

Monograph

¿Afecta la Deshidratación el Rendimiento Físico?

Michael N. Sawka¹ y Timothy D Noakes²

¹U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine Natick, MA, Estados Unidos.

²University of Cape Town, Department of Human Biology Sports Science Institute of South Africa, Sudáfrica.

Palabras Clave: sed, fluidos, sudor, ejercicio, hidratación

OPINION PREDOMINANTE

Michael N. Sawka

La deshidratación (déficit de agua >2% de la masa corporal, BM) disminuye el rendimiento en los ejercicios aeróbicos en ambientes templados y cálidos-calurosos. Esta opinión predominante está sustentada en:

1. Observaciones realizadas en individuos que realizan trabajo intenso, con fluidos limitados, en ambientes calurosos-cálidos;
2. La inmensa mayoría de datos experimentales de laboratorio y estudios de campo en ambientes templados y calurosos;
3. La escasez de datos experimentales que indican otra cosa; y
4. Paneles de "expertos" que han realizado revisiones detalladas de la literatura.

Comentario

El contenido total de agua corporal (TBW) fluctúa en aprox. ~0.5% o más de la masa corporal (BM), así "la euhidratación" representa un continuo, en el cual no se puede asignar ningún valor de TBW absoluto o "verdadero" (31). Por lo tanto, es necesario realizar una determinación de las fluctuaciones del agua corporal más allá del rango "normal", que tienen un resultado funcional perjudicial consistente (1). Cheuvront y colegas (16) propusieron que un déficit de agua >2% de BM supera la fluctuación de TBW normal y demostraron de forma consistente que se produce una reducción en el rendimiento en ejercicios de resistencia. La variación biológica les permitirá a algunos individuos ser más tolerantes a las consecuencias adversas de la deshidratación; sin embargo, éste no es el tema que estamos debatiendo.

Revisión de la Bibliografía

Estudios Experimentales que Apoyan esta Opinión

Veintiocho estudios apoyan la opinión predominante que afirma que la deshidratación disminuye el rendimiento en ejercicios aeróbicos. Estos resultados consistentes se observaron a pesar de que los estudios emplearon una gran variedad de métodos experimentales relacionados a los procedimientos de deshidratación/rehidratación, tipos de ejercicio aeróbico y condiciones medioambientales.

Durante la segunda guerra mundial, las fuerzas militares de U.S. lucharon en ambientes tropicales calurosos y ambientes desérticos calurosos y se observó que el consumo de fluidos influyó en su efectividad operacional. Tales observaciones estimularon una serie inicial de estudios controlados de laboratorio (6, 59) y de campo (10) que demostraron que la deshidratación disminuye el rendimiento en ejercicios aeróbicos (marchas al aire libre, caminatas en cinta rodante) en los

ambientes calurosos-cálidos.

Durante las siguientes cinco décadas, otros investigadores, empleando tests de laboratorio de ejercicio/rendimiento más sofisticados, informaron de manera consistente que la deshidratación perjudica el rendimiento de ejercicios aeróbicos en ambientes templados (5, 7, 12-14, 17, 25, 29, 37, 41, 46, 61, 63, 70) y calurosos-cálidos (19, 33, 57, 58, 70, 78). Además, investigadores que utilizaron evaluaciones similares a las que se realizan en el campo, informaron que la deshidratación disminuye el rendimiento en ejercicios aeróbicos en ambientes templados (2,79) y calurosos-cálidos (43,72,75). Para resaltar son los resultados que demostraron que mientras mayor sea el nivel de deshidratación, mayor será el efecto perjudicial sobre el rendimiento en ejercicios aeróbicos (19,58). Además se observaron mayores efectos perjudiciales y más consistentes sobre el rendimiento en ejercicios aeróbicos en los ambientes calurosos-cálidos que en los ambientes templados.

Ejemplos de Apoyo

Los siguientes ejemplos experimentales utilizaron métodos diferentes, pero obtuvieron conclusiones que apoyan la opinión predominante. Se seleccionaron dos estudios que utilizaron tests de intensidad creciente, un estudio se realizó en un ambiente templado (46) y el otro se realizó en un ambiente caluroso (19). Además, se seleccionaron tres estudios que utilizaron ejercicios de intensidad constante seguidos por tests de rendimiento de esfuerzos voluntarios (en tasas de trabajo submáximas); un estudio fue realizado en un ambiente templado (17) y los otros estudios en ambientes calurosos-cálidos (7, 78).

En el estudio de Nielsen et al. (46) los sujetos realizaron ejercicios de ciclismo hasta el agotamiento (aumentando la producción de potencia a 105% VO_{2max}) en condiciones templadas en estado de euhidratación y con una deshidratación de ~2.5% de BM. Se realizaron tres tratamientos de deshidratación logrando el déficit de agua mediante exposición al calor antes de los ejercicios o mediante la administración de un diurético. La deshidratación redujo el trabajo total realizado entre 18% y 44% en los tres tratamientos. Craig y Cummings (19) hicieron que los sujetos caminaran hasta el agotamiento (aumentando la pendiente de la cinta rodante) en condiciones calurosas euhidratados y deshidratados en valores ~2% BM y ~4% BM. Los sujetos se deshidrataron descansando previamente en condiciones calurosas y con ingesta de agua restringida. El tiempo total de ejercicio se redujo en 22% y 48%, y el VO_{2max} se redujo 10% y 22% en las condiciones de deshidratación de 2% y 4% de la masa corporal (BM), respectivamente.

En el estudio de Cheuvront et al. (17) los sujetos realizaron ejercicios de ciclismo durante 30 min a intensidad constante (~50% del VO_{2max}) seguidos por una prueba de rendimiento contrarreloj de duración constante (trabajo total realizado en 30 min) en un ambiente templado. Los sujetos fueron deshidratados (3% BM) descansando en condiciones de calor con reemplazo de fluidos restringido. La deshidratación redujo 8% el trabajo total realizado. Los participantes del estudio de Below et al. (7) realizaron ejercicios de ciclismo durante 50 min a intensidad constante (~80% VO_{2max}) seguidos por un test de rendimiento con trabajo constante (tiempo para realizar una cantidad fija de trabajo) en condiciones calurosas-cálidas. Durante estas sesiones de ejercicio los sujetos reemplazaron (pérdida de 0.5% de BM) o no reemplazaron lo suficiente (pérdida de 2% de BM) sus pérdidas de agua debidas al sudor. La deshidratación redujo el trabajo total realizado en un 7%. En el estudio de Walsh y colegas (78) los sujetos realizaron ejercicios de ciclismo (70% de VO_{2max}) durante 60 min seguidos por un test de rendimiento (tiempo hasta el agotamiento a 90% de VO_{2max}) en un ambiente caluroso-cálido. Los sujetos recuperaron (pérdida de 0,5%BM) o no recuperaron (pérdida de 2% BM) las pérdidas de fluidos debidas al sudor durante estas sesiones de ejercicio. La deshidratación redujo el tiempo hasta el agotamiento en un 31%.

Estudios Experimentales que no Apoyan la Opinión Predominante

Ningún estudio discrepó con lo postulado en la opinión predominante en los ambientes calurosos-cálidos. Siete estudios encontraron que la deshidratación no disminuyó el rendimiento en ejercicios aeróbicos en ambientes templados. Cuatro de estos estudios utilizaron un nivel de deshidratación marginal (<2% BM) (3,9,36,38). Por consiguiente, sólo tres estudios (30,62,71) reportaron datos que pueden refutar la opinión predominante. Uno de esos estudios (71) utilizó una actividad con un componente anaeróbico sustancial (~4 min de remo de alta intensidad) y la deshidratación no afectó el rendimiento en el ejercicio anaeróbico (31). Otro estudio (62) informó que los sujetos se quejaron de plenitud estomacal durante las pruebas de reemplazo de fluidos por lo que la incomodidad podría haber provocado confusión en los resultados.

El último estudio (30) que no apoya la opinión predominante utilizó la potencia aeróbica máxima (VO_{2max}) como único índice de rendimiento en el ejercicio aeróbico. La deshidratación deteriora consistentemente al VO_{2max} en los ambientes calurosos-cálidos (19,57), pero en los ambientes templados el VO_{2max} puede disminuir (9,13,14) o no (9,13,14). Sin embargo, aquellos investigadores que no observaron ningún cambio en VO_{2max} con la deshidratación, pero que incluyeron otros índices de rendimiento en los ejercicios aeróbicos, informaron que la deshidratación disminuyó ese otro índice (2,14,63). Por consiguiente, los datos de Houston y colegas (30) no necesariamente refutan la opinión predominante.

