

Medicine & Science in Sports & Exercise®

Volumen 39, Número 2
2007

Pronunciamento

Ejercicio y reposición de líquidos

Este pronunciamento fue escrito por el Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM por sus siglas en inglés), por Michael N. Sawka, FACSM (Director); Louise M. Burke, FACSM, E. Randy Eichner, FACSM, Ronald J. Maughan, FACSM, Scott J. Montain, FACSM, Nina S. Stachenfeld, FACSM.

Este documento fue traducido al idioma español por María de Lourdes Mayol-Soto, M.Sc. (Gatorade Sports Science Institute y Universidad Iberoamericana). Se agradece la revisión de la traducción a Luis Fernando Aragón-Vargas, Ph.D., FACSM (Universidad de Costa Rica y Gatorade Sports Science Institute).

RESUMEN

Este pronunciamento da una guía de reposición de líquidos para mantener una hidratación adecuada de los individuos que realizan actividad física. La meta de la hidratación antes del ejercicio es iniciar la actividad euhidratado y con niveles normales de electrolitos en plasma. Cuando sea necesaria, la hidratación con bebidas antes del ejercicio (además de las comidas y el consumo de líquido normales), debe iniciarse al menos varias horas antes de la actividad para permitir la absorción de líquidos y la excreción de orina para regresar a los niveles normales. La meta de beber durante el ejercicio es prevenir la deshidratación excesiva (>2% de pérdida de peso corporal por déficit de agua) y los cambios excesivos en el balance de electrolitos, para evitar que se afecte el rendimiento. Debido a que hay una variabilidad considerable en las tasas de sudoración y el contenido de electrolitos del sudor entre individuos, se recomiendan programas de reposición de líquidos personalizados. Las tasas de sudoración individuales pueden estimarse al medir el peso corporal antes y después del ejercicio. Durante el ejercicio, el consumo de bebidas que contienen electrolitos y carbohidratos puede aportar beneficios sobre el agua sola bajo ciertas circunstancias. Después del ejercicio, la meta es reponer cualquier déficit de líquidos y electrolitos. La rapidez con la que se necesita la rehidratación y la magnitud de las deficiencias de líquidos y electrolitos determinarán si es necesario un programa de reposición agresivo.

INTRODUCCIÓN

La gente realiza actividad física bajo una gran variedad de condiciones ambientales (temperatura, humedad, exposición al sol y viento). Dependiendo de la tasa metabólica, las condiciones ambientales y la ropa utilizada, el ejercicio puede inducir a elevaciones significativas en las temperaturas corporales (central y de la piel). Las elevaciones en la temperatura corporal provocan respuestas de pérdida de calor: aumento del flujo sanguíneo a la piel y aumento de la secreción de sudor (120,121). La evaporación del sudor proporciona la principal vía de pérdida de calor durante el ejercicio vigoroso en climas cálidos; por lo tanto, las pérdidas de sudor pueden ser sustanciales. Además de contener agua, el sudor contiene electrolitos que se pierden. Si no se reponen adecuadamente, pueden desarrollarse desequilibrios de agua y electrolitos (deshidratación e hiponatremia) y tener un impacto negativo en el rendimiento deportivo y posiblemente en la salud de los individuos (27,72).

Este pronunciamiento resume el conocimiento actual acerca del ejercicio con respecto a las necesidades de líquidos y electrolitos y el impacto de sus desequilibrios sobre el rendimiento deportivo y la salud. Esta declaración reemplaza al Pronunciamiento anterior sobre ejercicio y reposición de líquidos publicado en 1996 (39). El nuevo Pronunciamiento incluye una Taxonomía de Solidez de la Recomendación (SORT por sus siglas en inglés) para documentar la fuerza de la evidencia de cada conclusión y recomendación (50). La Tabla 1 da una descripción de las categorías empleadas de la fuerza de la evidencia, basadas en la calidad, cantidad y consistencia de la evidencia para cada declaración. Ocasionalmente se han citado artículos de revisión para reducir el número de referencias, los cuáles dan una documentación extensa con respecto a los estudios de soporte. Se dan recomendaciones para la práctica de técnicas de evaluación de la hidratación y estrategias de rehidratación para antes, durante y después del ejercicio. Se reconoce que existe una variedad considerable entre individuos, diferentes actividades físicas y condiciones ambientales con respecto a las pérdidas de electrolitos y agua, por lo que cada persona necesitará individualizar estas recomendaciones. De forma importante, se hace énfasis en que durante el ejercicio los individuos deben evitar beber más líquido que la cantidad necesaria para reponer sus pérdidas de sudor.

TABLA 1. Taxonomía de fuerza de la recomendación.

Fuerza de la recomendación	<i>Definición</i>
A	Recomendación basada en evidencia experimental consistente y de buena calidad (morbilidad, mortalidad, rendimiento en ejercicio y cognitivo, respuestas fisiológicas).
B	Recomendación basada en evidencia experimental inconsistente o de calidad limitada.
C	Recomendación basada en consensos, práctica usual, opinión, evidencia orientada a la enfermedad,* conjuntos de casos o estudios de diagnósticos, tratamiento, prevención o tamizajes, o extrapolaciones de investigaciones cuasi-experimentales.

*La evidencia orientada a los pacientes mide los resultados que importan a los pacientes: morbilidad, mortalidad, mejoría en los síntomas, disminución del costo y calidad de vida. La evidencia orientada a la enfermedad mide resultados intermedios, fisiológicos, o representativos que pueden o no reflejar mejorías en los resultados finales del paciente (por ej., presión sanguínea, química sanguínea, función fisiológica, descubrimientos patológicos).

A lo largo de este pronunciamiento, el término “euhidratación” se refiere al contenido de agua corporal “normal”, mientras que los términos “hipohidratación” e “hiperhidratación” se refieren a las deficiencias o los excesos en el contenido de agua corporal más allá de las fluctuaciones normales, respectivamente. El término “deshidratación” se refiere a la pérdida de agua corporal. La hipohidratación que ocurre durante el ejercicio generalmente se caracteriza por una hipovolemia hiperosmótica (porque el sudor es hipotónico con respecto al plasma), aunque puede ocurrir una hipovolemia iso-osmótica cuando se toman algunos medicamentos (por ej., diuréticos) o hay exposición al frío e hipoxia. Para simplificar, en este pronunciamiento el término deshidratación será utilizado para describir tanto el proceso de pérdida de agua corporal como la hipohidratación, a menos que se declare lo contrario.

REQUERIMIENTOS DE LÍQUIDOS Y ELECTROLITOS

Actividad física y variabilidad individual

La participación en la actividad física expone a los individuos a una variedad de factores que influyen en las pérdidas de sudor; éstos incluyen la duración e intensidad del ejercicio, las condiciones ambientales y el tipo de ropa/equipo utilizado. Algunas veces, estos factores están estandarizados para una actividad específica o un evento dentro de un deporte (por ej., la temperatura del aire acondicionado en el interior de un estadio o el uniforme utilizado por un equipo deportivo). En otros casos, estos factores ocurren de manera predecible (por ej., las velocidades de carrera en una competencia de 10,000 m son mayores que en un maratón; el esquí Nórdico y otros deportes de invierno que se practican al aire libre se llevan a cabo en ambientes más fríos que los deportes de verano). No obstante, en la mayoría de las actividades, hay una variabilidad considerable entre participantes en la exposición a los factores que contribuyen a las tasas de sudoración.

Las características individuales, tales como peso corporal (11), predisposición genética, estado de aclimatación al calor (120) y la eficiencia metabólica (economía al llevar a cabo una tarea de un ejercicio específico), influirán en las tasas de sudoración para una actividad dada. Como resultado, hay una gran variedad en las tasas de sudoración y las pérdidas totales de sudor de los individuos entre actividades y dentro de una misma actividad, y en algunos casos aún en el mismo evento en un día determinado. Por ejemplo, los corredores de maratón de élite pueden tener tasas de sudoración más altas pero pérdidas de sudor totales similares (corren durante un tiempo más corto) que los corredores recreativos que terminan la carrera en los últimos lugares. En un partido de fútbol, las tasas de sudoración variarán entre jugadores de acuerdo a su posición y estilo de juego así como al tiempo total pasado en el campo (130). De igual forma, los jugadores de fútbol americano (gran masa corporal y utilización de vestimenta protectora) tendrán pérdidas diarias marcadamente mayores por sudoración ($\sim 8.8 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$) que los corredores de *cross country* ($\sim 3.5 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$) que entrenan en el mismo ambiente caliente con las misma duración (62).

La Tabla 2 resume las tasas de sudoración observadas entre competidores serios en una variedad de deportes, tanto en entrenamiento como en competencia (14–16,18,21,22,41, 62,89,130,133). Estos datos muestran que los individuos frecuentemente alcanzan tasas de sudoración de 0.5 a $2.0 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$. Las diferencias en las tasas de sudoración entre individuos, diferentes deportes y estaciones climáticas demuestran las dificultades para dar una

recomendación universal que se ajuste a todos los individuos Las diferencias en las tasas de sudoración entre personas para un evento y ambiente determinados, probablemente se reducen cuando se considera el tamaño corporal (correcciones por la masa corporal o por el área corporal), pero aún así persisten marcadas diferencias individuales.

TABLA 2. Observaciones de tasas de sudoración, consumo voluntario de líquido y niveles de deshidratación en varios deportes. Los valores son promedios, más (rangos) o [95% del rango de referencia].

Deporte	Condición	Tasa de sudoración (L·h ⁻¹)		Consumo voluntario de líquido (L·h ⁻¹)		Deshidratación (%PC) (= cambio en PC)	
		Promedio	Rango	Promedio	Rango	Promedio	Rango
Polo acuático [41]	Entrenamiento (hombres)	0.29	[0.23-0.35]	0.14	[0.09-0.20]	0.26	[0.19-0.34]
	Competencia (hombres)	0.79	[0.69-0.88]	0.38	[0.30-0.47]	0.35	[0.23-0.46]
Netball [16]	Entrenamiento en verano (mujeres)	0.72	[0.45-0.99]	0.44	[0.25-0.63]	0.7	[+0.3-1.7]
	Competencia en verano (mujeres)	0.98	[0.45-1.49]	0.52	[0.33-0.71]	0.9	[0.1-1.9]
Natación [41]	Entrenamiento (hombres y mujeres)	0.37		0.38		0	(+1.0-1.4 kg)
Remo [22]	Entrenamiento en verano (hombres)	1.98	(0.99-2.92)	0.96	(0.41-1.49)	1.7	(0.5-3.2)
	Entrenamiento en verano (mujeres)	1.39	(0.74-2.34)	0.78	(0.29-1.39)	1.2	(0-1.8)
Básquetbol [16]	Entrenamiento en verano (hombres)	1.37	[0.9-1.84]	0.80	[0.35-1.25]	1.0	[0-2.0]
	Competencia en verano (hombres)	1.6	[1.23-1.97]	1.08	[0.46-1.70]	0.9	[0.2-1.6]
Fútbol [130]	Entrenamiento en verano (hombres)	1.46	[0.99-1.93]	0.65	(0.16-1.15)	1.59	[0.4-2.8]
Fútbol [89]	Entrenamiento en invierno (hombres)	1.13	(0.71-1.77)	0.28	(0.03-0.63)	1.62	[0.87-2.55]
Fútbol americano [62]	Entrenamiento en verano (hombres)	2.14	[1.1-3.18]	1.42	[0.57-2.54]	1.7 kg (1.5%)	[0.1-3.5 kg]
Tenis [15]	Competencia en verano (hombres)	1.6	[0.62-2.58]	~1.1		1.3	[+0.3-2.9]
	Competencia en verano (mujeres)		[0.56-1.34]	~0.9		0.7	[+0.9-2.3]
Tenis [14]	Competencia en verano (hombres propensos a calambres)	2.60	[1.79-3.41]	1.6	[0.80-2.40]		
Squash [18]	Competencia (hombres)	2.37	[1.49-3.25]	0.98		1.28 kg	[0.1-2.4 kg]
Carrera de medio maratón [21]	Competencia en invierno (hombres)	1.49	[0.75-2.23]	0.15	[0.03-0.27]	2.42	[1.30-3.6]
Carrera a campo traviesa [62]	Entrenamiento en verano (hombres)	1.77	[0.99-2.55]	0.57	[0-1.3]	~1.8	
Triatlón Ironman [133]	Competencia en clima templado (hombres y mujeres)						
	Segmento de natación					1 kg	(+0.5-2.0 kg)
	Segmento de bicicleta	0.81	(0.47-1.08)	0.89	(0.60-1.31)	+0.5 kg	(+3.0-1.0 kg)
	Segmento de carrera	1.02	(0.4-1.8)	0.63	(0.24-1.13)	2 kg	(+1.5-3.5 kg)
	Competencia completa			0.71	(0.42-0.97)	3.5%	(+2.5-6.1 %)

+ = ganancia en PC (Peso corporal); ^no corregido por cambios en PC que ocurran en eventos muy prolongados debido a otros factores diferentes a las pérdidas de líquido (por ej., pérdidas metabólicas de reservas de energía).

