hipohidratación podría afectar la conducción central, y recomendamos que estos resultados sean considerados como base para investigaciones futuras que estudien grupos de sujetos más numerosos. Si la hipohidratación efectivamente limita la conducción central, los diferentes patrones de reclutamiento de fibras musculares explican potencialmente las fuerzas máximas equivalentes producidas durante las pruebas isométricas en las condiciones de hipohidratación HY25 y HY50, debido a que investigaciones anteriores demuestran que la hipohidratación altera potencialmente la producción de EMG (2, 14, 33).

A pesar de que la producción de fuerza y potencia muscular fue similar, la hipohidratación disminuyó significativamente el

rendimiento de REC. Estos resultados coinciden con la mayoría de los otros trabajos que estudian el efecto del nivel de hidratación sobre la resistencia muscular de alta intensidad (2, 4, 6, 32). A diferencia de esas investigaciones anteriores, los resultados actuales indican que la hipohidratación atenúa significativamente el rendimiento de ejercicios isotónicos, con repeticiones y series múltiples, características de los ejercicios de sobrecarga convencionales. La magnitud de este efecto parecería ser dependiente de la dosis: HY25 redujo el rendimiento durante las series 2 y 3, pero HY50 disminuyó el rendimiento durante las series 2-5.

Estos resultados demuestran una validez externa alta, ya que la hipohidratación moderada (tan baja como la pérdida de 2,4% de masa corporal) disminuyó el rendimiento durante tres series del ejercicio de sobrecarga (un volumen de ejercicio muy común).

Aunque esta reducción en el rendimiento muscular tiene implicancias en el ejercicio agudo, estos resultados también se relacionan con adaptaciones al entrenamiento de aquellos individuos que realizan rutinariamente ejercicios de sobrecarga en condiciones de hipohidratación (por ejemplo, astronautas, ancianos, y algunos atletas). Debido a que la hipohidratación parecería limitar el volumen de entrenamiento individual (en este caso, de tres a cinco repeticiones dentro de las primeras tres series de ejercicio), podría verse afectado el volumen total de entrenamiento. La cuantificación de la importancia de tres a cinco repeticiones por ejercicio en un programa de entrenamiento completo es un desafío, pero las investigaciones sugieren que pequeños aumentos en el volumen de entrenamiento diario benefician significativamente el desarrollo de la fuerza siempre y cuando los deportistas eviten el sobreentrenamiento (15). Teóricamente, el aumento del período de descanso entre las series podría mantener el volumen de entrenamiento a pesar de la hipohidratación a través de una mejor recuperación.

Aun cuando el aumento en el descanso recuperara el volumen de entrenamiento, de cualquier manera, las adaptaciones globales todavía podrían verse afectadas debido a la relación indirecta entre el intervalo de descanso y la respuesta hormonal anabólica que regula crucialmente las adaptaciones del entrenamiento a ejercicios de sobrecarga (18, 22).

Así, aunque es difícil la estimación de los efectos exactos de la hipohidratación sobre las adaptaciones a largo plazo al entrenamiento de sobrecarga, la evidencia sugiere razonablemente que la hipohidratación atenuará algunos beneficios de un programa de entrenamiento de sobrecarga.

Conclusiones

En conclusión, una hipohidratación de hasta el 4,8 % de pérdida de masa corporal: 1) no afectó la altura del salto vertical, la potencia y la potencia pico de los miembros inferiores del cuerpo, pero 2) comprometió significativamente la capacidad para realizar una serie de ejercicio de sobrecarga. Resultados preliminares que evaluaron el efecto de la hipohidratación sobre la capacidad del sistema nervioso central de estimular en forma máxima la musculatura, sugiere que es necesario continuar trabajando para investigar este posible mecanismo.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a un grupo sumamente especializado de investigadores que hicieron que este exigente proyecto de investigación sea posible.

Adicionalmente, los autores desean reconocer la invaluable ayuda técnica y editorial de Julie Blowers, Sara Chow, Michelle Cordero, Charles Emerson, Cassandra Forsythe, Dr. P. Courtney Gaine, Disa Hatfield, Jen-Yu Ho, Robert Huggins, Mick Joseph, Dr. Andrew Judelson, Elaine Lee, Michael Puglisi, Dr. Ricardo Silvestre, Bülent Sökmen, Jakob Vingren, y Dr. Susan Yeargin. Finalmente, los autores desean agradecer al Dr. Sinclair Smith por su excepcional espíritu servicial.