Panel de especialistas. Apoyo

Tres paneles de "expertos" se establecieron para evaluar la evidencia científica que considera diferentes problemas sobre la hidratación. El Instituto de Medicina de la Academia Nacional de Ciencia formaron un panel de expertos sobre las ingestas dietarias de referencia para el agua y los electrolitos, y los mismos concluyeron que la deshidratación "afecta negativamente las actividades del ejercicio aeróbico" (31). El Colegio Americano de Medicina del Deporte organizó dos paneles para abordar un análisis de taxonomía de la solidez de recomendación sobre aspectos vinculados a la hidratación y ambos paneles concluyeron (con la mayor tasa de solidez/fuerza de apoyo) que la deshidratación deteriora el rendimiento en el ejercicio aeróbico (1,15).

Conclusión

Hay evidencia aplastante de apoyo, proveniente de estudios experimentales que demuestran que la deshidratación (>2% BM) afecta negativamente el rendimiento en el ejercicio aeróbico, en ambientes templados y calurosos-cálidos. Cualquier argumento eficaz contra esta opinión predominante debe ser apoyado por estudios experimentales legítimos que demuestren otra cosa.

Respuesta a la Opinión Alternativa

El Dr. Noakes señala dos puntos: 1) afirma que en "algunos" humanos que se deshidratan antes o durante el ejercicio, se observará una disminución en el rendimiento y concluye que no hay "ninguna necesidad de debatir" ese asunto, y 2) entonces argumenta que los experimentos de deshidratación no deben ser interpretados "según modelo simplista de fisiología humana" y que es "el desarrollo de sed lo que disminuye el rendimiento físico".

Concesión acerca de que la Deshidratación Disminuye el Rendimiento Físico

Con respecto al primer punto, el uso del adjetivo "algunos" sujetos implica menos de la inmensa mayoría y subestima injustamente la conclusión aplastante de estudios experimentales que demuestran que la deshidratación (>2% BM) afecta el rendimiento del ejercicio aeróbico. Además, el deterioro del rendimiento fue demostrado de forma consistente en estudios que utilizaron un amplio rango de metodologías de pérdida de fluidos y rehidratación (entre las que se incluían beber durante el ejercicio) que sólo fortalecen la opinión predominante.

¿"Modelo simplista de Fisiología Humana"?

Los mecanismos fisiológicos que explican las disminuciones en el rendimiento debidas a la deshidratación no son simplistas e incluyen un aumento en la hipertermia (18), una mayor tensión cardiovascular (39,40), menor flujo de sangre en el músculo esquelético (27), alteraciones en el metabolismo del músculo esquelético (aumento en la utilización de glucógeno y acumulación de lactato) (28), patrones de EMG alterados (8) y mayor percepción de esfuerzo (39) durante el ejercicio. Aunque cada mecanismo fisiológico es único, la evidencia sugiere que los mismos contribuyen de manera integrada y multifactorial para afectar el rendimiento (67). La contribución relativa de cada mecanismo es probablemente diferente dependiendo de la actividad de ejercicio, ambiente y del estado biomédico de los atletas, pero el aumento en la hipertermia parece ser crítico para la disminución del rendimiento.

La deshidratación aumenta la hipertermia (a una tasa metabólica dada) durante el ejercicio aeróbico en ambientes templados y calurosos-cálidos (11,65). El aumento en la hipertermia es proporcional a la magnitud del déficit de agua (39, 40, 66). La deshidratación aumenta la hipertermia reduciendo la dispersión de calor, a medida que tanto el sudor (42,66) como el flujo de sangre superficial (32,45) disminuyen para una cierta temperatura central. La deshidratación a partir de pérdida de fluidos por sudor, aumentará la osmolalidad del plasma y disminuirá el volumen plasmático de manera proporcional a la magnitud del déficit de agua corporal (31). La hiperosmolalidad y la hipovolemia ejercen ambos efectos separados y combinados, en la reducción de la dispersión de calor aumentando así la hipertermia en condiciones de deshidratación (18).

La hipertermia sola aumenta la tensión cardiovascular, altera el metabolismo del músculo esquelético (26), reduce el flujo de sangre al cerebro y altera el metabolismo del cerebro (56), altera la actividad del CNS (55), atenúa la generación de fuerza muscular (54) y aumenta la percepción de esfuerzo. Estos eventos fisiológicos producidos por la hipertermia sola, son similares a los eventos fisiológicos producidos por la deshidratación, que aumenta la hipertermia. Finalmente, la evidencia experimental sobre los eventos fisiológicos mediados por la hipertermia y la disminución en el rendimiento de los test de laboratorio asociada, están apoyadas por análisis que demuestran que el rendimiento en una carrera de maratón real, disminuye progresivamente al aumentar el estrés por calor medioambiental (24).

¿"La Sed disminuye el Rendimiento Físico"?

La noción del Dr. Noakes acerca de que "es el desarrollo de sed lo que afecta el rendimiento físico-como parte de un control anticipatorio" no es necesariamente consistente con lo que se conoce en fisiología y carece de apoyo experimental. En primer lugar, muchas señales fisiológicas claves (hiperosmolalidad, hipovolemia) para la sed, son las mismas señales que median el aumento en la hipertermia y la tensión cardiovascular en la deshidratación (34). En segundo lugar, no dispongo de datos que apoyen que la sed es un proceso adelantado que se presenta antes que cualquier señal de volumen osmótico o de deshidratación, o que si se produce sola producirá eventos fisiológicos consistentes con la disminución en el rendimiento. Tercero, de los seis estudios postulados como apoyo de la noción de que "la sed disminuye el rendimiento", ningún estudio midió la sed, tres estudios (4, 7, 38) no alcanzaron un nivel de deshidratación >2% BM, tres estudios (7,37,38) no utilizaron tratamientos donde se podía beber ad libitum y dos estudios (4,20) produjeron un consumo excesivo de bebida que provocó una plenitud gástrica incómoda, lo que probablemente afectó el rendimiento. Cuarto, es difícil convencerse que una deshidratación de 11% de BM no disminuye el rendimiento de ejercicios aeróbicos, cuando no queda claro si los niveles de hidratación fueron cuidadosamente determinados y cuando no hay ningún control experimental para verificar que el rendimiento se mantuvo (68,69).

AFIRMACIONES DE CONCLUSION

La deshidratación (déficit de agua >2% BM) disminuye consistentemente el rendimiento del ejercicio aeróbico en ambientes templados y calurosos-cálidos. Los mecanismos fisiológicos que contribuyen con la disminución en el rendimiento mediada por la deshidratación, incluyen aumento en la hipertermia, mayor tensión cardiovascular, alteración en las funciones del metabolismo y del sistema nervioso central y aumento en la percepción de esfuerzo. El Dr. Noakes puede no estar de acuerdo con los modelos fisiológicos convencionales que explican la disminución en el rendimiento mediada por la deshidratación, pero su noción alternativa todavía espera ser apoyada por evidencia experimental.

OPINIÓN ALTERNATIVA

Timothy D. Noakes

Esta absolutamente establecido que algunos humanos que o (i) comienzan una prueba de ejercicio con pérdida de fluidos aguda inducida por ejemplo, por exposición prolongada (6 h) a un ambiente cálido (19) o por ejercicio previo prolongado (2 h) en condiciones incómodas de calor durante los cuales no ingirieron ningún fluido (21); o después del tratamiento previo con un diurético que aumente la cantidad de orina y la pérdida de electrolitos (2) induciendo los incómodos síntomas de poliuria; o quién (ii) o no bebe nada o bebe poco durante el ejercicio [por ejemplo, (10, 33,59,75)], presentará una disminución medible en el rendimiento físico. Dado que soy un coautor de dos estudios (23,78) que demuestran este efecto en condiciones experimentales más realistas, sería poco inteligente negar que existe. De hecho recientemente escribí: "estos datos apoyan claramente la conclusión que el hecho de no beber nada de líquido durante el ejercicio probablemente disminuye el rendimiento, sobre todo durante la realización de ejercicios prolongados en condiciones de calor" (50).