Ambiente

Las contracciones musculares producen calor metabólico que se transfiere de los músculos activos a la sangre y de ahí al núcleo del cuerpo. Posteriormente las elevaciones de la temperatura corporal central evocan ajustes fisiológicos que facilitan la transferencia de calor del centro del cuerpo a la piel donde puede disiparse al ambiente. El intercambio de calor entre la piel y el ambiente es gobernado por propiedades biofísicas dictadas por la temperatura circundante, la humedad y el movimiento del aire, la radiación del cielo y de la tierra y la vestimenta (61). En ambientes templados y más fríos, la alta capacidad para perder calor seco (radiación y convección) disminuye los requerimientos de enfriamiento por evaporación, por lo que las pérdidas de sudor son relativamente pequeñas. Conforme aumenta el estrés por calor del ambiente, hay una mayor dependencia de la sudoración por el enfriamiento por evaporación. El uso de vestimenta pesada o impermeable, tal como un uniforme de fútbol americano, aumenta

mucho el estrés por calor (90) y los requerimientos de enfriamiento por evaporación mientras se hace ejercicio en climas de templados a cálidos. De igual manera, utilizar vestimenta pesada o impermeable mientras se hace ejercicio en climas fríos puede ocasionar inesperadamente tasas de sudoración altas (59).

Los siguientes cálculos dan la tasa de sudoración mínima necesaria para proporcionar enfriamiento por evaporación para personas que realizan ejercicio de alta intensidad (por ej., tasa metabólica ~1000 W) en climas calurosos. Si la tarea de ejercicio es eficiente en un 20%, entonces el 80% de la energía metabólica se convierte a calor en el cuerpo. Por lo tanto, un ejercicio de alta intensidad requerirá ~800 W ($0.8 \text{ kJ}\cdot\text{s}^{-1}$ ó $48 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ ó $11.46 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$) de energía metabólica que debe disiparse para evitar almacenamiento de calor. Dado que el calor latente de evaporación es $2.43 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0.58 \text{ kcal}\cdot\text{g}^{-1}$), el individuo necesitará evaporar $\sim 20 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$ ($48 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1} \div 2.43 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ ó $11.46 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1} \div 0.58 \text{ kcal}\cdot\text{g}^{-1}$), es decir, $\sim 1.2 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$. Si el ambiente es más frío y permite una mayor pérdida de calor seco las tasas de sudoración requeridas serían más bajas. Si el sudor secretado gotea del cuerpo y no se evapora, se necesitará una mayor sudoración para alcanzar los requerimientos de enfriamiento por evaporación (32,120). Por el contrario, el aumento en el movimiento del aire (viento, velocidad de movimiento) facilitará la evaporación y reducirá al mínimo el sudor desperdiciado (goteado) (32).

La aclimatización al calor incrementa la capacidad de un individuo de alcanzar tasas de sudoración más altas y más sustanciales, si se necesitan (120,121). De manera similar, el entrenamiento de ejercicio aeróbico tiene un efecto modesto en el aumento de las respuestas de la tasa de sudoración (120,121). Otros factores, tales como la piel húmeda (por ej., de humedad ambiental alta) y la deshidratación pueden actuar para suprimir la respuesta de la tasa de sudoración (120).

Las pérdidas de electrolitos en el sudor dependen de las pérdidas de sudor totales y las concentraciones de electrolitos en el sudor. El promedio de las concentraciones de sodio en el sudor es $\sim 35 \text{ mEq}\cdot\text{L}^{-1}$ (rango de $10\text{-}70 \text{ mEq}\cdot\text{L}^{-1}$) y varía dependiendo de la predisposición genética, la dieta, la tasa de sudoración y el estado de aclimatización al calor (3,17,40,60,130,144). Las concentraciones de potasio en sudor promedian $5 \text{ mEq}\cdot\text{L}^{-1}$ (rango de $3\text{-}15 \text{ mEq}\cdot\text{L}^{-1}$), las de calcio promedian $1 \text{ mEq}\cdot\text{L}^{-1}$ (rango de $0.3\text{-}2 \text{ mEq}\cdot\text{L}^{-1}$), las de magnesio promedian $0.8 \text{ mEq}\cdot\text{L}^{-1}$ (rango $0.2\text{-}1.5 \text{ mEq}\cdot\text{L}^{-1}$) y las de cloruro promedian $30 \text{ mEq}\cdot\text{L}^{-1}$ (rango de $5\text{-}60 \text{ mEq}\cdot\text{L}^{-1}$) (17). Pareciera que el sexo, la maduración y el envejecimiento no tienen efectos marcados en las concentraciones de electrolitos en sudor (92,99); aunque la deshidratación puede aumentar las concentraciones en sudor de sodio y cloruro (98). Las glándulas sudoríparas reabsorben el sodio y el cloruro, pero la habilidad de reabsorber estos electrolitos no aumenta proporcionalmente con la tasa de sudoración. Como resultado, la concentración de sodio y cloruro en el sudor aumenta en función de la tasa de sudoración (3,40). La aclimatización al calor mejora la habilidad de reabsorber sodio y cloruro, por lo que los individuos aclimatizados al calor generalmente tienen concentraciones más bajas de sodio en sudor (por ej., una reducción $>50\%$) para cualquier tasa de sudoración dada (3).

Declaración de la evidencia. El ejercicio puede ocasionar tasas de sudoración altas y pérdidas sustanciales de agua y electrolitos durante el ejercicio sostenido, particularmente en climas calurosos. *Categoría de la Evidencia A.* Hay una variabilidad considerable en las pérdidas de agua y electrolitos entre individuos y entre diferentes actividades. *Categoría de la Evidencia A.* Si no se reponen el agua del sudor y las pérdidas de electrolitos, entonces la persona se deshidratará. *Categoría de la Evidencia A.*

EVALUACIÓN DE LA HIDRATACIÓN

El balance de agua diario depende de la diferencia neta entre la ganancia de agua y la pérdida de agua (72). La ganancia de agua proviene del consumo (líquidos y alimentos) y la producción (agua metabólica), mientras que las pérdidas de agua ocurren de las pérdidas por respiración, gastrointestinales, renales y por sudor. El volumen del agua metabólica producida durante el metabolismo celular ($\sim 0.13 \text{ g}\cdot\text{kcal}^{-1}$) es aproximadamente igual a las pérdidas de agua por respiración ($\sim 0.12 \text{ g}\cdot\text{kcal}^{-1}$) (38,93), por lo que esto resulta en intercambio de agua sin cambios netos en el agua corporal total. Las pérdidas del tracto gastrointestinal son pequeñas ($\sim 100\text{-}200 \text{ mL}\cdot\text{d}^{-1}$) a menos que el individuo tenga diarrea. La sudoración proporciona la principal vía de pérdida de líquido durante el estrés del ejercicio en el calor. Los riñones regulan el balance de agua ajustando la producción de orina, con una producción de orina mínima y máxima de aproximadamente 20 y $1000 \text{ mL}\cdot\text{h}^{-1}$, respectivamente (72). Durante el estrés del ejercicio y el calor, la filtración glomerular y el flujo sanguíneo renal están marcadamente reducidos, dando como resultado una disminución en la producción de orina (150). Por lo tanto, cuando se consume un exceso de líquido durante el ejercicio (hiperhidratación), puede haber una disminución en la habilidad de producir orina para excretar el volumen en exceso. Con actividades intermitentes estos efectos sobre la disminución de la producción de orina pueden no ser tan fuertes.

Durante un tiempo prolongado (por ej., 8-24 h), si se consume una cantidad adecuada de líquidos y electrolitos, generalmente las pérdidas de agua se repondrán completamente para restablecer el agua corporal total (ACT) “normal” (72). El ACT se regula dentro de $\pm 0.2\text{-}0.5\%$ de la masa corporal total (1,31). El ACT constituye en promedio $\sim 60\%$ de la masa corporal, con un rango de aproximadamente 45 a 75% (72). Estas diferencias se deben principalmente a la composición corporal; la masa libre de grasa es ~ 70 a 80% agua, mientras que el tejido adiposo es $\sim 10\%$ agua (72). Estas relaciones del contenido de agua son independientes de la edad, sexo y raza (72). Por lo tanto, una persona promedio de 70-kg tiene aproximadamente 42 L de agua corporal total, con un rango de 31-51 L (72). Los atletas entrenados tienen valores relativamente altos de ACT en virtud de tener una gran masa muscular y baja grasa corporal y un efecto pequeño del entrenamiento aeróbico. Además, los individuos que realizan la carga de carbohidratos pueden experimentar un pequeño incremento en el ACT, pero esto no se observa siempre (151). Es más, el excedente de agua asociado con el típico incremento en el glucógeno muscular es pequeño ($\sim 200 \text{ mL}$) cuando se considera la pequeña masa muscular absoluta involucrada y se asumen 3 mL de agua por gramo de glucógeno (valor de por sí inconcluso) (126). No se conoce el destino preciso del agua liberada cuando se utiliza el glucógeno, pero el hecho de que cualquier agua ligada al glucógeno es parte del contenido total inicial de ACT sugiere que es de poca consecuencia potencial a las recomendaciones de consumo de líquido.

Cuando se evalúa el estado de hidratación de un individuo, no hay un único valor de ACT que represente a la euhidratación. Las determinaciones necesitan hacerse a partir de las fluctuaciones más allá de un rango que tenga consecuencias funcionales (72). Idealmente, los marcadores biológicos de la hidratación deben ser sensibles y lo suficientemente precisos para detectar fluctuaciones en el agua corporal de $\sim 3\%$ del ACT (o el cambio en el contenido de agua suficiente para detectar fluctuaciones de $\sim 2\%$ del peso corporal para la persona promedio). Además, el marcador biológico también debe ser de uso práctico (tiempo, costo y destreza técnica) para individuos y entrenadores.

La Tabla 3 da una evaluación de una variedad de marcadores biológicos de la hidratación (72,94). Los métodos de dilución del ACT, así como las mediciones de la osmolalidad del

plasma, aportan las mediciones más válidas y precisas del estado de hidratación corporal (72,114), pero no son de uso práctico para la mayoría de las personas. Otros marcadores biológicos complejos tales como el volumen plasmático, las hormonas reguladoras de fluidos y las mediciones de impedancia bioeléctrica se confunden fácilmente y/o no son válidas (72). Los individuos pueden determinar su estado de hidratación utilizando varios marcadores biológicos simples (orina y peso corporal) que por sí solos tienen marcadas limitaciones; pero cuando estos indicadores se utilizan juntos en el contexto apropiado, pueden aportar una valiosa aproximación.

El uso de la medición del peso corporal al despertarse por la mañana y después de ir al baño, en combinación con la medición de la concentración de la orina debe permitir suficiente sensibilidad (pocos falsos negativos) para detectar desviaciones en el balance de líquidos. Los marcadores biológicos urinarios del estado de hidratación pueden permitir la distinción de si un individuo está euhidratado o deshidratado (6,111,127). La gravedad específica de la orina (GEO) y la osmolalidad de la orina (Osmol) son cuantificables, mientras que el color y el volumen de la orina frecuentemente son subjetivos y pueden confundir. La $GEO \leq 1.020$ es señal de euhidratación (6,12,111). La Osmol es más variable, pero los valores $\leq 700 \text{ mOsmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ son indicativos de estar euhidratado (6,111,127).

Los valores de la orina pueden dar información engañosa con respecto al estado de hidratación si se obtienen durante los periodos de rehidratación. Por ejemplo, si las personas deshidratadas consumen grandes volúmenes de líquidos hipotónicos, tendrán una abundante producción de orina mucho antes de que se reestablezca la euhidratación (131). Las muestras de orina recolectadas durante este periodo serán de color claro y tendrán valores de GEO y Osmol que reflejan euhidratación cuando en realidad la persona permanece deshidratada. Esto enfatiza la necesidad de utilizar ya sea las muestras de la primera orina del día en la mañana, o muestras después de varias horas de que el estado de hidratación esté estable, para permitir una distinción válida entre la euhidratación y la deshidratación.

Las mediciones del peso corporal (PC) aportan otra herramienta simple y efectiva para evaluar el balance de líquidos (31,34). Para personas bien hidratadas, que están en balance de energía, el PC desnudo al despertarse por la mañana (después de orinar) será estable y fluctuará en $<1\%$ (1,31,64,65). Deben tomarse al menos tres medidas consecutivas de PC desnudo al despertarse por la mañana para establecer un valor basal, el cual se aproxima a la euhidratación, en hombres activos que consumen alimentos y líquidos *ad libitum* (31). Las mujeres pueden necesitar más mediciones del PC para establecer un valor basal, porque sus ciclos menstruales influyen en el estado de agua corporal. Por ejemplo, las fases lúteas pueden aumentar el agua corporal y el PC en más de 2 kg (20). Por último, el PC al despertarse por la mañana está influenciado por cambios en los hábitos de comer y de evacuación.

Los cambios agudos en el PC durante el ejercicio pueden utilizarse para calcular las tasas de sudoración y las variaciones en el estado de hidratación que ocurren en diferentes ambientes (1,34). Este enfoque asume que 1 mL de sudor perdido representa a 1 g de peso corporal perdido (esto es, que la gravedad específica del sudor es $1.0 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$). Las mediciones del PC antes del ejercicio se utilizan con el PC post-ejercicio corregido por las pérdidas de orina y el volumen bebido. Cuando es posible, se debe tomar el peso desnudo para evitar correcciones por el sudor atrapado en la ropa (34). Otros factores que no son de sudoración que contribuyen a la pérdida de PC durante el ejercicio incluyen el agua perdida por respiración y el intercambio de carbono (93). Ignorar estos dos factores sobreestimarán la tasa de sudoración modestamente ($\sim 5\text{--}15\%$) pero generalmente no requiere corrección para ejercicios con duración $<3 \text{ h}$ (34). Si se hacen los

controles apropiados, los cambios en el PC pueden aportar una estimación sensible de los cambios agudos en el ACT para estimar así los cambios en la hidratación durante el ejercicio.