El Gatorade *Sports Science Institute* y la Fundación de Investigación de la Universidad de Connecticut apoyaron parcialmente esta investigación.

REFERENCIAS

1. Armstrong, L.E., C.M. Maresh, J.W. Castellani, et al (1994). Urinary indices of hydration status. *Int.J.Sport Nutr.*4:265 [279]
2. Bigard, A.X., H.Sanchez, G.Claveyrolas, S.Martin, B. Thimonier, and M.J. Arnaud (2001). Effects of dehydration and rehydration on EMG changes during fatiguing contractions. *Med. Sci. Sports Exerc.*33:1694 [1700]
3. Borg,G (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand. J. Rehabil. Med.*2:92 [98]
4. Bosco, J.S., J.E. Greenleaf, E.M. Bernauer, and D.H.Card (1974). Effects of acute dehydration and starvation on muscular strength

- and endurance. *Acta Physiol.Pol.* 25:411 [421
5. Bosco, J.S., R.L.Terjung, and J.E.Greenleaf (1968). Effects of progressive hypohydration on maximal isometric muscular strength. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 8:81 [86
 6. Caterisano, A., D.N. Camaione, R.T. Murphy, and V.J. Gonino (1988). The effect of differential training on isokinetic muscular endurance during acute thermally induced hypohydration. *Am. J. Sports Med.*16:269 [273
 7. Chevront, S.N., R. Carter, E.M. Haymes, and M.N. Sawka (2006). No effect of moderate hypohydration or hyperthermia on anaerobic exercise performance. *Med.Sci.Sports Exerc.* 38:1093 [1097
 8. Chevront, S. N., R.Carter, S. J.Montain, and M. N. Sawka (2004). Daily body mass variability and stability in active men undergoing exercise-heat stress. *Int.J.Sport Nutr.Exerc.Metab.* 14:532 [540
 9. Chevront, S.N., R.Carter, and M.N.Sawka (2003). Fluid balance and endurance performance. *Curr. Sports. Med.Rep.* 2:202 [208
 10. Costill, D.L., R.Cote, and W.Fink (1976). Muscle water and electrolytes following varied levels of dehydration in man. *J. Appl. Physiol.* 40:6 [11
 11. Deschenes, M.R., W.J.Kraemer, J.A.Bush, et al (1998). Biorhythmic influences on functional capacity of human muscle and physiological responses. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30:1399 [1407
 12. Evetovich, T.K., J.C.Boyd, S.M.Drake, et al (2002). Effect of moderate dehydration on torque,electromyography,and mechanomyography. *Muscle Nerve* 26:225 [231
 13. Ftaiti, F., L. GreLot, J.M. Coudreuse, and C. Nicol (2001). Combined effect of heat stress,dehydration and exercise on neuromuscular function in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 84:87 [94
 14. Gonzalez-Badillo, J.J., E.M.Gorostiaga, R.Arellano,and M. Izquierdo (2005). Moderate resistance training volume produce more favorable strength gains than high or low volume during a short term training cycle. *J. Strength Cond. Res.* 19:689 [697
 15. Greiwe, J.S., K.S.Staffey, D.R.Melrose, M.D.Narve, and R. G.Knowlton (1998). Effects of dehydration on isometric muscular strength and endurance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30:284 [288
 16. Gutierrez,A., J.L.M.Mesa, J.R.Ruiz, L.J.Chirosa, and M.J. Castillo (2003). Sauna-induced rapid weight loss decreases explosive power in women but not in men. *Int. J. Sports Med.* 24:518 [522
 17. Hansen, S., T. Kvorning, M. Kjaer, and G. Sjogaard (2001). The effect of short-term strength training on human skeletal muscle:the importance of physiologically elevated hormone levels. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 11:347 [354
 18. Hoffman, J.R., H. Stavsky, and B. Falk (1995). The effect of water restriction on anaerobic power and vertical jumping height in basketball players. *Int. J. Sports Med.* 16:214 [218
 19. Judelson, D.A., C. M. Maresh, J. M. Anderson, et al (2008). Hydration and muscular performance:does fluid balance affect strength, power,and high-intensity endurance?. *Sports Med.(in press)*