Por lo tanto no hay necesidad de debatir si el rendimiento físico de algunos individuos disminuirá si ellos o comienzan el ejercicio en un estado en el cual su contenido total de agua corporal (TBW) ha sido reducido artificialmente o si no se les permiten beber durante el ejercicio. Más bien mi argumento es que los resultados de estos experimentos han sido interpretado según un modelo simplista de fisiología humana. Aquí, yo planteo que es el desarrollo de sed lo que disminuye el rendimiento físico por lo que los atletas que beban lo suficiente para evitar tener sed durante el ejercicio, optimizarán su rendimiento sin tener en cuenta la magnitud en la cual disminuya su TBW ni en que nivel se "deshidraten". Yo presento mi argumento planteando cuatro interrogantes principales:

- i. ¿Cual es la relevancia de la mayoría de éstos "estudios citados clásicamente" para el mundo real del deporte competitivo y del ejercicio recreativo?
- ii. ¿Cual es el diseño experimental óptimo para estudiar los efectos de "la deshidratación " en el rendimiento físico?
- iii. ¿Cuál/es mecanismo/s biológicos probablemente expliquen este efecto?
- iv. En base a esta información, ¿cómo debemos aconsejar a los atletas acerca de beber líquidos durante el ejercicio?

Hay dos características comunes que tiene la realización de muchos experimentos de laboratorio realizados en el ámbito de las ciencias aplicadas del deporte. Primero, los estudios generalmente están diseñados (y correctamente), para establecer las consecuencias biológicas de una intervención específica sobre la fisiología y rendimiento físico; por ejemplo, los efectos de la reducción en TBW previa al ejercicio, o la ingesta restringida de fluidos.

Pero el diseño de estos experimentos a menudo fuerza conductas que los atletas nunca adoptarían durante un deporte competitivo o un ejercicio recreativo. De manera similar los autores de estos estudios normalmente generalizan los resultados del estudio a condiciones del mundo real que no habían sido simuladas en los experimentos originales.

Por ejemplo, ningún atleta a excepción de que aquellos que participan deportes que involucran las categorías de peso, comenzaría el ejercicio después de pasar 6 horas en un ambiente caluroso, seco sin beber como en el caso del estudio de Craig y Cummings (19). Tampoco realizarían "entrada en calor" realizando ejercicios durante 2 horas sin beber como ocurrió en el estudio de Dougherty et al. (21). ni, a menos que estén bajo tratamiento para hipertensión, considerarían realizar ejercicios después de la administración aguda de un diurético como en el estudio de Armstrong et al. (2). Tampoco habría muchos atletas modernos que realicen ejercicio con entusiasmo durante cualquier cantidad de tiempo si saben de antemano que estarán forzados a beber menos de lo que su sed les dicte, como en muchos de los estudios clásicos originales (2,10,33,59,75).

Segundo, los resultados de estos estudios son inevitablemente interpretados según la filosofía del reduccionismo (52) y según un modelo simplista de fisiología del ejercicio (53). Por lo tanto generalmente se supone que cualquier disminución en el rendimiento medido puede ser causada exclusivamente por la variable que se mide con más frecuencia, denominada nivel de "deshidratación" que se desarrolla antes o durante el ejercicio. Entonces la conclusión generalizada es que el rendimiento en cualquier tipo de ejercicio, independientemente de la circunstancia, se verá siempre afectado cada vez que se exceda el nivel específico (crítico) de "deshidratación". Pero el rendimiento físico es un fenómeno complejo que raramente está regulado por una sola variable (74).

Los estudios que obviamente merecen esta crítica de reduccionismo son aquellos en los cuales "la deshidratación" es inducida con diuréticos. Un estudio frecuentemente citado (2) no incluyó los controles para medir cualquier efecto directo de la droga en el rendimiento físico. Más bien se supuso que la droga actúa exclusivamente reduciendo el TBW. Pero los atletas no pueden comenzar una serie de ejercicios en un estado psicológico ideal, si han pasado las 4 últimas horas tratando de mitigar los incómodos síntomas causados por la poliuria.

De manera similar, aquellos atletas que comienzan una serie de ejercicios sabiendo que no recibirán ningún fluido, tendrán una actitud mental diferente que si supieran de antemano que se les permitirá beber libremente. Por ejemplo, nuestro estudio aun no publicado (22), demostró que los sujetos que al comenzar el ejercicio sabían que sus ingestas de fluidos se restringirían durante el ejercicio, comenzaron la serie de ejercicios a una intensidad de ejercicio más baja que cuando sabían que podrían beber sin restricción. Dado que este efecto estaba presente al comenzar el ejercicio, pudo no deberse a "la deshidratación" si no a un cambio conductual "por anticipación" de la sesión de ejercicio. De hecho nosotros hemos demostrado que el rendimiento físico en condiciones de calor está regulado "por anticipación" (77).

Si no comprendemos todos los factores que alteran el comportamiento del ejercicio "por anticipación", es presuntuoso asumir que las alteraciones en el rendimiento físico producidas por intervenciones impuestas antes de la serie de ejercicios, pueden ser todas explicadas por una sola variable, "la deshidratación", medida durante el ejercicio.

Debido a que no podemos separar el efecto en el rendimiento de los ejercicios subsiguientes, de las intervenciones que producen "deshidratación" de cualquier efecto que resulte directamente de esa "deshidratación", deducimos que sólo aquellos estudios en los cuales "la deshidratación" se desarrolla durante el ejercicio proporcionan una medida válida de los efectos directos de "la deshidratación". Además, dado que la conducta natural es beber ad libitum durante el ejercicio, es decir, en respuesta a los dictados de la sed, deducimos la condición control de cuanto beber, en todos los experimentos debe ser la condición donde se bebe ad libitum.

Si bien tales experimentos establecerán el comportamiento de bebida que optimiza el rendimiento físico, aún así no podrán determinar fácilmente el mecanismo exacto que explique este efecto. Para ello es difícil de excluir la posibilidad que la disminución en el rendimiento físico es parte del mecanismo de sed regulado centralmente en el cerebro como parte de un complejo e inteligente sistema de control (74).

Por ejemplo, nuestro modelo de regulación del ejercicio (52,74) plantea la teoría que el feedback sensorial de muchos órganos y tejidos regula la magnitud del reclutamiento del músculo esquelético durante el ejercicio y de esta manera la intensidad de ejercicio que puede ser mantenida. Conforme a este modelo, la sed, como el índice de esfuerzo percibido (73), actúa como percepción consciente de que se está desarrollando una perturbación en la homeostasis celular (en este caso un aumento inaceptable en la osmolalidad del plasma debida a una gran reducción en TBW) para inducir dos cambios conductuales cruciales, cuya meta es limitar la magnitud de esta perturbación. Éstos cambios de conducta son (i) un aumento en la bebida y (ii) una reducción en la intensidad del ejercicio (hasta el momento en que el atleta reconoce la causa de la perturbación homeostática y comienza a beber apropiadamente).

El componente esencial de este modelo es que predice el cambio de conducta (aumento en la bebida y alteración en la intensidad del ejercicio) antes de que se produzca una falla catastrófica en la homeostasis (53). Nosotros hemos demostrado que este modelo complejo, inteligente explica adecuadamente la respuesta conductual del cerebro al estrés por ejercicio en calor (77). Pero los fisiólogos del ejercicio que han sido educados tradicionalmente y que no comprenden la naturaleza anticipatoria de estos controles, concluirán incorrectamente que el mismo punto final que el cerebro desea

evitar, en este caso un marcado aumento en la osmolalidad del plasma causado por una gran reducción en TBW ("deshidratación") es, en su interpretación, la causa singular de la alteración en el rendimiento físico.

Hasta el presente la literatura publicada incluye seis estudios [Tabla II en (50)] con un adecuado diseño experimental (4, 7, 20, 22, 37, 38) establecido para distinguir (i) los efectos directos de la deshidratación de los efectos potencialmente debidos al técnicas que inducen "la deshidratación" y (ii) el posible papel de la sed como un regulador de la respuesta del ejercicio. Estos estudios permiten extraer una conclusión precisa: En ningún estudio beber más fluido que el que dicta la sed (y que produce menores niveles de "deshidratación") produjo un mayor rendimiento que beber ad libitum (según los dictados de la sed). Así, estos estudios apoyan las predicciones del modelo que sostiene que la sed también funciona para modular el rendimiento físico como parte de un control anticipatorio y que beber " más allá de la sed " para prevenir " la deshidratación ", no producirá una respuesta superior.

El hallazgo que beber siguiendo los dictados de la sed optimiza el rendimiento físico (50), sugiere que el nivel absoluto de "deshidratación" no explica por qué beber menos de lo que corresponde durante el ejercicio disminuye el rendimiento. Si este fuera el caso todos los atletas desarrollarían un nivel idéntico de "deshidratación" al ingerir fluidos ad libitum durante el ejercicio. Este nivel sería un poco inferior al valor crítico que algunos creen que disminuye el rendimiento físico (21). Pero claramente este no es el caso. Más bien en nuestro estudio [Figura 1 en (15)] observamos que atletas que compiten en eventos de resistencia en los que los fluidos son proporcionados ad libitum, finalizan con variaciones en el peso corporal (BW) que varían de una pérdida de -11% BW a una ganancia +6% BW. Nosotros también hemos aportado evidencia que los factores genéticos que regulan la respuesta de la sed podrían explicar esta respuesta sumamente individual (64).