TABLA 3. Marcadores biológicos del estado de hidratación.

Medición	Utilidad práctica	Validez (Cambios agudos y crónicos)	Punto de corte de EUH
ACT	Baja	Agudos y crónicos	<2%
Osmolalidad del plasma	Media	Agudos y crónicos	<290 mOsmol
Gravedad específica de la orina	Alta	Crónicos	<1.020 g·mL ⁻¹
Osmolalidad de la orina	Alta	Crónicos	<700 mOsmol
Peso corporal	Alta	Agudos y crónicos*	<1%

EUH = euhidratación. *= potencialmente alterado por cambios en la composición corporal durante periodos de evaluación muy prolongados.

Declaración de la evidencia. Los individuos pueden monitorear su estado de hidratación al emplear mediciones simples de la orina y el peso corporal. *Categoría de la Evidencia B.* Un individuo con una GEO de la primera orina por la mañana ≤ 1.020 ó una $OOsmol \leq 700$ mOsmol·kg⁻¹ puede considerarse como euhidratado. *Categoría de la evidencia B.* Pueden utilizarse los pesos corporales al despertarse por la mañana de varios días para establecer una línea base de peso corporal que represente la euhidratación. *Categoría de la evidencia B.* Los cambios en el peso corporal pueden reflejar las pérdidas de sudor durante el ejercicio y pueden usarse para calcular las necesidades individuales de reposición de líquidos para ejercicios y condiciones ambientales específicos. *Categoría de la evidencia A.*

EFFECTOS DE LA HIDRATACIÓN

Fisiología y rendimiento

Los individuos pueden llegar a estar deshidratados mientras realizan actividad física (Tabla 2), y antes de que se hiciera énfasis en la rehidratación durante el ejercicio, pueden haber sido más comunes las deficiencias de líquido mayores (23,101,149). Los individuos frecuentemente inician una tarea de ejercicio con un contenido de agua corporal total normal y se deshidratan durante un tiempo prolongado; sin embargo, en algunos deportes la persona puede iniciar el ejercicio deshidratado, como cuando el intervalo entre las sesiones de ejercicio es inadecuado para la rehidratación completa o cuando el peso corporal inicial es un problema. Por ejemplo, en los deportes de categoría de peso (como boxeo, levantamiento de pesas, lucha) los individuos pueden deshidratarse a propósito para competir en categorías de peso más bajas (36). Además, algunos individuos que llevan a cabo entrenamientos dos veces al día, o sesiones prolongadas de ejercicio todos los días en condiciones calientes, también pueden arrastrar un déficit de líquidos de la sesión de ejercicio previa a la siguiente (62). Finalmente, los individuos medicados con diuréticos pueden estar deshidratados antes de iniciar el ejercicio. El déficit de agua sin la pérdida proporcional de cloruro de sodio es la forma de deshidratación vista más comúnmente durante el ejercicio en el calor (118). Si ocurren mayores deficiencias de cloruro de sodio durante el ejercicio entonces el volumen de fluido extracelular se contraerá y causará “deshidratación por reducción de las reservas de sal”. Independientemente del método de deshidratación, para

cualquier déficit de agua, hay similitudes en la alteración de la función fisiológica y consecuencias en el rendimiento (118).

La deshidratación incrementa la tensión fisiológica como se mide en las respuestas de temperatura central, frecuencia cardíaca y percepción del esfuerzo durante el estrés del ejercicio en el calor (118). Entre mayor sea el déficit de agua corporal, mayor será el aumento en la tensión fisiológica para una tarea de ejercicio determinada (2,96,97,122). La deshidratación >2% del PC disminuye el rendimiento en el ejercicio aeróbico y el rendimiento cognitivo/mental en ambientes con temperaturas templadas a cálidas (27,33,72). Mayores niveles de deshidratación disminuirán más el rendimiento en el ejercicio aeróbico (72). El déficit de agua crítico (> 2% del agua corporal para la mayoría de los individuos) y la magnitud de la disminución del rendimiento están probablemente relacionados a la temperatura ambiental, la tarea de ejercicio y las características biológicas únicas del individuo (por ej., tolerancia a la deshidratación). Por lo tanto, algunos individuos serán más o menos tolerantes a la deshidratación. La deshidratación (3% PC) tiene poca influencia en la disminución en el rendimiento en el ejercicio aeróbico en presencia de estrés por frío (29). La deshidratación (3-5% PC) probablemente no disminuya la fuerza muscular (54,68,72) ni el rendimiento anaeróbico (30,72,74).

Los factores fisiológicos que contribuyen a los decrementos del rendimiento en el ejercicio aeróbico mediados por la deshidratación incluyen: aumento en la temperatura corporal central, aumento de la tensión cardiovascular, incremento de la utilización de glucógeno, alteración de la función metabólica y quizás alteración de la función del sistema nervioso central (106,118,121). Aunque cada factor es único, la evidencia sugiere que interactúan para contribuir en conjunto, en vez de aislados, para disminuir el rendimiento en el ejercicio aeróbico (32,118,121). La contribución relativa de cada factor puede diferir dependiendo de la actividad específica, las condiciones ambientales, el estado de aclimatación al calor y la habilidad del atleta, pero la hipertermia elevada probablemente actúe para acentuar la disminución en el rendimiento. El rendimiento cognitivo/mental, el cual es importante cuando se involucra la concentración, las tareas de mucha habilidad y los aspectos tácticos, también disminuye por la deshidratación y la hipertermia (69,116). La evidencia es más fuerte hacia un efecto negativo de la hipertermia que de la deshidratación moderada en la disminución del rendimiento cognitivo/mental (35), pero las dos están íntimamente ligadas cuando se realiza ejercicio en clima caliente.

La hiperhidratación puede conseguirse por la combinación de beber en exceso y utilizar un agente que atrapa el agua dentro del cuerpo (58,66). Estos agentes conservadores incluyen al glicerol y las bebidas hipertónicas que pueden inducir a una hiperhidratación de duraciones variadas. El simple hecho de beber en exceso generalmente estimulará la producción de orina (72) y el agua corporal rápidamente regresará a la euhidratación en el término de unas horas (58,107,128); sin embargo, como se discutió previamente este mecanismo compensatorio (producción de orina) es menos efectivo durante el ejercicio y hay riesgo de presentar hiponatremia por dilución (150). De igual manera, aún el consumo excesivo de líquidos con la mayoría de los agentes conservadores hiperhidratantes elevará la producción de orina por encima de los niveles normales. La hiperhidratación no aporta ninguna ventaja termorreguladora (80), pero puede retrasar el inicio de la deshidratación (79), lo cual puede ser responsable de algún pequeño beneficio en el rendimiento que se haya reportado ocasionalmente (67,77).

Declaración de la evidencia. La deshidratación aumenta la tensión fisiológica y el esfuerzo percibido para realizar la misma tarea de ejercicio, y esto se acentúa en climas cálidos. *Categoría de la evidencia A.* La deshidratación (>2% PC) puede disminuir el rendimiento en el ejercicio aeróbico, especialmente en climas cálidos. *Categoría de la evidencia A.* Entre mayor sea

el nivel de deshidratación mayor será la tensión fisiológica y el decremento del rendimiento en el ejercicio aeróbico. *Categoría de la evidencia B*. La deshidratación (>2% PC) puede disminuir el rendimiento mental/cognitivo. *Categoría de la evidencia B*. La deshidratación (3% PC) tiene poca influencia en la disminución del rendimiento en el ejercicio aeróbico en presencia de estrés por frío. *Categoría de la evidencia B*. La deshidratación (3-5% PC) no disminuye el rendimiento anaeróbico ni la fuerza muscular. *Categorías de la evidencia A y B*. El déficit de agua crítico y la magnitud de la disminución del rendimiento en el ejercicio están relacionadas al estrés por calor, la tarea de ejercicio y las características biológicas únicas del individuo. *Categoría de la evidencia C*. La hiperhidratación puede conseguirse por varios métodos, pero aporta beneficios equívocos y tienen varias desventajas. *Categoría de la evidencia B*.

Salud

Pueden ocurrir problemas de salud en los individuos como resultado de la deshidratación o del consumo excesivo de líquidos (consumir volúmenes mayores a las pérdidas por sudoración). En general, la deshidratación es más común, pero es más peligroso consumir un exceso de líquido – con una hiponatremia sintomática. La deshidratación puede afectar el rendimiento en el ejercicio, contribuir a complicaciones por calor serias y exacerbar la rabdomiólisis por esfuerzo sintomática; mientras que la hiponatremia asociada al ejercicio puede producir padecimientos graves o la muerte.

Complicaciones por calor. La deshidratación incrementa el riesgo de agotamiento por calor (2,91,123) y es un factor de riesgo del golpe de calor (25,53,63,113). El golpe de calor también está asociado con otros factores como falta de aclimatación al calor, consumo de medicamentos, predisposición genética y enfermedades (25,51). La deshidratación estuvo presente en ~17% de todas las hospitalizaciones por golpe de calor en el ejército de los E.U. durante un periodo de 22 años (25). En una serie de 82 casos de golpe de calor en soldados israelíes, la deshidratación se presentó en ~16% de los casos (53). Consistentemente con esta asociación, los médicos de equipo que dan soporte médico a jugadores de fútbol americano durante las prácticas de verano han observado que la deshidratación – algunas veces agravada por vómito – está asociada con el desarrollo del golpe de calor (51,115). Además, se ha asociado a la deshidratación con la disminución de la estabilidad cardíaca autonómica (26), alteración en el volumen intracraneal (47) y disminución de la velocidad del flujo sanguíneo cerebral en respuesta al reto ortostático (24).

Se cree que los calambres musculares están asociados con deshidratación, deficiencias de electrolitos y fatiga muscular, y son comunes en jugadores de fútbol americano no aclimatizados al calor (en las primeras sesiones de entrenamiento en verano), partidos de tenis, carreras de ciclismo largas, en la última parte de los triatlones tropicales, fútbol y voleibol de playa. Los calambres musculares también pueden ocurrir en actividades de invierno – en carreras de ski a campo traviesa y en porteros de hockey sobre hielo. Se piensa que las personas susceptibles a los calambres musculares frecuentemente sudan profusamente con grandes pérdidas de sodio por sudoración (14,141). Los triatletas experimentan calambres musculares, sin embargo, se ha reportado que no tienen diferencias clínicamente significativas en sus concentraciones de electrolitos en suero al comparar con sus homólogos sin calambres (142).

Rabdomiólisis. La rabdomiólisis (síndrome que causa liberación de los contenidos del músculo esquelético) se observa más frecuentemente en ejercicio excesivo, extenuante y no acostumbrado, y la evidencia clínica sugiere que la deshidratación puede aumentar las consecuencias de la rabdomiólisis. Por ejemplo, parece que la deshidratación aumenta la

probabilidad o severidad de la falla renal aguda asociada con rabdomiólisis (19,124). Entre los soldados de E.U. que fueron hospitalizados por complicaciones por calor serias y que probablemente experimentaron grandes pérdidas de líquidos y electrolitos, 25% tuvieron rabdomiólisis y 13% tuvieron falla renal aguda (25). Un grupo de casos de rabdomiólisis por esfuerzo aporta evidencia de que la deshidratación, combinada con estrés por calor y entrenamiento no acostumbrado, puede inducir a problemas por calor serios. En 1988, en la academia de entrenamiento de la Policía del Estado de Massachussets, 50 cadetes realizaron numerosos ejercicios de calistenia y carrera en clima caliente durante los primeros días de entrenamiento, con un consumo de agua limitado (63). Un cadete que colapsó por un golpe de calor por esfuerzo mientras corría, fue hospitalizado y requirió diálisis por la falla renal aguda causada por la rabdomiólisis. Más tarde murió por las complicaciones del golpe de calor, rabdomiólisis, falla renal y falla hepática. Otros trece cadetes fueron hospitalizados por deshidratación severa, rabdomiólisis e insuficiencia renal aguda, y a seis se les hizo una hemodiálisis por falla renal aguda (63). De hecho, todos los 50 cadetes tuvieron algo de rabdomiólisis (según el criterio de niveles de creatina kinasa en suero superiores a 10 veces lo normal).

Hiponatremia asociada al ejercicio. La hiponatremia asociada al ejercicio se reportó primero en el “Comrades Marathon” (45). Después, la hiponatremia asociada al ejercicio se reportó en corredores de resistencia (104), y desde ese momento varios participantes de una variedad de actividades ocupacionales y recreativas han sido hospitalizados por esta condición, habiendo muerto varios de ellos (8,82,100,108). La hiponatremia sintomática puede ocurrir cuando el sodio en plasma disminuye rápidamente a $\sim 130 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ y más abajo. Entre más disminuyan los niveles de sodio en plasma, más rápida sea la disminución y más tiempo permanezcan bajos estos niveles, mayor será el riesgo de encefalopatía por dilución y edema pulmonar. Algunos individuos han sobrevivido a niveles de sodio en plasma tan bajos como $109 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ y otros han muerto con niveles iniciales (en el hospital) sobre $120 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Con niveles de sodio en plasma $<125 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ y en disminución continua, los síntomas llegan a ser más severos e incluyen dolor de cabeza, vómito, manos y pies hinchados, nerviosismo, fatiga excesiva, confusión y desorientación (debido a la encefalopatía progresiva) y respiración sibilante (debida al edema pulmonar). Cuando el sodio en plasma cae por debajo de $120 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, aumenta la posibilidad de un edema cerebral severo con mareos, coma, hernia del tallo cerebral, colapso respiratorio y muerte (100).

