

Los documentos de investigación de la Facultad de Rehabilitación y Desarrollo Humano de la Universidad del Rosario son un espacio y una invitación permanente a la reflexión y a la crítica sobre aspectos de trascendencia en nuestro país, con miras a contribuir a la construcción de una sociedad más justa e incluyente.

Los temas más recurrentes de discusión girarán en torno al bienestar humano, la integración y participación social, la comunicación humana, la salud y el bienestar de los trabajadores, el movimiento corporal humano, el ejercicio y la actividad física.



Cambios hidroelectrolíticos con el ejercicio: el porqué de la hidratación

Diana Marcela Ramos Caballero
Grupo de Investigación en Actividad Física y
Desarrollo Humano



Documento de investigación No. 15

FACULTAD DE REHABILITACIÓN Y DESARROLLO HUMANO

CAMBIOS HIDROELECTROLÍTICOS CON EL EJERCICIO: EL PORQUÉ DE LA HIDRATACIÓN

*Diana Marcela Ramos Caballero
Grupo de Investigación en Actividad
Física y Desarrollo Humano*



Universidad del Rosario
Facultad de Rehabilitación
y Desarrollo Humano

RAMOS CABALLERO, Diana Marcela
Cambios hidroelectrolíticos con el ejercicio: el porqué de la hidratación / Diana Marcela Ramos Caballero.—
Facultad de Rehabilitación y Desarrollo Humano. Bogotá: Editorial Universidad del Rosario, 2007.
26 p.—(Documento de Investigación; 15).

ISSN: 1794-1318

Ejercicio / Equilibrio agua-electrolito (Fisiología) / Balance hídrico – Fisiología / Balance electrolítico /
Hidratación / I. Grupo de Investigación en Actividad Física y Desarrollo Humano / II. Título.

WD 220 NLM

Editorial Universidad del Rosario
Facultad de Rehabilitación y Desarrollo Humano
Diana Marcela Ramos Caballero
Primera edición: Julio de 2007
ISSN: 1794-1318
Impresión Digital: Javegraf
Impreso y hecho en Colombia
Printed and made in Colombia

Para citar esta publicación: Doc.investig. Fac. Rehabil. Desarro. Hum.

Cambios hidroelectrolíticos con el ejercicio: el porqué de la hidratación

Diana Marcela Ramos Caballero
Fisioterapeuta, MSc. Fisiología. U.N.

Presentación

El balance de agua y electrolitos es crítico para la función de todos los órganos e indiscutiblemente para mantener la salud en general. El agua provee un medio para las reacciones bioquímicas y fisiológicas dentro de los tejidos celulares y es esencial para mantener un adecuado volumen sanguíneo y así la integridad del sistema cardiovascular. La habilidad del organismo para redistribuir el agua dentro de sus compartimentos fluidos, provee un reservorio para minimizar los efectos del déficit de agua. Cada compartimiento acuoso contiene electrolitos, cuya concentración y composición es crítica para mover el fluido entre los compartimentos intracelular y extracelular y mantener el potencial electroquímico de la membrana (Sawka, 2000). De ahí la importancia de mantener un equilibrio adecuado en este balance hidroelectrolítico, especialmente en condiciones en las cuales el mismo se ve alterado, como lo es el estrés causado por ejercicio físico y el calor.

El ejercicio prolongado provoca cambios a nivel de fluidos y electrolitos, que son consecuencia directa de la deshidratación, producida por la sudoración. Ante el estímulo del ejercicio físico el organismo genera mecanismos de regulación sobre fluidos y electrolitos mediante estimulación y secreción de hormonas, minimizando el imbalance potencial que podría resultar de la deshidratación durante el ejercicio prolongado, sin embargo en la mayoría de situaciones, estos mecanismos resultan insuficientes para garantizar el equilibrio hidroelectrolítico, lo cual hace necesario la ingestión de bebidas para la correcta hidratación. En diferentes investigaciones, se ha demostrado que la prevención de la deshidratación mediante la ingestión regular de fluidos es indispensable para asegurar el bienestar físico y mental de los sujetos que realizan actividad física, por lo cual, se ha reconocido ampliamente el valor de la hidratación, principalmente en ambientes deportivos y en competencias de alto rendimiento (Murray, 1996; Marino E, *et ál.*, 2004; Sawka & Mountain, 2000; Casa *et ál.*, 2000; Rehrer, 2001; Duvillard *et ál.*, 2004).