Por lo tanto, hemos propuesto que beber adecuadamente durante el ejercicio influencia el rendimiento previniendo la sed, cuyo desarrollo altera la conducta del ejercicio de una manera anticipatoria como parte de un proceso regulador. Mientras que el atleta no esté sediento, nosotros especulamos que un nivel de "deshidratación" incluso de aprox -11% BW podría no afectar el rendimiento físico (68, 69).

Esto es simple: Beba según los dictados de la sed. Si usted está sediento, beba, si no, no lo haga. Todo el resto es detalle.

El diseño experimental y la interpretación poco precisa de estudios de investigación según un modelo simplista de función fisiológica humana durante el ejercicio, no permite concluir que el nivel de "deshidratación" es la única causa de cualquier perjuicio en el rendimiento físico medido en sujetos que comienzan el ejercicio con un TBW reducido o que beben menos de lo que les dicta su sed durante el ejercicio. Una conclusión más defendible es que cualquier deterioro puede ser un componente del mecanismo de la sed, regulado centralmente en el cerebro, cuya meta es asegurar que los atletas no dañen su salud mientras continúan con el ejercicio y beben muy poco durante el mismo. En cualquier caso la prevención de la sed en lugar de "la deshidratación" optimizará el rendimiento físico.

Respuesta a la Opinión Predominante

El punto clave en mi perspectiva novedosa es que los científicos han usado un modelo de fisiología del ejercicio simplista (reduccionista) para interpretar los resultados de los estudios realizados con el fin de determinar si "la deshidratación" altera el rendimiento físico. Pero cuando se interpretan conforme a un modelo complejo de rendimiento físico humano (74), sus diseños experimentales usuales no pueden demostrar que un nivel específico de "deshidratación" sea la causa directa de la disminución en el rendimiento físico en todos los humanos. Éstos diseños no pueden refutar la teoría alternativa que afirma que la sensación de sed, acción que forma parte de un sistema regulador anticipatorio, altera la conducta del ejercicio en aquéllos que comenzaron el ejercicio en un estado "deshidratado" o en quienes beben menos de lo que les dicta la sed.

Más bien, yo propuse que el rendimiento físico se maximiza bebiendo según los dictados de la sed (ad libitum) (50). Dado que la bebida ad libitum que maximiza el rendimiento no produce niveles similares de deshidratación en todos los humanos durante el ejercicio, pero puede producir cambios en el peso corporal porcentual (BW) que varían de una ganancia de 6% a una pérdida de 11% (51), entonces la conclusión que un nivel específico de deshidratación, digamos una pérdida de BW de 2%, siempre producirá una disminución en el rendimiento físico en todos los humanos, no puede ser correcta. En cambio yo planteo que cualquier disminución en el rendimiento físico en sujetos "deshidratados" debe estar vinculada causalmente con el mecanismo de la sed y no con el nivel de "deshidratación" (ya que en ausencia de sed el rendimiento físico puede no verse afectado, independientemente del nivel de "deshidratación" que está presente).

Yo también planteo que el nivel de "deshidratación " (detectado como un cambio en la osmolaridad del plasma) será una de las principales variables homeostáticas que un sistema complejo regulará activamente durante el ejercicio. Según esta interpretación, "la deshidratación" no es la "causa" directa de un rendimiento físico deteriorado. Más bien, el rendimiento físico es modificado (disminuido) en ciertas condiciones estresantes con el fin de asegurar que la osmolalidad del cerebro permanezca dentro del rango homeostático. Para reiterar el argumento: Una reducción inaceptable en el volumen total de agua corporal es el punto final que el cerebro debe evitar para no ser dañado por un aumento profundo en la osmolalidad

intracelular. Así, el cerebro debe regular las conductas del atleta "de manera anticipada" para asegurar que durante el ejercicio solo se desarrollen niveles aceptables de "deshidratación". La sed progresivamente más severa aumentará la incomodidad de los atletas, lo que conducirá a una reducción involuntaria en la tasa de trabajo. Finalmente el atleta elegirá detenerse y consumir fluidos.

Finalmente, esta interpretación explica dos fenómenos que los promotores de la "la hipótesis de la deshidratación" (48) han decidido ignorar: 1) Los atletas de élite parecen no beber mucho durante el ejercicio (44, 47) y 2) a menudo los finalistas más rápidos en los eventos de resistencia están entre los más deshidratados (17,44,60,68,69,80). Si estos atletas tienen menos probabilidad de sentirse sedientos como resultado de la variación genética (64), entonces esta paradoja se puede entender más fácilmente.

La perspectiva predominante del Dr. Sawka está construida cuidadosamente y revisa con precisión el estado de conocimiento en este campo. Pero los datos han sido interpretados conforme al modelo reduccionista convencional de la fisiología del ejercicio que yo considero simplista. Por lo tanto, no son los resultados los que están errados, si no la forma en que han sido interpretados. Cuando sean interpretados según las predicciones de un sistema regulador complejo, ninguna parte de la revisión del Dr. Sawka se opondrá a mis conclusiones.

Así, sus primeros tres estudios ejemplares (16,19,46) muestran que el rendimiento físico se altera en quienes comienzan el ejercicio en un estado "deshidratado" inducido por diferentes intervenciones. Lógicamente, ni este ni cualquier otro diseño experimental puede determinar si es el desarrollo de sed o "la deshidratación" producida por estas intervenciones lo que perjudica el rendimiento en el ejercicio subsiguiente.

Sin embargo, el hallazgo del Dr. Sawka y sus colegas (16) acerca de que la "deshidratación" previa disminuye el rendimiento en el ejercicio subsiguiente en condiciones de calor pero no en condiciones de frío, puede ser explicado más fácilmente por un sistema inteligente complejo que utiliza el mecanismo de la sed para regular el rendimiento físico.

Las respuestas biológicas al ejercicio medidas en ese estudio fueron notablemente similares en el calor y en el frío, independientemente del nivel de hidratación. Esto demuestra que el deterioro en el rendimiento físico en la condición "deshidratado" no fue causado por aquellas variables que se miden normalmente, como aumento en la "tensión cardiovascular o la hipertermia acelerada, que normalmente se invocan para explicar cómo la deshidratación afecta el rendimiento físico (17).

En cambio los índices de esfuerzo percibido (RPE) eran idénticos en todas las condiciones de ejercicio a pesar de las diferencias en el rendimiento físico. Pero dado que los sujetos "deshidratados" realizaron ejercicios con una menor tasa de trabajo en condiciones de calor, sus RPE deben haber sido "regulados por incremento" por la presencia de sed o por "la deshidratación" o por ambos. Este mecanismo regulador asegura que la tasa de trabajo del ejercicio disminuya "de manera anticipada" (35), probablemente para asegurar que el cerebro esté protegido de un gran cambio en su osmolalidad.

Nosotros hemos planteado repetidamente que el RPE es utilizado por el sistema inteligente complejo para asegurar que los humanos finalicen el ejercicio cuando aun están en homeostasis (49,76,77). Así, el estudio de Dr. Sawka y sus colegas (16) confirma que la "deshidratación" modifica la respuesta del RPE al ejercicio, tal como se esperaría si un sistema complejo regulara el rendimiento físico humano.

En los otros dos estudios mencionados como ejemplo por el Dr. Sawka, los sujetos o no bebieron nada (78) o bebieron menos que los volúmenes usuales ad limitum (5) durante el ejercicio. Por lo tanto no hay ningún conflicto con nuestra hipótesis que afirma que es la sed actuando de manera "anticipada" la que modifica el rendimiento físico, específicamente para limitar hasta que punto cambia la osmolalidad del cerebro durante el ejercicio.

DECLARACION FINAL DE CONCLUSION

Nosotros proponemos que, como parte de un sistema complejo de regulación del ejercicio (74), el síntoma de la sed actúa "de manera anticipada" para regular el rendimiento físico en aquellos que beben menos de lo que se necesita para mantener un nivel aceptable de homeostasis. Según esto la interpretación, no es el nivel de "deshidratación" lo que disminuye el rendimiento físico; si no que el rendimiento físico se altera para limitar hasta que punto aumenta la osmolalidad del cerebro. Como resultado, los niveles perjudiciales de "deshidratación" no serán alcanzados por aquellos que beben según los dictados de su sed durante el ejercicio. Tampoco disminuirá su rendimiento.