Los factores que contribuyen a la hiponatremia asociada al ejercicio incluyen el consumo excesivo de líquidos hipotónicos y pérdida excesiva de sodio corporal total (95). En maratonistas, es más probable que se presente la hiponatremia sintomática en individuos más pequeños y menos magros que corren lentamente, sudan menos y beben abundantemente –agua y otros líquidos hipotónicos– antes, durante y después de la carrera (4,46,71). En triatlones tropicales (por ej., Kona, Hawaii), algunos participantes pueden estar deshidratados e hiponatremicos basados en observaciones clínicas (109). Los individuos con genes de fibrosis cística pueden ser propensos a la pérdida excesiva de sal e hiponatremia asociada al ejercicio (132). En general, la hiponatremia sintomática en eventos que duran $<4 \text{ h}$ es por beber en exceso antes, durante y en ocasiones, aún después del evento (95). En los eventos más largos de ultra resistencia, las pérdidas de sodio pueden inducir hiponatremia a niveles asociados con el inicio de los síntomas independientemente de si el individuo está bebiendo en exceso o bebiendo menos de lo que requiere, por lo que se justifica la reposición de algo de las pérdidas de sodio.

La hiponatremia asociada al ejercicio ocurre ocasionalmente en jugadores de fútbol americano y tenis que beben demasiada agua para curar o tratar de prevenir los calambres

musculares, o cuando a un jugador con calambres se le da líquido hipotónico por vía intravenosa (48,70). Consistente con esto, las hospitalizaciones por hiponatremia se han asociado con soldados que fueron mal diagnosticados de padecer deshidratación (por síntomas similares tales como mareos, fatiga) y posteriormente orientados a beber grandes volúmenes de agua (108).

Declaración de la evidencia. La deshidratación es un factor de riesgo para el agotamiento por calor y el golpe de calor por esfuerzo. *Categorías de la evidencia A y B.* La deshidratación puede aumentar la probabilidad o severidad de la falla renal aguda como consecuencia de la rabdomiólisis por esfuerzo. *Categoría de la evidencia B.* La deshidratación y las deficiencias de sodio están asociadas con los calambres del músculo esquelético. *Categoría de la evidencia C.* La hiponatremia sintomática asociada con el ejercicio puede ocurrir en los eventos de resistencia. *Categoría de la evidencia A.* El consumo de líquido que excede a la tasa de sudoración es el principal factor que lleva a la hiponatremia asociada con el ejercicio. *Categoría de la evidencia A.* Las pérdidas grandes de sodio por sudor y una masa corporal (y agua corporal total) pequeña pueden contribuir a la hiponatremia asociada con el ejercicio. *Categoría de la evidencia B.*

FACTORES MODIFICANTES

Sexo

Las mujeres típicamente tienen tasas de sudoración y pérdidas de electrolitos más bajas que los hombres (7,119,125). Las tasas de sudoración más bajas se deben principalmente a que tienen un tamaño corporal más pequeño y tasas metabólicas más bajas cuando realizan una tarea de ejercicio determinada. Además, las mujeres parecen tener menos sudor desperdiciado cuando su piel está húmeda (125).

Las diferencias sexuales en el agua renal y retención de electrolitos son sutiles y probablemente no sean importantes. La respuesta diurética a la carga de agua puede ser mayor en las mujeres que en los hombres, sugiriendo que las mujeres tienen un intercambio de agua más rápido que los hombres (37). Las mujeres muestran respuestas reducidas de la arginina vasopresina (AVP) al estímulo osmótico, lo cual debe resultar en pérdidas renales de agua y electrolitos elevadas (140). Paradójicamente, entre las mujeres, los estrógenos endógenos y los estrógenos administrados exógenamente parecieran aumentar la liberación de AVP y los estrógenos y la progesterona mejoran la retención de electrolitos y agua renal (136,137,139).

Las mujeres parecen estar en mayor riesgo que los hombres de desarrollar hiponatremia sintomática cuando compiten en maratones y carreras de ultra maratón (4,71). Aunque la explicación de este riesgo aumentado puede deberse a varios factores biológicos y psicosociales, la causa de un mayor riesgo de presentar hiponatremia no se ha establecido con certeza. Anteriormente, la información con respecto a recomendaciones de consumo de líquido para mujeres frecuentemente había estado basada en datos de pérdida de sudor de hombres, y por lo tanto, son muy altas para las mujeres y pueden haber llevado a una dilución de sodio acentuada debido a su menor agua corporal total (103,134). Este pronunciamiento aporta algunos datos de tasas de sudoración obtenidos directamente de mujeres (Tabla 2).

Aunque el riñón es importante en la patogénesis de la hiponatremia, los órganos blanco para la morbilidad y mortalidad son el cerebro y los pulmones. Los estudios que abordan directamente los posibles mecanismos de las diferencias entre sexos de cómo el cerebro maneja los desequilibrios de agua/electrolitos no pueden realizarse en humanos. Durante la hiponatremia inducida por AVP, los estudios animales han mostrado un transporte de sodio significativamente

mayor en el cerebro de la rata macho al comparar con la rata hembra, sugiriendo un daño de la actividad de la bomba $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPasa}$ en el cerebro femenino (56,57). Por lo tanto, esto puede agravar el edema cerebral inducido por la hiponatremia. De igual manera, se ha sugerido que las hormonas sexuales afectan la actividad de la bomba $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPasa}$ en el cerebro femenino y explican que las mujeres tengan una morbilidad y mortalidad aumentada de la hiponatremia postoperatoria (55).

Declaración de la evidencia. Las mujeres generalmente tienen tasas de sudoración menores que los hombres. *Categoría de la evidencia A.* Las diferencias entre sexos en la retención de electrolitos y agua renal son sutiles y probablemente no sean de consecuencia. *Categoría de la evidencia B.* Las mujeres están en mayor riesgo que los hombres de desarrollar hiponatremia sintomática asociada con el ejercicio. *Categoría de la evidencia C.*

Edad

Las personas mayores (edades >65 años) generalmente están hidratadas adecuadamente (72). Sin embargo, hay un desgaste de la respuesta de la sed a la deficiencia de agua relacionado con la edad (81,86,117), haciendo a las personas mayores más susceptibles de llegar a estar deshidratadas (81). Los adultos mayores tienen un aumento en la osmolalidad del plasma en reposo relacionado con la edad y son más lentos para restablecer la homeostasis de los fluidos corporales en respuesta a la deficiencia de agua (110) y ejercicio (86) que los adultos más jóvenes. Si se da suficiente tiempo y acceso al agua y sodio, los adultos mayores recuperarán adecuadamente los fluidos corporales, indicando un adecuado, aunque lento, control de fluidos corporales (84,86). Las personas mayores también son más lentas para excretar agua después de consumir mucho líquido (83,86,135,138,143). Esta excreción de agua y sodio más lenta aumenta la retención de sodio y puede llevar a aumentos en la presión sanguínea (84). La mayoría, pero no todas, de las respuestas retardadas relacionadas con la edad a las cargas de agua y sal o la deshidratación pueden atribuirse a una menor tasa de filtración glomerular (83), debido a una caída progresiva en el número de nefronas que funcionan (49).

Aunque la sensibilidad a la sed para una pérdida determinada de líquido extracelular está reducida en los adultos mayores, las señales de los osmoreceptores se mantienen intactas (86,135,138). El estímulo osmótico y del volumen que resulta de la deshidratación, comunica impulsos importantes para la sed y el consumo de líquido en los adultos mayores (9). Por lo tanto, los adultos mayores deben ser motivados a rehidratarse durante o después del ejercicio, pero también se deben considerar los riesgos del exceso de agua (esto es, hiponatremia) o el exceso de la ingesta de sodio (esto es, hipertensión) porque pueden ser más lentos para excretar tanto el agua como los electrolitos.

Los niños prepúberes tienen tasas de sudoración más bajas que los adultos, y con valores que raramente exceden los $400 \text{ mL}\cdot\text{h}^{-1}$ (10,92). Estas tasas de sudoración más bajas son probablemente el resultado de una masa corporal más pequeña y por lo tanto una menor tasa metabólica. El contenido de electrolitos del sudor es similar o ligeramente menor en niños que en adultos (10).

Declaración de la evidencia. Los adultos mayores tienen una sensibilidad de la sed disminuida cuando se deshidratan haciéndolos más lentos para recuperar la euhidratación voluntariamente. *Categoría de la evidencia A.* Los adultos mayores tienen respuestas renales más lentas relacionadas con la edad a las cargas de agua y sodio y pueden tener mayor riesgo de hiponatremia. *Categorías de la evidencia A y C.* Los niños tienen tasas de sudoración menores que los adultos. *Categoría de la evidencia B.*

Dieta

El consumo de alimentos es crítico para asegurar una rehidratación completa cada día (1,2,72,131). Comer alimentos promueve la ingesta y retención de líquido (72). Las pérdidas de electrolitos por sudor (por ej., sodio y potasio) necesitan reponerse para restaurar el agua corporal total y esto puede lograrse durante las comidas en la mayoría de las personas (85,105,128). La composición de macronutrientes de la dieta tiene una influencia mínima en las pérdidas de orina durante el descanso y probablemente tiene una influencia aún menor durante el ejercicio (72). Por lo tanto, la composición de macronutrientes de la dieta no altera notablemente las necesidades diarias de líquido de los individuos (72).

La cafeína se encuentra en muchas bebidas y alimentos y la evidencia reciente sugiere que si se consume en dosis relativamente pequeñas ($<180 \text{ mg}\cdot\text{día}^{-1}$) probablemente no aumentará la producción de orina diaria ni causará deshidratación (5,72). La influencia del consumo de cafeína en la producción de orina durante el ejercicio o en individuos deshidratados no está bien documentada, pero la producción de orina ya está disminuida por la deshidratación, el ejercicio y el estrés por calor (72,150). Por lo tanto, es dudoso que el consumo de cafeína durante el ejercicio eleve la producción de orina e induzca a la deshidratación durante el ejercicio. Ya que el alcohol puede actuar como un diurético (especialmente a dosis altas) y aumentar la producción de orina, debe consumirse con moderación, particularmente durante el periodo después del ejercicio cuando la rehidratación es una meta (129).

Declaración de la evidencia. El consumo de alimentos promueve la euhidratación. *Categoría de la evidencia A.* Las pérdidas de electrolitos por sudor (sodio y potasio) deben reponerse completamente para restablecer la euhidratación. *Categoría de la evidencia A.* El consumo de cafeína no afectará marcadamente la producción de orina diaria o el estado de hidratación. *Categoría de la evidencia B.* El consumo de alcohol puede aumentar la producción de orina y retrasar la rehidratación completa. *Categoría de la evidencia B.*

REPOSICIÓN DE LÍQUIDOS

Antes del ejercicio

La meta de la hidratación antes del ejercicio es iniciar la actividad física euhidratado y con niveles normales de electrolitos en plasma. Si se consumen suficientes bebidas con las comidas y ha pasado un periodo de recuperación prolongado (8-12 h) desde la última sesión de ejercicio, entonces la persona ya debería estar casi euhidratada (72). Sin embargo, si la persona ha padecido deficiencias de líquido considerables y no ha tenido un tiempo o volúmenes de líquidos/electrolitos adecuados para restablecer la euhidratación, entonces puede ser necesario un programa agresivo de hidratación antes del ejercicio. El programa de hidratación pre-ejercicio ayudará a asegurar que se corrija cualquier deficiencia previa de líquidos-electrolitos antes de que se inicie la tarea de ejercicio.

Cuando se hidrate antes del ejercicio, el individuo debe tomar bebidas lentamente (por ejemplo, $\sim 5\text{--}7 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso corporal) al menos 4 h antes del ejercicio. Si el individuo no produce orina, o la orina es oscura o muy concentrada, él o ella deberá tomar lentamente más líquido (por ejemplo, otros $\sim 3\text{--}5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$) cerca de 2 h antes del evento. Al hidratarse varias horas antes del ejercicio hay suficiente tiempo para la producción de orina para regresar a lo

normal antes de iniciar el evento. El consumo de bebidas con sodio ($20\text{-}50\text{ mEq}\cdot\text{L}^{-1}$) y/o pequeñas cantidades de meriendas saladas o alimentos que contengan sodio en las comidas ayudará a estimular la sed y retener los líquidos consumidos (88,112,128).

El intento de hiperhidratarse con líquidos que expandan los espacios extracelular e intracelular (por ej., soluciones de agua y glicerol) aumentará grandemente el riesgo de tener que orinar durante la competencia (58, 107) y no aporta ventajas fisiológicas o en el rendimiento claras comparado a la euhidratación (77,79,80). Además, la hiperhidratación puede diluir y disminuir el sodio en plasma considerablemente (58,107) antes de iniciar el ejercicio y por lo tanto aumentar el riesgo de hiponatremia por dilución, si los líquidos se reponen agresivamente durante el ejercicio (95).