 20. Kent-Braun, J.A., and R.Le Blanc (1996). Quantitation of central activation failure during maximal voluntary contractions in humans. *Muscle Nerve* 19:861 [869
 21. Kraemer,W.J., L.Marchitelli, S.E.Gordon, et al (1990). Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J. Appl. Physiol.* 69:1442 [1450
 22. Kraemer, W.J., N.A. Ratamess, A.C. Fry, and D.N. French (2006). Strength testing:development and evaluation of methodology.In:Physiological Assessment of Human Fitness ,P.J. Maud and C.Foster (Eds.). *Champaign,IL:Human Kinetics*, pp.119 [150
 23. McMurray, R.G., C.R. Proctor, and W.L.Wilson (1991). Effect of caloric deficit and dietary manipulation on aerobic and anaerobic exercise. *Int. J. Sports Med.* 12:167 [172
 24. McNair, D.M., M.Lorr, and L.F. Droppleman (1971). Profile of Mood States Manual. *San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Service*
 25. Morrison, S. G.G. Sleivert, and S.Cheung (2004). Passive hyperthermia reduces voluntary activation and isometric forceproduction. *Eur. J. Appl. Physiol.* 91:729 [736
 26. Nielsen, B., R. Kubica, A. Bonnesen, I. B. Rasmussen, J. Stoklos A, and B. Wilk (1981). Physical work capacity after dehydration and hyperthermia. A comparison of the effect of exercise versus passive heating and sauna and diuretic dehydration. *Scand.J.Sports Sci.* 3:2 [10
 27. Schoffstall, J.E., J.D. Branch, B.C. Leutholtz, and D.P. Swai N (2001). Effects of dehydration and rehydration on the one-repetition maximum bench press of weight-trained males. *J. Strength Cond.Res.*15:102 [108
 28. Shirreffs, S.M., A.J. Taylor, J.B. Leiper, and R.J.Maughan (1996). Post-exercise rehydration in man:effects of volume consumed and drink sodium content. *Med.Sci.Sports Exerc.* 28:1260 [1271
 29. Smith, S.A., J.H. Williams, C. W. Ward, and K. P. Davy (1991). Dehydration effects on repeated bouts of short-term,high-intensity exercise in college wrestlers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23:S67
 30. Snyder-Mackler, L., S. A. Binder-Macleod, and P.R. Williams (1993). Fatigability of human quadriceps femoris muscle following anterior cruciate ligament reconstruction. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25:783 [789
 31. Torranin, C., D.P. Smith, and R. J. Byrd (1979). The effect of acute thermal dehydration and rapid rehydration on isometric and isotonic endurance. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 19:1 [9
 32. Vallier, J. M., F. Grego, F. Basset, R. Lepers, T. Bernard, and J. Brisswalter (2005). Effect of fluid ingestion on neuromuscular function during prolonged cycling exercise. *Br. J. Sports Med.* 39:e17 [e22
 33. Viitasalo, J.T., H. Kyrolainen, C.Bosco, and M. Alen (1987). Effects of rapid weight reduction on force production and vertical jumping height. *Int. J. Sports Med.* 8:281 [285
 34. Watson, G., D. A. Judelson, L. E. Armstrong, S. W. Yeargin, D. J. Casa, and C. M. Maresh (2005). Influence of diuretic-induced dehydration on competitive sprint and power performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37:1168 [1174
 35. Yoshida, T., T. Takamishi, S. Nakai, A. Yorimoto, and T. Morimoto (2002). The critical level of water deficit causing a decrease in human exercise performance:a practical field study. *Eur. J. Appl.Physiol.* 87:529 [534

Cita Original

Judelson, D. A., C. M. Maresh, M. J. Farrell, L. M. Yamamoto, L. E. Armstrong, W. J. Kraemer, J. S. Volek, B. A. Spiering, D. J. Casa, and J. M. Anderson. Effect of Hydration State on Strength, Power, and Resistance Exercise Performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*; Vol.39, No.10, pp.1817-1824, 2007.