REFERENCIAS

1. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE (2007). Position Stand: Exercise and fluid replacement. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39:377-390
2. ARMSTRONG, L. E., D. L. COSTILL, and W. J. FINK (1985). Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17:456-461
3. BACHLE, L., J. ECKERSON, L. ALBERTSON, K. EBERSOLE, J. GOODWIN, and D. PETZEL (2001). The effect of fluid replacement on endurance performance. *J. Strength Cond. Res.* 15:217-224
4. BACKX, K., K. A. VAN SOMEREN, and G. S. PALMER (2003). One hour cycling performance is not affected by ingested fluid volume. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 13: 333-342
5. BARR, S. I., D. L. COSTILL, and W. J. FINK (1991). Fluid replacement during prolonged exercise: effects of water, saline, or no fluid. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23:811-817
6. BEAN, W. B., and L. W. EICHNA (1943). Performance in relation to environmental temperature. Reactions of normal young men to simulated desert environment. *Fed. Proc.* 2:144-158
7. BELOW, P. R., R. MORA-RODRIGUEZ, J. GONZALEZALONSO, and E. F. COYLE (1995). Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1 h of intense exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27:200-210
8. 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
9. BOCK, W., E. L. FOX, and R. BOWERS (1967). The effects of acute dehydration upon cardio-respiratory endurance. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 7:67-72
10. BROWN, A. H (1947). Dehydration exhaustion. In: *Physiology of Man in the Desert*, E. F. ADOLPH (Ed.). New York: Interscience Publishers, Inc., pp. 208-225
11. BUONO, M. J., and A. J. WALL (2000). Effect of hypohydration on core temperature during exercise in temperate and hot environments. *Pflugers. Arch.* 440:476-480
12. BURGE, C. M., M. F. CAREY, and W. R. PAYNE (1993). Rowing performance, fluid balance, and metabolic function following dehydration and rehydration. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25:1358-1364
13. BUSKIRK, E. R., P. F. IAMPINETRO, and D. E. BASS (1958). Work performance after dehydration: effects of physical conditioning and heat acclimatization. *J. Appl. Physiol.* 12:189-194
14. CALDWELL, J. E., E. AHONEN, and U. NOUSIAINEN (1984). Differential effects of sauna-, diuretic-, and exercise induced hypohydration. *J. Appl. Physiol.* 57:1018-1023
15. CASA, D. J., P. M. CLARKSON, and W. M. ROBERTS (2005). American College of Sports Medicine roundtable on hydration and physical activity: consensus statement. *Curr. Sports Med. Rep.* 4:115-127
16. CHEUVRONT, S. N., R. CARTER III, and M. N. SAWKA (2003). Fluid balance and endurance exercise performance. *Curr. Sports Med. Rep.* 2:202-208
17. CHEUVRONT, S. N., R. CARTER III, J. W. CASTELLANI, and M. N. SAWKA (2005). Hypohydration impairs endurance exercise performance in temperate but not cold air. *J. Appl. Physiol.* 99:1972-1976
18. CHEUVRONT, S. N., R. CARTER III, S. J. MONTAIN, L. A. STEPHENSON, and M. N. SAWKA (2004). Influence of hydration and air flow on thermoregulatory control in the heat. *J. Thermal Biol.* 29:471-477
19. CRAIG, F. N., and E. G. CUMMINGS (1966). Dehydration and muscular work. *J. Appl. Physiol.* 21:670-674
20. DARIES, H. N., T. D. NOAKES, and S. C. DENNIS (2000). Effect of fluid intake volume on 2-h running performances in a 25 degrees C environment. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:1783-1789
21. DOUGHERTY, K. A., L. B. BAKER, M. CHOW, and W. L. KENNEY (2006). Two percent dehydration impairs and six percent carbohydrate drink improves boys basketball skills. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38:1650-1658
22. DUGAS, J. P., V. OOSTHUIZEN, R. TUCKER, and T. D. NOAKES (2006). Drinking ad libitum optimises performance and physiological function during 80 km indoor cycling trials in hot and humid conditions with appropriate convective cooling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38:S176
23. EDWARDS, A. M., M. E. MANN, M. J. MARFELL-JONES, D. M. RANKIN, T. D. NOAKES, and D. P. SHILLINGTON (2007). The influence of moderate dehydration on soccer performance: physiological responses to 45-min of outdoors match-play and the immediate subsequent performance of sport-specific and mental concentration tests. *Br. J. Sports Med*
24. ELY, M. R., S. N. CHEUVRONT, W. O. ROBERTS, and S. J. MONTAIN (2007). Impact of weather on marathon-running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39:487-493
25. FALLOWFIELD, J. L., C. WILLIAMS, J. BOOTH, B. H. CHOO, and S. GROWNS (1996). Effect of water ingestion on endurance capacity during prolonged running. *J. Sports Sci.* 14:497-502
26. FEBBRAIO, M. A., R. J. SNOW, M. HARGREAVES, C. G. STATHIS, I. K. MARTIN, and M. F. CAREY (1994). Muscle metabolism during exercise and heat stress in trained men: effect of acclimation. *J. Appl. Physiol.* 76: 589-597
27. GONZALEZ-ALONSO, J., J. A. CALBET, and B. NIELSEN (1998). Muscle blood flow is reduced with dehydration during prolonged exercise in humans. *J. Physiol.* 513(Pt 3): 895-905
28. HARGREAVES, M., P. DILLO, D. ANGUS, and M. FEBBRAIO (1996). Effect of fluid ingestion on muscle metabolism during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.* 80:363-366
29. HERBERT, W. G., and P. M. RIBISL (1972). Effects of dehydration upon physical working capacity of wrestlers under competitive conditions. *Res. Q.* 43:416-422
30. HOUSTON, M. E., D. A. MARRIN, H. J. GREEN, and J. A. THOMSON (1981). The effect of rapid weight loss on physiological functions in wrestlers. *Physician and Sportsmedicine* 9:73-78
31. INSTITUTE OF MEDICINE (2005). Water. In: *Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate*,