Una de las formas de ayudar a promover el consumo de líquido, antes, durante y después del ejercicio es realzar la palatabilidad de los líquidos ingeridos. La palatabilidad del líquido está influenciada por varios factores que incluyen la temperatura, el contenido de sodio y el sabor. La temperatura del agua preferida frecuentemente está entre 15 y 21°C , pero ésta y la preferencia de sabor varían grandemente entre individuos y culturas (52).

Recomendaciones. La hidratación antes del ejercicio con bebidas, si se necesita, debe iniciarse al menos varias horas antes de la tarea de ejercicio para permitir la absorción de líquido y que la producción de orina regrese a los niveles normales. El consumo de bebidas con sodio y/o meriendas saladas o comidas pequeñas con bebidas puede ayudar a estimular la sed y retener los líquidos que se necesitan.

Durante el ejercicio

La meta de beber durante el ejercicio es prevenir la deshidratación excesiva ($>2\%$ de pérdida de peso corporal por déficit de agua) y los cambios excesivos en el balance de electrolitos para evitar que se afecte el rendimiento en el ejercicio. La cantidad y tasa de reposición de líquido depende de la tasa de sudoración del individuo, de la duración del ejercicio y de las oportunidades para beber. Los individuos deben beber periódicamente (cada vez que haya una oportunidad) durante el ejercicio, si se espera que lleguen a estar excesivamente deshidratados. Se debe tener cuidado en determinar las tasas de reposición de líquido, particularmente en el ejercicio prolongado que tenga una duración mayor a las 3 horas. Entre mayor sea la duración del ejercicio mayores serán los efectos acumulativos de las pequeñas diferencias entre las necesidades y la reposición de líquidos, lo que puede llevar a una deshidratación excesiva o una hiponatremia por dilución (95).

Es difícil recomendar un programa específico de reposición de líquidos y electrolitos debido a las diferentes tareas de ejercicio (requerimientos metabólicos, duración, vestimenta, equipo) las condiciones climáticas y otros factores (por ej., predisposición genética, aclimatización al calor y estado de entrenamiento) que influyen en la tasa de sudoración y las concentraciones de electrolitos en sudor de una persona. La Tabla 4 proporciona tasas de sudoración aproximadas para individuos de diferentes tamaños, corriendo a diferentes velocidades en condiciones ambientales frías/templadas y calientes (95). Estas tasas de sudoración previstas van de ~ 0.4 a $\sim 1.8\text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ y las tasas de sudoración individuales para cualquiera de estas condiciones probablemente tienen una distribución normal con varianza desconocida. Por lo tanto, se recomienda que los individuos deben monitorear los cambios en el peso corporal durante las sesiones de entrenamiento o las competencias para estimar sus pérdidas de sudoración durante una tarea de ejercicio en particular con respecto a las condiciones climáticas. Esto permitirá personalizar los programas de reposición de líquidos para que sean

desarrollados para las necesidades particulares de cada persona; sin embargo, puede que esto no siempre sea práctico. Las estrategias de reposición de líquidos y electrolitos serán ampliamente diferentes para un jugador grande de fútbol americano cuando se compara con un maratonista pequeño que termina la maratón en 6 h.

TABLA 4. Tasas de sudoración previstas ($L \cdot h^{-1}$) para carreras de 8.5 a 15 $Km \cdot h^{-1}$ en clima frío/templado ($T_{bs}=18^{\circ}C$) y caliente ($T_{bs}=28^{\circ}C$).

Peso corporal (kg)	Clima	8.5 $km \cdot h^{-1}$ (~5.3 mph)	10 $km \cdot h^{-1}$ (~6.3 mph)	12.5 $km \cdot h^{-1}$ (~7.9 mph)	15 $km \cdot h^{-1}$ (~9.5 mph)
50	Frío/templado	0.43	0.53	0.69	0.86
	Caliente	0.52	0.62	0.79	0.96
70	Frío/templado	0.65	0.79	1.02	1.25
	Caliente	0.75	0.89	1.12	1.36
90	Frío/templado	0.86	1.04	1.34	1.64
	Caliente	0.97	1.15	1.46	1.76

Un posible punto de partida sugerido para corredores de maratón (que están euhidratados en un inicio) es que beban *ad libitum* de 0.4 a 0.8 $L \cdot h^{-1}$, con las tasas más altas para los individuos más rápidos y más pesados que compiten en climas cálidos y las tasas más bajas para las personas más lentas y más ligeras que compiten en ambientes más fríos (102). La Tabla 5 muestra la predicción de los cambios en el peso corporal (para un consumo deficiente o excesivo de líquidos) durante una maratón de 42-km para personas de diferentes tamaños corriendo a diferentes velocidades en clima frío/templado. El análisis utilizó las tasas de sudoración proporcionadas en la Tabla 4 y tres tasas de reposición de líquidos (0.4, 0.6, 0.8 $L \cdot h^{-1}$) (95). Para los corredores más pequeños, beber 0.8 $L \cdot h^{-1}$ produjo un consumo excesivo (ganancia de peso, áreas sombreadas claras), y para los corredores de mayor tamaño, beber a 0.4 $L \cdot h^{-1}$ resultó en una excesiva deshidratación (3% de pérdida de peso corporal, áreas sombreadas oscuras). Claramente, esta tabla demuestra que es inapropiado utilizar sólo una tasa de reposición de líquidos para todos los corredores; sin embargo, el uso de ajustes específicos a una actividad particular puede ampliar la aplicabilidad de las guías generales. Por ejemplo, un análisis matemático para estimar los niveles de sodio en plasma para las condiciones en la Tabla 5, predijo que si se siguen los ajustes mencionados para tamaño del corredor, velocidad y condiciones ambientales, las guías de 0.4-0.8 $L \cdot h^{-1}$ son probablemente satisfactorias para individuos que participan en eventos con la longitud de un maratón (95). Sin embargo, las actividades de mayor duración o los diferentes tipos de actividad física, los climas más extremos y las poblaciones especiales pueden tener necesidades de reposición de líquidos considerablemente diferentes. Por ejemplo, se ha reportado que algunos jugadores de fútbol americano (frecuentemente con pesos corporales muy altos) que utilizan el equipo de protección completo en clima caliente tienen pérdidas de sudoración $>8 L \cdot d^{-1}$, estos individuos requerirán volúmenes de líquido mucho mayores para mantener la euhidratación cada día comparados con los corredores de la Tabla 5.

TABLA 5. Predicción del porcentaje de pérdida de peso corporal debida a la deshidratación al final de un maratón de 42-km realizado en clima frío/templado (temperatura de bulbo seco=18°C) para individuos de varios pesos corporales que beben 400-800 mL·h⁻¹ mientras corren a 8.5-15 Km·h⁻¹.

Peso corporal (kg)	Consumo de líquido (mL·h ⁻¹)	8.5 km·h ⁻¹ (~5.3 mph)	10 km·h ⁻¹ (~6.3 mph)	12.5 km·h ⁻¹ (~7.9 mph)	15 km·h ⁻¹ (~9.5 mph)
50	400	-0.4	-1.1	-2.0	-2.6
	600	1.6	0.6	-0.6	-1.5
	800	3.6	2.2	0.7	-0.3
70	400	-1.8	-2.3	-3.0	-3.4
	600	-0.4	-1.1	-2.0	-2.6
	800	1.1	0.1	-1.0	-1.8
90	400	-2.6	-3.0	-3.5	-3.9
	600	-1.5	-2.1	-2.8	-3.2
	800	-0.4	-1.1	-2.0	-2.6

Los valores en letra cursiva (bastardilla) ilustran un consumo excesivo de líquido en relación a la tasa de sudoración y un aumento en el riesgo de hiponatremia. Los valores en negrita ilustran una deshidratación suficiente (se eligió 3% como el siguiente porcentaje completo sobre el criterio de >2% proporcionado en el texto) que perjudica el rendimiento.

La composición de los líquidos consumidos puede ser importante. El Instituto de Medicina proporcionó guías generales para la composición de “bebidas deportivas” para personas que realizan actividad física prolongada en clima caliente (73). Ellos recomendaron que este tipo de bebidas de reposición de líquidos puede contener ~20-30 mEq·L⁻¹ de sodio (cloruro como anión), ~2-5 mEq·L⁻¹ de potasio y ~5-10% de carbohidratos (73). La necesidad de estos diferentes componentes (carbohidratos y electrolitos) dependerá de la tarea de ejercicio específica (por ej., intensidad y duración) y condiciones del clima. El sodio y el potasio son para ayudar a reponer las pérdidas de electrolitos por sudor, mientras que el sodio también ayuda a estimular la sed y los carbohidratos aportan energía. Estos componentes también pueden consumirse por fuentes no líquidas tales como geles, barras energéticas y otros alimentos.

El consumo de carbohidratos puede ser beneficioso para sostener la intensidad del ejercicio durante los eventos de ejercicio de alta intensidad de ~1 h o más, así como eventos de ejercicio menos intenso sostenidos por períodos más largos (13,43,44,76,146). Las bebidas deportivas basadas en carbohidratos algunas veces son utilizadas para cubrir las necesidades de carbohidratos, mientras intentan reponer las pérdidas de agua y electrolitos del sudor. Se ha demostrado que el consumo de carbohidratos a una tasa de ~30-60 g·h⁻¹ mantiene los niveles de glucosa en sangre y sostiene el rendimiento en el ejercicio (43,44). Por ejemplo, para lograr una ingesta de carbohidratos suficiente para mantener el rendimiento, un individuo podría ingerir de medio litro a un litro de una bebida deportiva convencional cada hora (suponiendo que contienen 6-8% de carbohidratos, aportaría 30-80 g·h⁻¹ de carbohidratos) junto con suficiente agua para evitar una deshidratación excesiva. Las tasas más altas de entrega de carbohidratos se alcanzan con una mezcla de azúcares (por ej., glucosa, sacarosa, fructosa, maltodextrinas). Si tanto la reposición de líquidos como la entrega de carbohidratos van a ser cubiertas con una sola bebida, la concentración de carbohidratos no debe exceder de 8%, e incluso ser ligeramente menor, ya que las bebidas con una concentración alta de carbohidratos reducen el vaciamiento gástrico (75,145). Finalmente, el consumo de cafeína podría ayudar a sostener el rendimiento en el ejercicio (42) y probablemente no alterará el estado de hidratación durante el ejercicio (44,72,147).

Recomendaciones. Los individuos deben desarrollar programas de reposición de líquidos individualizados que prevengan una deshidratación excesiva (disminuciones >2% del peso

corporal del peso corporal basal). La medición rutinaria de los pesos corporales antes y después del ejercicio es útil para determinar las tasas de sudoración e individualizar los programas de reposición de líquidos. El consumo de bebidas que contienen electrolitos y carbohidratos puede ayudar a mantener el balance de líquido y electrolitos y el rendimiento en el ejercicio.

TABLA 6. Declaraciones de la evidencia del Pronunciamento de Ejercicio y reposición de líquidos del Colegio Americano de Medicina del Deporte.

Encabezado de la sección	Declaración de la evidencia	Categoría de la evidencia
Requerimientos de líquidos y electrolitos	- El ejercicio puede ocasionar tasas de sudoración altas y pérdidas sustanciales de agua y electrolitos durante el ejercicio sostenido, particularmente en climas calurosos.	A
	- Hay una variabilidad considerable en las pérdidas de agua y electrolitos entre individuos y entre diferentes actividades.	A
	- Si no se reponen el agua del sudor y las pérdidas de electrolitos, entonces la persona se deshidratará.	A
Evaluación de la hidratación	- Los individuos pueden monitorear su estado de hidratación al emplear mediciones simples de la orina y el peso corporal.	B
	- Un individuo con una GEO de la primera orina por la mañana ≤ 1.020 ó una $OOsmol \leq 700$ $mOsmol \cdot kg^{-1}$ puede considerarse como euhidratado.	B
	- Pueden utilizarse los pesos corporales al despertarse por la mañana de varios días para establecer una línea base de peso corporal que represente la euhidratación.	B
	- Los cambios en el peso corporal pueden reflejar las pérdidas de sudor durante el ejercicio y pueden usarse para calcular las necesidades individuales de reposición de líquidos para ejercicios y condiciones ambientales específicos.	A
Efectos de la Hidratación	- La deshidratación aumenta la tensión fisiológica y el esfuerzo percibido para realizar la misma tarea de ejercicio, y esto se acentúa en climas cálidos.	A
	- La deshidratación (>2% PC) puede disminuir el rendimiento en el ejercicio aeróbico, especialmente en climas cálidos.	A
	- Entre mayor sea el nivel de deshidratación mayor será la tensión fisiológica y el decremento del rendimiento en el ejercicio aeróbico.	B
	- La deshidratación (>2% PC) puede disminuir el rendimiento mental/cognitivo.	B
	- La deshidratación (3% PC) tiene poca influencia en la disminución del rendimiento en el ejercicio aeróbico en presencia del estrés por frío.	B
	- La deshidratación (3-5% PC) no disminuye el rendimiento anaeróbico ni la fuerza muscular.	A y B
	- El déficit de agua crítico y la magnitud de la disminución del rendimiento en el ejercicio están relacionadas al estrés por calor, la tarea de ejercicio y las características biológicas únicas del individuo.	C
	- La hiperhidratación puede conseguirse por varios métodos, pero aporta beneficios poco claros y tiene varias desventajas.	B
	- La deshidratación es un factor de riesgo para el agotamiento por calor y el golpe de calor por esfuerzo.	A y B
	- La deshidratación puede aumentar la probabilidad o severidad de la falla renal aguda como consecuencia de la rabdomiólisis por esfuerzo.	B
	- La deshidratación y las deficiencias de sodio están asociadas con los calambres del músculo esquelético.	C
	- La hiponatremia sintomática asociada con el ejercicio puede ocurrir en los eventos de resistencia.	A
	- El consumo de líquido que excede a la tasa de sudoración es el principal factor que lleva a la hiponatremia asociada con el ejercicio.	A
- Las pérdidas grandes de sodio por sudor y una masa corporal (y agua corporal total) pequeña pueden contribuir a la hiponatremia asociada con el ejercicio.	B	
Factores modificantes	- Las mujeres generalmente tienen tasas de sudoración menores que los hombres.	A
	- Las diferencias entre sexos en la retención renal de electrolitos y agua son sutiles y probablemente no sean de consecuencia.	B