32. KENNEY, W. L., C. G. TANKERSLEY, D. L. NEWSWANGER, D. E. HYDE, S. M. PUHL, and N. L. TURNER (1990). Age and hypohydration independently influence the peripheral vascular response to heat stress. *J. Appl. Physiol.* 68:1902-1908
33. LADELL, W. S (1955). The effects of water and salt intake upon the performance of men working in hot and humid environments. *J. Physiol.* 127:11-46
34. MACK, G. W (2006). The body fluid and hemopoietic systems. . In: *ACSM's Advanced Exercise Physiology*, C. M. TIPTON, M. N. SAWKA, C. A. TATE, and R. L. TERJUNG (Eds.). Baltimore, MD: Lippincott, Williams & Wilkins, pp. 501-531
35. MARINO, F. E., M. I. LAMBERT, and T. D. NOAKES (2004). Superior performance of African runners in warm humid but not in cool environmental conditions. *J. Appl. Physiol.* 96:124-130
36. MAUGHAN, R. J., C. E. FENN, and J. B. LEIPER (1989). Effects of fluid, electrolyte and substrate ingestion on endurance capacity. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 58:481-486
37. MCCONELL, G. K., C. M. BURGE, S. L. SKINNER, and M. HARGREAVES (1997). Influence of ingested fluid volume on physiological responses during prolonged exercise. *Acta Physiol. Scand.* 160:149-156
38. MCCONELL, G. K., T. J. STEPHENS, and B. J. CANNY (1999). Fluid ingestion does not influence intense 1-h exercise performance in a mild environment. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:386-392
39. MONTAIN, S. J., and E. F. COYLE (1992). Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J. Appl. Physiol.* 73:1340-1350
40. MONTAIN, S. J., M. N. SAWKA, W. A. LATZKA, and C. R. VALERI (1998). Thermal and cardiovascular strain from hypohydration: influence of exercise intensity. *Int. J. Sports Med.* 19:87-91
41. MONTAIN, S. J., S. A. SMITH, R. P. MATTOT, G. P. ZIENTARA, F. A. JOLESZ, and M. N. SAWKA (1998). Hypohydration effects on skeletal muscle performance and metabolism: a 31P-MRS study. *J. Appl. Physiol.* 84:1889-1894
42. MONTAIN, S. J., W. A. LATZKA, AND M. N. SAWKA (1995). Control of thermoregulatory sweating is altered by hydration level and exercise intensity. *J. Appl. Physiol.* 79:1434-1439
43. MUDAMBO, K. S., G. P. LEESE, and M. J. RENNIE (1997). Dehydration in soldiers during walking/running exercise in the heat and the effects of fluid ingestion during and after exercise. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 76:517-524
44. MUIR, A. L., I. W. PERCY-ROBB, I. A. DAVIDSON, E. G. WALSH, and R. PASSMORE (1970). Physiological aspects of the Edinburgh Commonwealth Games. *Lancet* 2: 1125-1128
45. NADEL, E. R., S. M. FORTNEY, and C. B. WENGER (1980). Effect of hydration state of circulatory and thermal regulations. *J. Appl. Physiol.* 49:715-721
46. NIELSEN, B., A. KUBICA, A. BONNESEN, I. RASMUSSEN, J. STOKLOSA, and B. WILK (1981). Physical work capacity after dehydration and hyperthermia. *Scand. J. Sports Sci.* 3:2-10
47. NOAKES, T. D (1993). Fluid replacement during exercise. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 21:297-330
48. NOAKES, T. D (1995). Dehydration during exercise: what are the real dangers?. *Clin. J. Sport Med.* 5:123-128
49. NOAKES, T. D (2004). Linear relationship between the perception of effort and the duration of constant load exercise that remains. *J. Appl. Physiol.* 96: 1571-1572
50. NOAKES, T. D (2007). Drinking guidelines for exercise: What evidence is there that athletes should either drink as much as tolerable, or to replace all the weight lost during exercise, or ad. *J. Sports Sci.* 25:781-796
51. NOAKES, T. D., K. SHARWOOD, D. SPEEDY, T. HEW, S. REID, J. DUGAS, C. ALMOND, P. WHARAM, and L. WESCHLER (2005). Three independent biological mechanisms cause exercise-associated hyponatremia: evidence from 2,135 weighed competitive athletic performances. *PNAS* 102:18550-18555
52. NOAKES, T. D., A. ST CLAIR GIBSON, and E. V. LAMBERT (2004). From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans. *Br. J. Sports Med.* 38:511-514
53. NOAKES, T. D., and A. ST CLAIR GIBSON (2004). Logical limitations to the catastrophe models of fatigue during exercise in humans. *Br. J. Sports Med.* 38: 648-649
54. NYBO, L., and B. NIELSEN (2001). Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* 91:1055-1060
55. NYBO, L., and B. NIELSEN (2001). Perceived exertion is associated with an altered brain activity during exercise with progressive hyperthermia. *J. Appl. Physiol.* 91:2017-2023
56. NYBO, L., K. MOLLER, S. VOLIANITIS, B. NIELSEN, and N. H. SECHER (2002). Effects of hyperthermia on cerebral blood flow and metabolism during prolonged exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* 93:58-64
57. NYBO, L., T. JENSEN, B. NIELSEN, and J. GONZALEZALONSO (2001). Effects of marked hyperthermia with and without dehydration on $V_{a}O_2$ kinetics during intense exercise. *J. Appl. Physiol.* 90:1057-1064
58. PICHAN, G., R. K. GAUTTAM, O. S. TOMAR, and A. C. BAJAJ (1988). Effect of primary hypohydration on physical work capacity. *Int. J. Biometeorol.* 32:176-180
59. PITTS, G. C., R. E. JOHNSON, and F. C. CONSOLAZIO (1944). Work in the heat as affected by intake of water, salt and glucose. *Am. J. Physiol.* 142:253-259
60. PUGH, L. G., J. L. CORBETT, and R. H. JOHNSON (1967). Rectal temperatures, weight losses, and sweat rates in marathon running. *J. Appl. Physiol.* 23:347-352
61. RIBISL, P. M., and W. G. HERBERT (1970). Effects of rapid weight reduction and subsequent rehydration upon the physical working capacity of wrestlers. *Res. Q.* 41:536-541
62. ROBINSON, T. A., J. A. HAWLEY, G. S. PALMER, ET AL (1995). Water ingestion does not improve 1-h cycling performance in moderate ambient temperatures. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 71:153-160
63. SALTIN, B (1964). Aerobic and anaerobic work capacity after dehydration. *J. Appl. Physiol.* 19:1114-1118
64. SAUNDERS, C. J., L. DE MILANDER, T. HEW-BUTLER, S. L. XENOPHONTOS, M. A. CARILOU, L. C. ANASTASSIADES, T. D. NOAKES, and M. COLLINS (2006). Dipsogenic genes associated with weight changes during Ironman triathlons. *Hum. Mol. Genet.* 15:2980-2987

65. SAWKA, M. N., M. M. TONER, R. P. FRANCESCONI, and K. B. PANDOLF (1983). Hypohydration and exercise: effects of heat acclimation, gender, and environment. *J. Appl. Physiol.* 55:1147-1153
66. SAWKA, M. N., A. J. YOUNG, R. P. FRANCESCONI, S. R. MUZA, and K. B. PANDOLF (1985). Thermoregulatory and blood responses during exercise at graded hypohydration levels. *J. Appl. Physiol.* 59:1394-1401
67. SAWKA, M. N., and A. J. YOUNG (2006). Physiological systems and their responses to conditions of heat and cold. In: *ACSM's Advanced Exercise Physiology*, C. M. TIPTON, M. N. SAWKA, C. A. TATE, and R. L. TERJUNG (Eds.). Baltimore, MD: Lippincott, Williams & Wilkins, pp. 535-563
68. SHARWOOD, K., M. COLLINS, J. GOEDECKE, G. WILSON, and T.D. NOAKES (2002). Weight changes, sodium levels, and performance in the South African Ironman Triathlon. *Clin. J. Sport Med.* 12:391-399
69. SHARWOOD, K. A., M. COLLINS, J. H. GOEDECKE, G. WILSON, and T. D. NOAKES (2004). Weight changes, medical complications, and performance during an Ironman triathlon. *Br. J. Sports Med.* 38:718-724
70. SLATER, G. J., A. J. RICE, K. SHARPE, ET AL (2005). Impact of acute weight loss and/or thermal stress on rowing ergometer performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37:1387-1394
71. SLATER, G. J., A. J. RICE, R. TANNER, K. SHARPE, D. JENKINS, and A. G. HAHN (2006). Impact of two different body mass management strategies on repeat rowing performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38:138-146
72. SMITH, M. S., R. DYSON, T. HALE, J. H. HARRISON, and P. MCMANUS (2000). The effects in humans of rapid loss of body mass on a boxing-related task. *Eur. J. Appl. Physiol.* 83:34-39
73. ST CLAIR GIBSON, A., D. A. BADEN, M. I. LAMBERT, E. V. LAMBERT, Y. X. HARLEY, D. HAMPSON, V. A. RUSSELL, and T. D. NOAKES (2003). The conscious perception of the sensation of fatigue. *Sports Med.* 33:167-176
74. ST CLAIR GIBSON, A., and T. D. NOAKES (2004). Evidence for complex system integration and dynamic neural regulation of skeletal muscle recruitment during exercise in humans. *Br. J. Sports Med.* 38:797-806
75. STRYDOM, N. B., C. H. WYNDHAM, C. H. VAN GRAAN, L. D. HOLDSWORTH, and J. F. MORRISON (1966). The influence of water restriction on the performance of men during a prolonged march. *S. Afr. Med. J.* 40:539-544
76. TUCKER, R., L. RAUCH, Y. X. HARLEY, and T. D. NOAKES (2004). Impaired exercise performance in the heat is associated with an anticipatory reduction in skeletal muscle recruitment. *Pflugers Arch.* 448:422-430
77. TUCKER, R., T. MARLE, E. V. LAMBERT, and T. D. NOAKES (2006). The rate of heat storage mediates an anticipatory reduction in exercise intensity during cycling at a fixed rating of perceived exertion. *J. Physiol.* 574:905-915
78. WALSH, R. M., T. D. NOAKES, J. A. HAWLEY, and S. C. DENNIS (1994). Impaired high-intensity cycling performance time at low levels of dehydration. *Int. J. Sports Med.* 15:392-398
79. WASTERLUND, D. S., J. CHASELING, and L. BURSTROM (2004). The effect of fluid consumption on the forest workers' performance strategy. *Appl. Ergon.* 35: 29-36
80. WYNDHAM, C. H., and N. B. STRYDOM (1969). The danger of an inadequate water intake during marathon running. *S. Afr. Med. J.* 43:893-896
81. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE (2007). Position Stand: Exercise and fluid replacement. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39:377-390
82. ARMSTRONG, L. E., D. L. COSTILL, and W. J. FINK (1985). Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17:456-461
83. BACHLE, L., J. ECKERSON, L. ALBERTSON, K. EBERSOLE, J. GOODWIN, and D. PETZEL (2001). The effect of fluid replacement on endurance performance. *J. Strength Cond. Res.* 15:217-224
84. BACKX, K., K. A. VAN SOMEREN, and G. S. PALMER (2003). One hour cycling performance is not affected by ingested fluid volume. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 13: 333-342
85. BARR, S. I., D. L. COSTILL, and W. J. FINK (1991). Fluid replacement during prolonged exercise: effects of water, saline, or no fluid. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23:811-817
86. BEAN, W. B., and L. W. EICHNA (1943). Performance in relation to environmental temperature. Reactions of normal young men to simulated desert environment. *Fed. Proc.* 2:144-158
87. BELOW, P. R., R. MORA-RODRIGUEZ, J. GONZALEZALONSO, and E. F. COYLE (1995). Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1 h of intense exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27:200-210
88. 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
89. BOCK, W., E. L. FOX, and R. BOWERS (1967). The effects of acute dehydration upon cardio-respiratory endurance. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 7:67-72
90. BROWN, A. H (1947). Dehydration exhaustion. In: *Physiology of Man in the Desert*, E. F. ADOLPH (Ed.). New York: Interscience Publishers, Inc., pp. 208-225
91. BUONO, M. J., and A. J. WALL (2000). Effect of hypohydration on core temperature during exercise in temperate and hot environments. *Pflugers Arch.* 440:476-480
92. BURGE, C. M., M. F. CAREY, and W. R. PAYNE (1993). Rowing performance, fluid balance, and metabolic function following dehydration and rehydration. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25:1358-1364
93. BUSKIRK, E. R., P. F. IAMPINETRO, and D. E. BASS (1958). Work performance after dehydration: effects of physical conditioning and heat acclimatization. *J. Appl. Physiol.* 12:189-194
94. CALDWELL, J. E., E. AHONEN, and U. NOUSIAINEN (1984). Differential effects of sauna-, diuretic-, and exercise induced hypohydration. *J. Appl. Physiol.* 57:1018-1023
95. CASA, D. J., P. M. CLARKSON, and W. M. ROBERTS (2005). American College of Sports Medicine roundtable on hydration and physical activity: consensus statement. *Curr. Sports Med. Rep.* 4:115-127
96. CHEUVRONT, S. N., R. CARTER III, and M. N. SAWKA (2003). Fluid balance and endurance exercise performance. *Curr. Sports Med. Rep.* 2:202-208
97. CHEUVRONT, S. N., R. CARTER III, J. W. CASTELLANI, and M. N. SAWKA (2005). Hypohydration impairs endurance exercise

- performance in temperate but not cold air. *J. Appl. Physiol.* 99:1972-1976
98. CHEUVRONT, S. N., R. CARTER III, S. J. MONTAIN, L. A. STEPHENSON, and M. N. SAWKA (2004). Influence of hydration and air flow on thermoregulatory control in the heat. *J. Thermal Biol.* 29:471-477
 99. CRAIG, F. N., and E. G. CUMMINGS (1966). Dehydration and muscular work. *J. Appl. Physiol.* 21:670-674
 100. DARIES, H. N., T. D. NOAKES, and S. C. DENNIS (2000). Effect of fluid intake volume on 2-h running performances in a 25 degrees C environment. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:1783-1789
 101. DOUGHERTY, K. A., L. B. BAKER, M. CHOW, and W. L. KENNEY (2006). Two percent dehydration impairs and six percent carbohydrate drink improves boys basketball skills. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38:1650-1658
 102. DUGAS, J. P., V. OOSTHUIZEN, R. TUCKER, and T. D. NOAKES (2006). Drinking *ad libitum* optimises performance and physiological function during 80 km indoor cycling trials in hot and humid conditions with appropriate convective cooling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38:S176
 103. EDWARDS, A. M., M. E. MANN, M. J. MARFELL-JONES, D. M. RANKIN, T. D. NOAKES, and D. P. SHILLINGTON (2007). The influence of moderate dehydration on soccer performance: physiological responses to 45-min of outdoors match-play and the immediate subsequent performance of sport-specific and mental concentration tests. *Br. J. Sports Med*
 104. ELY, M. R., S. N. CHEUVRONT, W. O. ROBERTS, and S. J. MONTAIN (2007). Impact of weather on marathon-running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39:487-493
 105. FALLOWFIELD, J. L., C. WILLIAMS, J. BOOTH, B. H. CHOO, and S. GROWNS (1996). Effect of water ingestion on endurance capacity during prolonged running. *J. Sports Sci.* 14:497-502
 106. FEBBRAIO, M. A., R. J. SNOW, M. HARGREAVES, C. G. STATHIS, I. K. MARTIN, and M. F. CAREY (1994). Muscle metabolism during exercise and heat stress in trained men: effect of acclimation. *J. Appl. Physiol.* 76: 589-597
 107. GONZALEZ-ALONSO, J., J. A. CALBET, and B. NIELSEN (1998). Muscle blood flow is reduced with dehydration during prolonged exercise in humans. *J. Physiol.* 513(Pt 3): 895-905
 108. HARGREAVES, M., P. DILLO, D. ANGUS, and M. FEBBRAIO (1996). Effect of fluid ingestion on muscle metabolism during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.* 80:363-366
 109. HERBERT, W. G., and P. M. RIBISL (1972). Effects of dehydration upon physical working capacity of wrestlers under competitive conditions. *Res. Q.* 43:416-422
 110. HOUSTON, M. E., D. A. MARRIN, H. J. GREEN, and J. A. THOMSON (1981). The effect of rapid weight loss on physiological functions in wrestlers. *Physician and Sportsmedicine* 9:73-78
 111. INSTITUTE OF MEDICINE (2005). Water. In: *Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate, Washington, D.C.: National Academy Press, pp. 73-105*
 112. KENNEY, W. L., C. G. TANKERSLEY, D. L. NEWSWANGER, D. E. HYDE, S. M. PUHL, and N. L. TURNER (1990). Age and hypohydration independently influence the peripheral vascular response to heat stress. *J. Appl. Physiol.* 68:1902-1908
 113. LADELL, W. S (1955). The effects of water and salt intake upon the performance of men working in hot and humid environments. *J. Physiol.* 127:11-46
 114. MACK, G. W (2006). The body fluid and hemopoietic systems. . In: *ACSM's Advanced Exercise Physiology, C. M. TIPTON, M. N. SAWKA, C. A. TATE, and R. L. TERJUNG (Eds.). Baltimore, MD: Lippincott, Williams & Wilkins, pp. 501-531*
 115. MARINO, F. E., M. I. LAMBERT, and T. D. NOAKES (2004). Superior performance of African runners in warm humid but not in cool environmental conditions. *J. Appl. Physiol.* 96:124-130
 116. MAUGHAN, R. J., C. E. FENN, and J. B. LEIPER (1989). Effects of fluid, electrolyte and substrate ingestion on endurance capacity. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 58:481-486
 117. MCCONELL, G. K., C. M. BURGE, S. L. SKINNER, and M. HARGREAVES (1997). Influence of ingested fluid volume on physiological responses during prolonged exercise. *Acta Physiol. Scand.* 160:149-156
 118. MCCONELL, G. K., T. J. STEPHENS, and B. J. CANNY (1999). Fluid ingestion does not influence intense 1-h exercise performance in a mild environment. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:386-392
 119. MONTAIN, S. J., and E. F. COYLE (1992). Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J. Appl. Physiol.* 73:1340-1350
 120. MONTAIN, S. J., M. N. SAWKA, W. A. LATZKA, and C. R. VALERI (1998). Thermal and cardiovascular strain from hypohydration: influence of exercise intensity. *Int. J. Sports Med.* 19:87-91
 121. MONTAIN, S. J., S. A. SMITH, R. P. MATTOT, G. P. ZIENTARA, F. A. JOLESZ, and M. N. SAWKA (1998). Hypohydration effects on skeletal muscle performance and metabolism: a 31P-MRS study. *J. Appl. Physiol.* 84:1889-1894
 122. MONTAIN, S. J., W. A. LATZKA, AND M. N. SAWKA (1995). Control of thermoregulatory sweating is altered by hydration level and exercise intensity. *J. Appl. Physiol.* 79:1434-1439
 123. MUDAMBO, K. S., G. P. LEESE, and M. J. RENNIE (1997). Dehydration in soldiers during walking/running exercise in the heat and the effects of fluid ingestion during and after exercise. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 76:517-524
 124. MUIR, A. L., I. W. PERCY-ROBB, I. A. DAVIDSON, E. G. WALSH, and R. PASSMORE (1970). Physiological aspects of the Edinburgh Commonwealth Games. *Lancet* 2: 1125-1128
 125. NADEL, E. R., S. M. FORTNEY, and C. B. WENGER (1980). Effect of hydration state of circulatory and thermal regulations. *J. Appl. Physiol.* 49:715-721
 126. NIELSEN, B., A. KUBICA, A. BONNESEN, I. RASMUSSEN, J. STOKLOSA, and B. WILK (1981). Physical work capacity after dehydration and hyperthermia. *Scand. J. Sports Sci.* 3:2-10
 127. NOAKES, T. D (1993). Fluid replacement during exercise. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 21:297-330
 128. NOAKES, T. D (1995). Dehydration during exercise: what are the real dangers?. *Clin. J. Sport Med.* 5:123-128
 129. NOAKES, T. D (2004). Linear relationship between the perception of effort and the duration of constant load exercise that remains. *J. Appl. Physiol.* 96: 1571-1572
 130. NOAKES, T. D (2007). Drinking guidelines for exercise: What evidence is there that athletes should either drink *ad libitum* as much as tolerable, or to replace all the weight lost during exercise, or *ad libitum*. *J. Sports Sci.* 25:781-796