- Las mujeres están en mayor riesgo que los hombres de desarrollar hiponatremia sintomática asociada con el ejercicio.	C
- Los adultos mayores tienen una sensibilidad de la sed disminuida cuando se deshidratan, haciéndolos más lentos para recuperar la euhidratación voluntariamente.	A
- Los adultos mayores tienen respuestas renales más lentas relacionadas con la edad a las cargas de agua y sodio y pueden tener mayor riesgo de hiponatremia.	A y C
- Los niños tienen tasas de sudoración menores que los adultos.	B
- El consumo de alimentos promueve la euhidratación.	A
- Las pérdidas de electrolitos por sudor (sodio y potasio) deben reponerse completamente para restablecer la euhidratación.	A
- El consumo de cafeína no afectará marcadamente la producción de orina diaria o el estado de hidratación.	B
- El consumo de alcohol puede aumentar la producción de orina y retrasar la rehidratación completa.	B

Después del ejercicio

Después del ejercicio, la meta es reponer completamente cualquier deficiencia de líquidos y electrolitos. La agresividad para reponer los líquidos depende de la velocidad en que la rehidratación deba completarse y la magnitud de la deficiencia de líquidos y electrolitos. Si el tiempo de recuperación y las oportunidades lo permiten, el consumo de alimentos normales y meriendas con un volumen suficiente de agua sola restaurará la euhidratación, aportando alimentos que contengan suficiente sodio para reponer las pérdidas por sudor (72). Si la deshidratación es sustancial con periodos de recuperación relativamente cortos (<12 h) entonces podrían ser necesarios programas de rehidratación agresivos (87,88,128).

No reponer suficientemente las pérdidas de sodio evitará el regreso al estado de euhidratación y estimulará la producción excesiva de orina (87,105,127). El consumo de sodio durante el periodo de recuperación ayudará a retener los líquidos ingeridos y ayudará a estimular la sed. Las pérdidas de sodio son más difíciles de evaluar que las pérdidas de agua, y es bien sabido que los individuos pierden electrolitos en el sudor a tasas ampliamente diferentes. Puede ser útil adicionar un poco de sal extra a los alimentos y los líquidos de la recuperación cuando las pérdidas de sodio en sudor son altas.

Los individuos que buscan alcanzar una recuperación rápida y completa después de la deshidratación deben beber ~1.5 L de líquido por cada kilogramo de peso corporal perdido (128). El volumen adicional es necesario para compensar la producción de orina aumentada que acompaña al consumo rápido de grandes volúmenes de líquido (127). Por lo tanto, cuando sea posible, los líquidos deben consumirse espaciados en el tiempo (y con suficientes electrolitos) en lugar de ser ingeridos en grandes cantidades en un tiempo corto, para promover la máxima retención de líquido (78,148).

La reposición de líquido por vía intravenosa después del ejercicio puede justificarse en individuos con una deshidratación severa (>7% de la pérdida de peso corporal), con náusea, vómito o diarrea, o quienes por alguna razón no puedan ingerir líquidos por vía oral. Para la mayoría de las situaciones, la reposición de líquidos por vía intravenosa no aporta una ventaja sobre la vía oral (beber) para reponer las deficiencias de líquidos y electrolitos (28).

Recomendaciones. Si el tiempo lo permite, el consumo de alimentos y bebidas normales restaurará la euhidratación. Los individuos que necesiten una recuperación rápida y completa por una deshidratación excesiva pueden beber ~1.5 L de líquido por cada kilogramo de peso corporal

perdido. El consumo de bebidas y meriendas con sodio ayudará a facilitar una recuperación rápida y completa al estimular la sed y la conservación de líquido. La reposición de líquidos por vía intravenosa generalmente no es ventajosa, a menos que se justifique médicamente.

CONCLUSIÓN

El ejercicio físico puede provocar altas tasas de sudoración y pérdidas sustanciales de agua y electrolitos, particularmente en climas calientes. Si no se reponen las pérdidas de agua y electrolitos entonces el individuo se deshidratará durante la actividad física. La deshidratación excesiva puede disminuir el rendimiento en el ejercicio y aumentar el riesgo de complicación por calor durante el esfuerzo. El consumo excesivo de líquidos puede provocar hiponatremia sintomática asociada al ejercicio. Las mujeres y los adultos mayores pueden estar en mayor riesgo de desequilibrios de líquidos-electrolitos durante y después del ejercicio vigoroso.

El objetivo de la hidratación antes del ejercicio es iniciar la actividad física euhidratado y con niveles normales de electrolitos en el cuerpo. La hidratación con bebidas antes del ejercicio debe iniciarse con al menos varias horas de antelación para permitir la absorción de líquidos y la producción de orina y así regresar a los niveles normales. La meta de beber durante el ejercicio es prevenir la deshidratación excesiva (>2% de pérdida de peso corporal por déficit de agua) y los cambios excesivos en el balance de electrolitos que afecten el rendimiento y la salud. Debido a que hay una considerable variabilidad en las tasas de sudoración y la composición del sudor entre individuos, se recomiendan programas de reposición de líquidos individualizados. La medición del peso corporal antes y después del ejercicio para determinar las tasas de sudoración es una propuesta simple y válida para estimar las pérdidas de sudor. Durante el ejercicio, el consumo de bebidas que contengan electrolitos y carbohidratos puede aportar beneficios sobre el agua sola bajo ciertas circunstancias. Después del ejercicio, la meta es reponer las deficiencias de líquidos y electrolitos. La velocidad con la que se necesita la rehidratación y la magnitud de las deficiencias de líquidos/electrolitos determinará si se requiere un programa agresivo de reposición de líquidos.

Este pronunciamiento reemplaza al Pronunciamiento de 1996 “Ejercicio y reposición de líquidos”, *Med. Sci. Sports Exerc.* 28(1): i-vii, 1996.

Este pronunciamiento fue revisado por el Comité de Pronunciamentos del Colegio Americano de Medicina del Deporte y por Michael F. Bergeron, Ph.D., FACSM; Mark Hargreaves, Ph.D., FACSM; Emily M. Haymes Ph.D., FACSM; Gary W. Mack, Ph.D., FACSM; y William O. Roberts, M.D., FACSM.

Aclaración Financiera y de Afiliación : Michael F. Bergeron recibió soporte de fondos para investigación del Instituto Gatorade de Ciencias del Deporte para proyectos de investigación de los cuáles él fue/es el principal investigador. E. Randy Eichner es miembro del Consejo Asesor en Ciencia y del Grupo de Conferencistas del Instituto Gatorade de Ciencias del Deporte. Mark Hargreaves es miembro del Consejo Asesor en Ciencia del Instituto Gatorade de Ciencias del Deporte, del cual recibe un honorario. Ronald J. Maughan es miembro del Consejo Revisor en Medicina Deportiva del Instituto Gatorade de Ciencias del Deporte. Además ha recibido fondos para investigación y/o servido como asesor en las siguientes compañías: The Coca-Cola Company, Wander, Callitheke, Grand Metropolitan, Diageo, Armour Pharmaceuticals, Nestec, Powerbar, Kraft Foods, GlaxoSmithKline. Nina S. Stachenfeld tiene un pequeño financiamiento para investigación del Instituto Gatorade de Ciencias del Deporte.

REFERENCIAS

1. ADOLPH, E. Physiological Regulations. 1943.
2. ADOLPH, E. F., and ASSOCIATES. Physiology of Man in the Desert. 1947.
3. ALLAN, J. R., and C. G. WILSON. Influence of acclimatization on sweat sodium concentration. *J. Appl. Physiol.* 30:708–712, 1971.
4. ALMOND, C. S., A. Y. SHIN, E. B. FORTESCUE, et al. Hyponatremia among runners in the Boston Marathon. *N. Engl. J. Med.* 352:1550–1556, 2005.
5. ARMSTRONG, L. E., A. C. PUMERANTZ, M. W. ROTI, et al. Fluid, electrolyte, and renal indices of hydration during 11 days of controlled caffeine consumption. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 15:252–265, 2005.
6. ARMSTRONG, S., C. M. MARESH, J. W. CASTELLANI, M. F. BERGERON, and R. W. KENEFICK. Urinary indices of hydration status. *International Journal of Sports Nutrition* 4:265–279, 1994.
7. AVELLINI, B. A., E. KAMON, and J. T. KRAJEWSKI. Physiological responses of physically fit men and women to acclimation to humid heat. *J. Appl. Physiol.* 49:254–261, 1980.
8. AYUS, J. C., J. VARON, and A. I. ARIEFF. Hyponatremia, cerebral edema, and noncardiogenic pulmonary edema in marathon runners. *Ann. Intern. Med.* 132:711–714, 2000.
9. BAKER, L. B., T. A. MUNCE, and W. L. KENNEY. Sex differences in voluntary fluid intake by older adults during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37:789–796, 2005.
10. BAR-OR, O. Temperature regulation during exercise in children and adolescents. In: *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine, Volume 2: Youth, Exercise and Sport*, C. V. Gisolf and D. R. Lamb. Indianapolis: Benchmark Press, pp. 335–367, 1989.
11. BARR, S. I., D. L. COSTILL. Water: can the endurance athlete get too much of a good thing. *J. Am. Diet. Assoc.* 89:1629–1632, 1635, 1989.
12. BARTOK, C., D. A. SCHOELLER, J. C. SULLIVAN, R. R. CLARK, and G. L. LANDRY. Hydration testing in collegiate wrestlers undergoing hypertonic dehydration. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36:510–517, 2004.
13. BELOW, P. R., R. MORA-RODRIGUEZ, J. GONZALEZ-ALONSO, and E. F. COYLE. Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1 h of intense exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27:200–210, 1995.
14. BERGERON, M. F. Heat cramps: fluid and electrolyte challenges during tennis in the heat. *J. Sci. Med. Sport* 6:19–27, 2003.
15. BERGERON, M. F., C. M. MARESH, L. E. ARMSTRONG, et al. Fluid-electrolyte balance associated with tennis match play in a hot environment. *Int. J. Sport Nutr.* 5:180–193, 1995.
16. BROAD, E. M., L. M. BURKE, G. R. COX, P. HEELEY, and M. RILEY. Body weight changes and voluntary fluid intakes during training and competition sessions in team sports. *Int. J. Sport Nutr.* 6:307–320, 1996.
17. BROUNS, F. Heat-sweat-dehydration-rehydration: a praxis oriented approach. *J. Sports Sci.* 9 Spec No:143–152, 1991.
18. BROWN, D., and E. M. WINTER. Fluid loss during international standard match-play in squash. In: *Science and Racquet Sports*, A. Lees, I. Maynard, M. Hughes, and T. Reilly. London: E & FN Spon, pp. 56–59, 1998.
19. BROWN, T. P. Exertional rhabdomyolysis. Early recognition is key. *The Physician and Sports Medicine* 32:15–20, 2004.
20. BUNT, J. C., T. G. LOHMAN, and R. A. BOILEAU. Impact of total body water fluctuations on estimation of body fat from body density. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21:96–100, 1989.
21. BURKE, L. M., C. WOOD, D. B. PYNE, R. D. TELEFORD, and P. U. SAUNDERS. Effect of carbohydrate intake on half-marathon performance of well-trained runners. *Journal of Sports Nutrition and Exercise Metabolism* 15:573–589, 2005.
22. BURKE, L. M. Swimming and rowing. In: *Applied Sports Nutrition*, Illinois: Human Kinetics, p. 2006.
23. BUSKIRK, E., and W. BEETHAM. Dehydration and body temperature as a result of marathon running. *Medicina Sportiva* 14: 493–506, 1960.
24. CARTER R. III, S. N. CHEUVRONT, C. R. VERNIEUW, and M. N. SAWKA. Hypohydration and prior heat-stress exacerbates decreases in cerebral blood flow velocity during standing. *Journal of Applied Physiology*, (In Press) 2006.
25. CARTER, R. I., S. N. CHEUVRONT, J. O. WILLIAMS, et al. Hospitalizations and death from heat illness in US Army soldiers, 1980–2002. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37:1338–1344, 2005.
26. CARTER, R. I., S. N. CHEUVRONT, D. W. WRAY, M. A. KOLKA, L. A. STEPHENSON, and M. N. SAWKA. Hypohydration and exercise-heat stress alters heart rate variability and parasympathetic control. *Journal of Thermal Biology* 30:495–502, 2005.
27. CASA, D. J., P. M. CLARKSON, and W. O. ROBERTS. American College of Sports Medicine roundtable on hydration and physical activity: consensus statements. *Curr. Sports Med. Rep.* 4:115–127, 2005.
28. CASA, D. J., C. M. MARESH, L. E. ARMSTRONG, et al. Intravenous versus oral rehydration during a brief period: responses to subsequent exercise in the heat. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:124–133, 2000.
29. CHEUVRONT, S. N., R. CARTER III, J. W. CASTELLANI, and M. N. SAWKA. Hypohydration impairs endurance exercise performance in temperate but not cold air. *J. Appl. Physiol.* 99:1972–1976, 2005.
30. CHEUVRONT, S. N., R. CARTER III, E. M. HAYMES, and M. N. SAWKA. No effect of moderate hypohydration or hyperthermia on anaerobic exercise performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38:1093–1097, 2006.
31. CHEUVRONT, S. N., R. CARTER III, S. J. MONTAIN, and M. N. SAWKA. Daily body mass variability and stability in active men undergoing exercise-heat stress. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 14:532–540, 2004.

32. CHEUVRONT, S. N., R. CARTER III, S. J. MONTAIN, and M. N. SAWKA. Influence of hydration and air flow on thermoregulatory control in the heat. *Journal of Thermal Biology* 29:532–540, 2004.
33. CHEUVRONT, S. N., R. CARTER III, and M. N. SAWKA. Fluid balance and endurance exercise performance. *Curr. Sports Med. Rep.* 2:202–208, 2003.
34. CHEUVRONT, S. N., E. M. HAYMES, and M. N. SAWKA. Comparison of sweat loss estimates for women during prolonged high-intensity running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34:1344–1350, 2002.
35. CIAN, C., N. KOULMANN, P. S. BARRAUD, C. RAPHEL, C. JIMENEZ, and B. MELIN. Influence of variations in body hydration on cognitive function: effect of hyperhydration, heat stress, and exercise-induced dehydration. *Journal of Psychophysiology* 14:29–36, 2000.
36. CLARK, R. R., C. BARTOK, J. C. SULLIVAN, and D. A. SCHOELLER. Minimum weight prediction methods cross-validated by the four-component model. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36:639–647, 2004.
37. CLAYBAUGH, J. R., A. K. SATO, L. K. CROSSWHITE, and L. H. HASSELL. Effects of time of day, gender, and menstrual cycle phase on the human response to a water load. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 279:R966–R973, 2000.
38. CONSOLAZIO, F. C., R. E. JOHNSON, and L. J. PECORA. The computation of metabolic balances. In: *Physiological Measurements of Metabolic Function in Man*, New York: McGraw-Hill, pp. 313–339, 1963.
39. CONVERTINO, V. A., L. E. ARMSTRONG, E. F. COYLE, et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28:i–vii, 1996.
40. COSTILL, D. L., R. COTE, E. MILLER, T. MILLER, and S. WYNDER. Water and electrolyte replacement during repeated days of work in the heat. *Aviat. Space Environ. Med.* 46:795–800, 1975.
41. COX, G. R., E. M. BROAD, M. D. RILEY, and L. M. BURKE. Body mass changes and voluntary fluid intakes of elite level waterpolo players and swimmers. *J. Sci. Med. Sport* 5:183–193, 2002.
42. COX, G. R., B. DESBROW, P. G. MONTGOMERY, et al. Effect of different protocols of caffeine intake on metabolism and endurance performance. *J. Appl. Physiol.* 93:990–999, 2002.
43. COYLE, E. F. Fluid and fuel intake during exercise. *J. Sports Sci.* 22:39–55, 2004.
44. COYLE, E. F., and S. J. MONTAIN. Carbohydrate and fluid ingestion during exercise: are there trade-offs? *Med. Sci. Sports Exerc.* 24:671–678, 1992.
45. DANCASTER, C. P., and S. J. WHEREAT. Fluid and electrolyte balance during the comrades marathon. *S. Afr. Med. J.* 45:147–150, 1971.
46. DAVIS, D. P., J. S. VIDEEN, A. MARINO, et al. Exercise-associated hyponatremia in marathon runners: a two-year experience. *J. Emerg. Med.* 21:47–57, 2001.
47. DICKSON, J. M., H. M. WEAVERS, N. MITCHELL, et al. The effects of dehydration on brain volume—preliminary results. *Int. J. Sports Med.* 26:481–485, 2005.
48. DIMEFF, R. J. Seizure disorder in a professional American football player. *Curr. Sports Med. Rep.* 5:173–176, 2006.
49. DONTAS, A. S., S. G. MARKETOS, and P. PAPANAYIOTOU. Mechanisms of renal tubular defects in old age. *Postgraduate Medical Journal* 48:295–303, 1972.
50. EBELL, M. H., J. SIWEK, B. D. WEISS, et al. Strength of recommendation taxonomy (SORT): a patient-centered approach to grading evidence in the medical literature. *Am. Fam. Physician* 69:548–556, 2004.
51. EICHNER, E. R. Heat stroke in sports: causes, prevention and treatment. *Sports Science Exchange* 15:1–4, 2004.
52. ENGELL, D., and E. HIRSCH. Environmental and sensory modulation of fluid intake in humans. In: *Thirst: Physiological and Psychological Aspects*, D. J. Ramsey and D. A. Booth. Berlin: Springer-Verlag, pp. 382–402, 1999.
53. EPSTEIN, Y., D. S. MORAN, Y. SHAPIRO, E. SOHAR, and J. SHEMER. Exertional heat stroke: a case series. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:224–228, 1999.
54. EVETOVICH, T. K., J. C. BOYD, S. M. DRAKE, et al. Effect of moderate dehydration on torque, electromyography, and mechanomyography. *Muscle Nerve* 26:225–231, 2002.
55. FRASER, C. L., and A. I. ARIEFF. Epidemiology, pathophysiology, and management of hyponatremic encephalopathy. *Am. J. Med.* 102:67–77, 1997.
56. FRASER, C. L., J. KUCHARCZYK, A. I. ARIEFF, C. ROLLIN, P. SARNACKI, and D. NORMAN. Sex differences result in increased morbidity from hyponatremia in female rats. *Am. J. Physiol.* 256:R880–R885, 1989.
57. FRASER, C. L., and P. SARNACKI. Na⁺-K⁺-ATPase pump function in rat brain synaptosomes is different in males and females. *Am. J. Physiol.* 257:E284–E289, 1989.
58. FREUND, B. J., S. J. MONTAIN, A. J. YOUNG, et al. Glycerol hyperhydration: hormonal, renal, and vascular fluid responses. *J. Appl. Physiol.* 79:2069–2077, 1995.
59. FREUND, B. J., and A. J. YOUNG. Environmental influences on body fluid balance during exercise: cold stress. In: *Body Fluid Balance Exercise and Sport*, E. R. Buskirk and S. M. Puhl. Boca Raton: CRC Press, pp. 159–196, 1996.
60. FUKUMOTO, T., T. TANAKA, H. FUJIOKA, S. YOSHIHARA, T. OCHI, and A. KUROIWA. Differences in composition of sweat induced by thermal exposure and by running exercise. *Clin. Cardiol.* 11:707–709, 1988.
61. GAGGE, A. P., and R. R. GONZALEZ. Mechanisms of heat exchange: Biophysics and Physiology. In: *Handbook of Physiology, Section 4, Environmental Physiology*, M. J. Fregly and C. M. Blatteis. New York: Oxford University Press, pp. 45–84, 1996.
62. GODEK, S. F., A. R. BARTOLOZZI, and J. J. GODEK. Sweat rate and fluid turnover in American football players compared with runners in a hot and humid environment. *Br. J. Sports Med.* 39:205–211, 2005.

63. GOODMAN, A., S. KLITZMAN, S. LAU, et al. Exertional rhabdomyolysis and acute renal impairment-New York City and Massachusetts, 1988. *MMWR Morb. Mortal. Wkly. Rep.* 39:751–756, 1990.
64. GRANDJEAN, A. C., K. J. REIMERS, K. E. BANNICK, and M. C. HAVEN. The effect of caffeinated, non-caffeinated, caloric and non-caloric beverages on hydration. *J. Am. Coll. Nutr.* 19:591–600, 2000.
65. GRANDJEAN, A. C., K. J. REIMERS, M. C. HAVEN, and G. L. CURTIS. The effect on hydration of two diets, one with and one without plain water. *J. Am. Coll. Nutr.* 22:165–173, 2003.
66. GREENLEAF, J. E., R. LOOFT-WILSON, J. L. WISHERD, et al. Hypervolemia in men from fluid ingestion at rest and during exercise. *Aviat. Space Environ. Med.* 69:374–386, 1998.
67. GREENLEAF, J. E., R. LOOFT-WILSON, J. L. WISHERD, M. A. MCKENZIE, C. D. JENSEN, and J. H. WHITTAM. Pre-exercise hypervolemia and cycle ergometer endurance in men. *Biol. Sport* 14:103–114, 1997.
68. GREIWE, J. S., K. S. STAFFEY, D. R. MELROSE, M. D. NARVE, and R. G. KNOWLTON. Effects of dehydration on isometric muscular strength and endurance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30:284–288, 1998.
69. HANCOCK, P. A., and I. VASMATZIDIS. Effects of heat stress on cognitive performance: the current state of knowledge. *Int. J. Hyperthermia* 19:355–372, 2003.
70. HERFEL, R., C. K. STONE, S. I. KOURY, and J. J. BLAKE. Iatrogenic acute hyponatraemia in a college athlete. *Br. J. Sports Med.* 32:257–258, 1998.
71. HEW, T. D., J. N. CHORLEY, J. C. CIANCA, and J. G. DIVINE. The incidence, risk factors, and clinical manifestations of hyponatremia in marathon runners. *Clin. J. Sport Med.* 13:41–47, 2003.
72. INSTITUTE OF MEDICINE. Water. In: *Dietary Reference Intakes for Water, Sodium, Chloride, Potassium and Sulfate*, Washington, D.C: National Academy Press, pp. 73–185, 2005.
73. INSTITUTE OF MEDICINE. Fluid Replacement and Heat Stress. 1994.
74. JACOBS, I. The effects of thermal dehydration on performance of the Wingate anaerobic test. *Int. J. Sports Med.* 1:21–24, 1980.
75. JENTJENS, R. L., C. SHAW, T. BIRTLES, R. H. WARING, L. K. HARDING, and A. E. JEUKENDRUP. Oxidation of combined ingestion of glucose and sucrose during exercise. *Metabolism* 54:610–618, 2005.
76. JEUKENDRUP, A. E. Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition* 20:669–677, 2004.
77. KAVOURAS, S. A., L. E. ARMSTRONG, C. M. MARESH, et al. Rehydration with glycerol: endocrine, cardiovascular and thermoregulatory responses during exercise in heat. *J. Appl. Physiol.*, 2005.
78. KOVACS, E. M., R. M. SCHMAHL, J. M. SENDEN, and F. BROUNS. Effect of high and low rates of fluid intake on post-exercise rehydration. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 12:14–23, 2002.
79. LATZKA, W. A., M. N. SAWKA, S. J. MONTAIN, et al. Hyperhydration: tolerance and cardiovascular effects during uncompensable exercise-heat stress. *J. Appl. Physiol.* 84:1858–1864, 1998.
80. LATZKA, W. A., M. N. SAWKA, S. J. MONTAIN, et al. Hyperhydration: thermoregulatory effects during compensable exercise-heat stress. *J. Appl. Physiol.* 83:860–866, 1997.
81. LEAF, A. Dehydration in elderly. *N. Engl. J. Med.* 311:791–792, 1984.
82. LEVINE, B. D., and P. D. THOMPSON. Marathon maladies. *N. Engl. J. Med.* 352:1516–1518, 2005.
83. LINDEMAN, R. D. Renal physiology and pathophysiology of aging. *Contrib. Nephrol.* 105:1–12, 1993.
84. LUFT, F. C., M. H. WEINBERGER, N. S. FINEBERG, J. Z. MILLER, and C. E. GRIM. Effects of age on renal sodium homeostasis and its relevance to sodium sensitivity. *Am. J. Med.* 82:9–15, 1987.
85. MACK, G. W. 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. Baltimore, MD: Lippincott, Williams & Wilkins, pp. 501–520, 2005.
86. MACK, G. W., C. A. WESEMAN, G. W. LANGHANS, H. SCHERZER, C. M. GILLEN, and E. R. NADEL. Body fluid balance in dehydrated healthy older men: thirst and renal osmoregulation. *J. Appl. Physiol.* 76:1615–1623, 1994.
87. MAUGHAN, R. J., and J. B. LEIPER. Effects of sodium content of ingested fluids on post-exercise rehydration in man. *European Journal of Applied Physiology* 71:311–319, 1995.
88. MAUGHAN, R. J., J. B. LEIPER, and S. M. SHIRREFFS. Restoration of fluid balance after exercise-induced dehydration: effects of food and fluid intake. *European Journal of Applied Physiology* 73:317–325, 1996.
89. MAUGHAN, R. J., S. M. SHIRREFFS, S. J. MERSON, and C. A. HORSWILL. Fluid and electrolyte balance in elite male football (soccer) players training in a cool environment. *J. Sports Sci.* 23:73–79, 2005.
90. MCCULLOUGH, E. A., and W. L. KENNEY. Thermal insulation and evaporative resistance of football uniforms. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35:832–837, 2003.
91. MCLELLAN, T. M., S. S. CHEUNG, W. A. LATZKA, et al. Effects of dehydration, hypohydration, and hyperhydration on tolerance during uncompensable heat stress. *Can. J. Appl. Physiol.* 24: 349–361, 1999.
92. MEYER, F., O. BAR-OR, D. MACDOUGALL, and G. J. HEIGENHAUSER. Sweat electrolyte loss during exercise in the heat: effects of gender and maturation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24:776–781, 1992.
93. MITCHELL, J. W., E. R. NADEL, and J. A. J. STOLWIJK. Respiratory weight losses during exercise. *Journal of Applied Physiology* 32:474–476, 1972.
94. MONTAIN, S. J., S. N. CHEUVRONT, R. CARTER III, and M. N. SAWKA. Human water and electrolyte balance with physical activity. In: *Present Knowledge in Nutrition*, B. Bowman and R. Russell. Washington, D.C: International Life Sciences Institute, 2006. (In Press).
95. MONTAIN, S. J., S. N. CHEUVRONT, and M. N. SAWKA. Exercise-associated hyponatremia: quantitative analysis for understand the aetiology. *Br. J. Sports Med.* 40:98–106, 2006.