131. NOAKES, T. D., K. SHARWOOD, D. SPEEDY, T. HEW, S. REID, J. DUGAS, C. ALMOND, P. WHARAM, and L. WESCHLER (2005). Three independent biological mechanisms cause exercise-associated hyponatremia: evidence from 2,135 weighed competitive athletic performances. *PNAS* 102:18550-18555
132. NOAKES, T. D., A. ST CLAIR GIBSON, and E. V. LAMBERT (2004). From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans. *Br. J. Sports Med.* 38:511-514
133. NOAKES, T. D., and A. ST CLAIR GIBSON (2004). Logical limitations to the "catastrophe" models of fatigue during exercise in humans. *Br. J. Sports Med.* 38: 648-649
134. NYBO, L., and B. NIELSEN (2001). Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* 91:1055-1060
135. NYBO, L., and B. NIELSEN (2001). Perceived exertion is associated with an altered brain activity during exercise with progressive hyperthermia. *J. Appl. Physiol.* 91:2017-2023
136. NYBO, L., K. MOLLER, S. VOLIANITIS, B. NIELSEN, and N. H. SECHER (2002). Effects of hyperthermia on cerebral blood flow and metabolism during prolonged exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* 93:58-64
137. NYBO, L., T. JENSEN, B. NIELSEN, and J. GONZALEZALONSO (2001). Effects of marked hyperthermia with and without dehydration on $V_{a}O_2$ kinetics during intense exercise. *J. Appl. Physiol.* 90:1057-1064
138. PICHAN, G., R. K. GAUTTAM, O. S. TOMAR, and A. C. BAJAJ (1988). Effect of primary hypohydration on physical work capacity. *Int. J. Biometeorol.* 32:176-180
139. PITTS, G. C., R. E. JOHNSON, and F. C. CONSOLAZIO (1944). Work in the heat as affected by intake of water, salt and glucose. *Am. J. Physiol.* 142:253-259
140. PUGH, L. G., J. L. CORBETT, and R. H. JOHNSON (1967). Rectal temperatures, weight losses, and sweat rates in marathon running. *J. Appl. Physiol.* 23:347-352
141. RIBISL, P. M., and W. G. HERBERT (1970). Effects of rapid weight reduction and subsequent rehydration upon the physical working capacity of wrestlers. *Res. Q.* 41:536-541
142. ROBINSON, T. A., J. A. HAWLEY, G. S. PALMER, ET AL (1995). Water ingestion does not improve 1-h cycling performance in moderate ambient temperatures. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 71:153-160
143. SALTIN, B (1964). Aerobic and anaerobic work capacity after dehydration. *J. Appl. Physiol.* 19:1114-1118
144. SAUNDERS, C. J., L. DE MILANDER, T. HEW-BUTLER, S. L. XENOPHONTOS, M. A. CARIOLOU, L. C. ANASTASSIADES, T. D. NOAKES, and M. COLLINS (2006). Dipsogenic genes associated with weight changes during Ironman triathlons. *Hum. Mol. Genet.* 15:2980-2987
145. SAWKA, M. N., M. M. TONER, R. P. FRANCESCONI, and K. B. PANDOLF (1983). Hypohydration and exercise: effects of heat acclimation, gender, and environment. *J. Appl. Physiol.* 55:1147-1153
146. SAWKA, M. N., A. J. YOUNG, R. P. FRANCESCONI, S. R. MUZA, and K. B. PANDOLF (1985). Thermoregulatory and blood responses during exercise at graded hypohydration levels. *J. Appl. Physiol.* 59:1394-1401
147. SAWKA, M. N., and A. J. YOUNG (2006). Physiological systems and their responses to conditions of heat and cold. In: *ACSM's Advanced Exercise Physiology*, C. M. TIPTON, M. N. SAWKA, C. A. TATE, and R. L. TERJUNG (Eds.). Baltimore, MD: Lippincott, Williams & Wilkins, pp. 535-563
148. SHARWOOD, K., M. COLLINS, J. GOEDECKE, G. WILSON, and T.D. NOAKES (2002). Weight changes, sodium levels, and performance in the South African Ironman Triathlon. *Clin. J. Sport Med.* 12:391-399
149. SHARWOOD, K. A., M. COLLINS, J. H. GOEDECKE, G. WILSON, and T. D. NOAKES (2004). Weight changes, medical complications, and performance during an Ironman triathlon. *Br. J. Sports Med.* 38:718-724
150. SLATER, G. J., A. J. RICE, K. SHARPE, ET AL (2005). Impact of acute weight loss and/or thermal stress on rowing ergometer performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37:1387-1394
151. SLATER, G. J., A. J. RICE, R. TANNER, K. SHARPE, D. JENKINS, and A. G. HAHN (2006). Impact of two different body mass management strategies on repeat rowing performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38:138-146
152. SMITH, M. S., R. DYSON, T. HALE, J. H. HARRISON, and P. MCMANUS (2000). The effects in humans of rapid loss of body mass on a boxing-related task. *Eur. J. Appl. Physiol.* 83:34-39
153. ST CLAIR GIBSON, A., D. A. BADEN, M. I. LAMBERT, E. V. LAMBERT, Y. X. HARLEY, D. HAMPSON, V. A. RUSSELL, and T. D. NOAKES (2003). The conscious perception of the sensation of fatigue. *Sports Med.* 33:167-176
154. ST CLAIR GIBSON, A., and T. D. NOAKES (2004). Evidence for complex system integration and dynamic neural regulation of skeletal muscle recruitment during exercise in humans. *Br. J. Sports Med.* 38:797-806
155. STRYDOM, N. B., C. H. WYNDHAM, C. H. VAN GRAAN, L. D. HOLDSWORTH, and J. F. MORRISON (1966). The influence of water restriction on the performance of men during a prolonged march. *S. Afr. Med. J.* 40:539-544
156. TUCKER, R., L. RAUCH, Y. X. HARLEY, and T. D. NOAKES (2004). Impaired exercise performance in the heat is associated with an anticipatory reduction in skeletal muscle recruitment. *Pflugers Arch.* 448:422-430
157. TUCKER, R., T. MARLE, E. V. LAMBERT, and T. D. NOAKES (2006). The rate of heat storage mediates an anticipatory reduction in exercise intensity during cycling at a fixed rating of perceived exertion. *J. Physiol.* 574:905-915
158. WALSH, R. M., T. D. NOAKES, J. A. HAWLEY, and S. C. DENNIS (1994). Impaired high-intensity cycling performance time at low levels of dehydration. *Int. J. Sports Med.* 15:392-398
159. WASTERLUND, D. S., J. CHASELING, and L. BURSTROM (2004). The effect of fluid consumption on the forest workers' performance strategy. *Appl. Ergon.* 35: 29-36
160. WYNDHAM, C. H., and N. B. STRYDOM (1969). The danger of an inadequate water intake during marathon running. *S. Afr. Med. J.* 43:893-896

Cita Original

Sawka MN, Noakes TD. (2007) Does dehydration impair exercise performance? *Med Sci Sports Exerc*; 39(8):1209-17