96. MONTAIN, S. J., and E. F. COYLE. Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J. Appl. Physiol.* 73:1340–1350, 1992.
97. MONTAIN, S. J., W. A. LATZKA, and M. N. SAWKA. Control of thermoregulatory sweating is altered by hydration level and exercise intensity. *J. Appl. Physiol.* 79:1434–1439, 1995.
98. MORGAN, R. M., M. J. PATTERSON, and M. A. NIMMO. Acute effects of dehydration on sweat composition in men during prolonged exercise in the heat. *Acta Physiol. Scand.* 182:37–43, 2004.
99. MORIMOTO, T., Z. SLABOCHOVA, R. K. NAMAN, and F. SARGENT. Sex differences in physiological reactions to thermal stress. *J. Appl. Physiol.* 22:526–532, 1967.
100. MURRAY, B., and E. R. EICHNER. Hyponatremia of exercise. *Curr. Sports Med. Rep.* 3:117–118, 2004.
101. MUSTAFA, K. Y., and N. E. MAHMOUD. Evaporative water loss in African soccer players. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 19:181–183, 1979.
102. NOAKES, T. Fluid replacement during marathon running. *Clin. J. Sport Med.* 13:309–318, 2003.
103. NOAKES, T. D. Fluid replacement during exercise. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 21:297–330, 1993.
104. NOAKES, T. D., N. GOODWIN, B. L. RAYNER, T. BRANKEN, and R. K. TAYLOR. Water intoxication: a possible complication during endurance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17:370–375, 1985.
105. NOSE, H., G. W. MACK, X. R. SHI, and E. R. NADEL. Involvement of sodium retention hormones during rehydration in humans. *J. Appl. Physiol.* 65:332–336, 1988.
106. NYBO, L., and B. NIELSEN. Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* 91: 1055–1060, 2001.
107. O'BRIEN, C., B. J. FREUND, A. J. YOUNG, and M. N. SAWKA. Glycerol hyperhydration: physiological responses during cold-air exposure. *J. Appl. Physiol.* 99:515–521, 2005.
108. O'BRIEN, K. K., S. J. MONTAIN, W. P. CORR, M. N. SAWKA, J. J. KNAPIK, and S. C. CRAIG. Hyponatremia associated with overhydration in U.S. Army trainees. *Mil. Med.* 166:405–410, 2001.
109. O'TOOLE, M. L., P. S. DOUGLAS, R. H. LAIRD, and D. B. HILLER. Fluid and electrolyte status in athletes receiving medical care at an ultradistance triathlon. *Clin. J. Sport Med.* 5:116–122, 1995.
110. PHILLIPS, P. A., B. J. ROLLS, J. G. LEDINGHAM, and J. J. MORTON. Body fluid changes, thirst and drinking in man during free access to water. *Physiol. Behav.* 33:357–363, 1984.
111. POPOWSKI, L. A., R. A. OPPLIGER, L. G. PATRICK, R. F. JOHNSON, J. A. KIM, and C. V. GISOLF. Blood and urinary measures of hydration status during progressive acute dehydration. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33:747–753, 2001.
112. RAY, M. L., M. W. BRYAN, T. M. RUDEN, S. M. BAIER, R. L. SHARP, and D. S. KING. Effect of sodium in a rehydration beverage when consumed as a fluid or meal. *J. Appl. Physiol.* 85:1329–1336, 1998.
113. REMICK, D., J. CHANCELLOR, J. PEDERSON, E. J. ZAMBRASKI, M. N. SAWKA, and C. B. WENGER. Hyperthermia and dehydration-related deaths associated with intentional rapid weight loss in three collegiate wrestlers—North Carolina, Wisconsin, and Michigan, November–December 1997. *MMWR Morb. Mortal. Wkly. Rep.* 47:105–108, 1998.
114. RITZ, P. Methods of assessing body water and composition. In: *Hydration throughout Life*, M. J. Arnaud. Montrouge: John Libby Eurotext, pp. 63–74, 1998.
115. ROBERTS, W. O. Death in the heat: can football heat stroke be prevented? *Curr. Sports Med. Rep.* 3:1–3, 2004.
116. RODAHL, K. Occupational health conditions in extreme environments. *Ann. Occup. Hyg.* 47:241–252, 2003.
117. ROLLS, B. J., and P. A. PHILLIPS. Aging and disturbances of thirst and fluid balance. *Nutr. Rev.* 48:137–144, 1990.
118. SAWKA, M. N., and E. F. COYLE. Influence of body water and blood volume on thermoregulation and exercise performance in the heat. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 27:167–218, 1999.
119. SAWKA, M. N., M. M. TONER, R. P. FRANCESCONI, and K. B. PANDOLF. Hypohydration and exercise: effects of heat acclimation, gender, and environment. *J. Appl. Physiol.* 55:1147–1153, 1983.
120. SAWKA, M. N., C. B. WENGER, and K. B. PANDOLF. Thermoregulatory responses to acute exercise- heat stress and heat acclimation. In: *Handbook of Physiology, Section 4: Environmental Physiology*, C. M. Blatteis and M. J. Fregly. New York: Oxford University Press for the American Physiological Society, pp. 157–186, 1996.
121. SAWKA, M. N., and A. J. YOUNG. 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. Baltimore, MD: Lippincott, Williams & Wilkins, pp. 535–563, 2005.
122. SAWKA, M. N., A. J. YOUNG, R. P. FRANCESCONI, S. R. MUZA, and K. B. PANDOLF. Thermoregulatory and blood responses during exercise at graded hypohydration levels. *J. Appl. Physiol.* 59: 1394–1401, 1985.
123. SAWKA, M. N., A. J. YOUNG, W. A. LATZKA, P. D. NEUFER, M. D. QUIGLEY, and K. B. PANDOLF. Human tolerance to heat strain during exercise: influence of hydration. *J. Appl. Physiol.* 73:368–375, 1992.
124. SAYERS, S. P., and P. M. CLARKSON. Exercise-induced rhabdomyolysis. *Curr. Sports Med. Rep.* 1:59–60, 2002.
125. SHAPIRO, Y., K. B. PANDOLF, B. A. AVELLINI, N. A. PIMENTAL, and R. F. GOLDMAN. Physiological responses of men and women to humid and dry heat. *J. Appl. Physiol.* 49:1–8, 1980.
126. SHERMAN, W. M., M. J. PLYLEY, R. L. SHARP, et al. Muscle glycogen storage and its relationship with water. *Int. J. Sports Med.* 3:22–24, 1982.
127. SHIRREFFS, S. M., and R. J. MAUGHAN. Urine osmolality and conductivity as indices of hydration status in athletes in the heat. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30:1598–1602, 1998.

128. SHIRREFFS, S. M., and R. J. MAUGHAN. Volume repletion after exercise-induced volume depletion in humans: replacement of water and sodium losses. *Am. J. Physiol.* 274:F868–F875, 1998.
129. SHIRREFFS, S. M., and R. J. MAUGHAN. Restoration of fluid balance after exercise-induced dehydration: effects of alcohol consumption. *J. Appl. Physiol.* 83:1152–1158, 1997.
130. SHIRREFFS, S. M., L. F. ARAGON-VARGAS, M. CHAMORRO, R. J. MAUGHAN, L. SERRATOSA, and J. J. ZACHWIEJA. The sweating response of elite professional soccer players to training in the heat. *Int. J. Sports Med.* 26:90–95, 2005.
131. SHIRREFFS, S. M., A. J. TAYLOR, J. B. LEIPER, and R. J. MAUGHAN. Post-exercise rehydration in man: effects of volume consumed and drink sodium content. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28:1260–1271, 1996.
132. SMITH, H. R., G. S. DHATT, W. M. MELIA, and J. G. DICKINSON. Cystic fibrosis presenting as hyponatraemic heat exhaustion. *BMJ* 310:579–580, 1995.
133. SPEEDY, D. B., T. D. NOAKES, N. E. KIMBER, et al. Fluid balance during and after an ironman triathlon. *Clin. J. Sport Med.* 11: 44–50, 2001.
134. SPEEDY, D. B., T. D. NOAKES, and C. SCHNEIDER. Exercise-associated hyponatremia: a review. *Emerg Med. (Fremantle.)* 13:17–27, 2001.
135. STACHENFELD, N. S., L. DIPIETRO, E. R. NADEL, and G. W. MACK. Mechanism of attenuated thirst in aging: role of central volume receptors. *Am. J. Physiol.* 272:R148–R157, 1997.
136. STACHENFELD, N. S., D. L. KEEFE, and S. F. PALTER. Estrogen and progesterone effects on transcapillary fluid dynamics. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 281:R1319–R1329, 2001.
137. STACHENFELD, N. S., D. L. KEEFE, and H. S. TAYLOR. Responses to a saline load in gonadotropin-releasing hormone antagonist-pretreated premenopausal women receiving progesterone or estradiol-progesterone therapy. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 90:386–394, 2005.
138. STACHENFELD, N. S., G. W. MACK, A. TAKAMATA, L. DIPIETRO, and E. R. NADEL. Thirst and fluid regulatory responses to hypertonicity in older adults. *Am. J. Physiol.* 271:R757–R765, 1996.
139. STACHENFELD, N. S., C. SILVA, D. L. KEEFE, C. A. KOKOSZKA, and E. R. NADEL. Effects of oral contraceptives on body fluid regulation. *J. Appl. Physiol.* 87:1016–1025, 1999.
140. STACHENFELD, N. S., A. E. SPLENSER, W. L. CALZONE, M. P. TAYLOR, and D. L. KEEFE. Sex differences in osmotic regulation of AVP and renal sodium handling. *J. Appl. Physiol.* 91:1893–1901, 2001.
141. STOFAN, J., D. NIKSICH, C. A. HORSWILL, et al. Sweat and sodium losses in cramp-prone professional football players. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33(Suppl 1):S256–2001.
142. SULZER, N. U., M. P. SCHWELLNUS, and T. D. NOAKES. Serum electrolytes in Ironman triathletes with exercise-associated muscle cramping. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37:1081–1085, 2005.
143. TAJIMA, F., S. SAGAWA, J. IWAMOTO, K. MIKI, J. R. CLAYBAUGH, and K. SHIRAKI. Renal and endocrine responses in the elderly during head-out water immersion. *Am. J. Physiol.* 254:R977–R983, 1988.
144. VERDE, T., R. J. SHEPHARD, P. COREY, and R. MOORE. Sweat composition in exercise and in heat. *J. Appl. Physiol.* 53:1540–1545, 1982.
145. WALLIS, G. A., D. S. ROWLANDS, C. SHAW, R. L. JENTJENS, and A. E. JEUKENDRUP. Oxidation of combined ingestion of maltodextrins and fructose during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37:426–432, 2005.
146. WELSH, R. S., J. M. DAVIS, J. R. BURKE, and H. G. WILLIAMS. Carbohydrates and physical/mental performance during intermittent exercise to fatigue. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34:723–731, 2002.
147. WEMPLE, R. D., D. R. LAMB, and K. H. MCKEEVER. Caffeine vs. caffeine-free sports drinks: effects on urine production at rest and during prolonged exercise. *Int. J. Sports Med.* 18:40–46, 1997.
148. WONG, S. H., C. WILLIAMS, M. SIMPSON, and T. OGAKI. Influence of fluid intake pattern on short-term recovery from prolonged, submaximal running and subsequent exercise capacity. *J. Sports Sci.* 16:143–152, 1998.
149. WYNDHAM, C. H., and N. B. STRYDOM. The danger of an inadequate water intake during marathon running. *S. Afr. Med. J.* 43:893–896, 1969.
150. ZAMBRASKI, E. J. The renal system. In: *ACSM's Advanced Exercise Physiology*, C. M. Tipton, M. N. Sawka, C. A. Tate, and R. L. Terjung. Baltimore, MD: Lippincott, Williams & Wilkins, pp. 521–532, 2005.
151. ZDERIC, T. W., C. J. DAVIDSON, S. SCHENK, L. O. BYERLEY, and E. F. COYLE. High-fat diet elevates resting intramuscular triglyceride concentration and whole body lipolysis during exercise. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 286:E217–E225, 2004.