Líquidos y fluidos corporales

Desde el punto de vista cuantitativo, el agua es el componente más abundante de los seres vivos. El agua constituye entre el 45 y el 70% del peso corporal dependiendo de la edad, correspondiente en mayor porcentaje a niños recién nacidos y en menor porcentaje a sujetos de la tercera edad; por ejemplo, en un hombre adulto promedio (75 Kg), el porcentaje de agua es alrededor del 60% del peso corporal, esto es, unos 45 litros aproximadamente (Sawka, 2000). El 40% se encuentra en el interior de las células y se denomina líquido intracelular, mientras que un 20% aproximadamente se encuentra a nivel extracelular, siendo el 5% el agua que se encuentra a nivel intravascular (Jaramillo, 1998) y el 15% el agua intersticial.

En el líquido extracelular se encuentran los iones y nutrientes que necesitan las células para mantener la vida celular, motivo por el cual este líquido extracelular es comúnmente conocido como medio interno, término introducido por el fisiólogo francés Claude Bernard (Guyton, 2001). El mantenimiento de un volumen relativamente constante y de una composición estable de los líquidos corporales es esencial para la homeostasis, para lo cual existe un equilibrio entre el agua que ingresa al organismo y las pérdidas diarias de agua (Tabla 1).

Tabla 1. Ingresos y pérdidas diarias de agua (en ml / día).

	Normal	Ejercicio*
Ingresos		
Ingresos del metabolismo	2100	
Líquidos ingeridos	200	200
Ingresos totales	2300	
Pérdidas		
Insensibles (piel)	350	350
Insensibles (pulmones)	350	650
Sudor	100	5000
Heces	100	100
Orina	1400	500
Pérdidas totales	2300	6600
*Ejercicio moderado-prolongado.		

Tomado de Guyton, 2001.

La importancia del agua radica en que es el principal componente del plasma sanguíneo y dentro de sus funciones se encuentran:

- Transporte de los eritrocitos, los cuales transportan el oxígeno a los músculos activos y el CO₂ a pulmón.
- Transporte de nutrientes como la glucosa, los ácidos grasos y los aminoácidos a los músculos activos.
- Transporte de hormonas que regulan el metabolismo y la actividad muscular durante el ejercicio.
- Regulación de equilibrio ácido básico, porque allí se encuentran agentes amortiguadores como los Buffer para el mantenimiento de un pH adecuado cuando se está formando lactato.
- Regulación térmica; disipación del calor corporal generado durante el ejercicio.
- El volumen de plasma sanguíneo es un determinante importante para la tensión arterial y por ende de la función cardiovascular.
- Componente indispensable para diferentes tipos de reacciones enzimáticas.

Todas estas son funciones indispensables para asegurar el correcto funcionamiento de cada uno de los sistemas corporales, y son aquellas que se garantizan al generar un adecuado balance entre ingesta y pérdida. La ingestión de agua varía de unas personas a otras, y también en la misma persona de unos días a otros, dependiendo del clima, las costumbres y el grado de ejercicio físico que se realiza. Por otro lado, tal y como se detalla en la tabla 1 el organismo experimenta una serie de pérdidas diarias de agua, a través del sudor, de las heces, de la orina y de algunas pérdidas insensibles.

Durante el ejercicio físico es importante destacar, la pérdida insensible o no medible de agua que es independiente de la que se produce con el sudor, cuya cantidad es muy variable y depende de la intensidad del ejercicio y de la temperatura ambiente. El volumen de sudor es normalmente de 100 ml/día, pero en un clima muy cálido o con un ejercicio muy intenso, la pérdida de agua por el sudor se puede incrementar hasta 1 a 2 litros por hora. Esto generaría un cambio a nivel de los diferentes compartimentos corporales por lo que es necesario incrementar el ingreso de líquidos (agua, agua más carbohidratos, agua más carbohidratos más electrolitos), a través de la ingestión de diferentes tipos de bebidas hidratantes (Guyton, 2000; Shirref & Maughan, 1998; Hsieh, 2004; Vrijens, 1999; Rehrer, 2001; Murray, 1996; Barr, 1991; Casa, 2000; Sawka, 2000).

Un mecanismo adicional de pérdida de agua por el cuerpo se produce mediante la orina excretada por los riñones; hay muchos mecanismos que regulan la cuantía de la excreción urinaria, y fisiológicamente es el órgano más importante del que dispone el organismo para mantener el equilibrio entre el ingreso y las pérdidas tanto de agua como de la mayoría de electrolitos; la regulación que se genera a este nivel permite a través de mecanismos hormonales y hemodinámicos regular la cantidad de agua y de electrolitos que se reabsorben y/o se excretan por los riñones en respuesta a diferentes estímulos externos tales como el ejercicio y la sudoración excesiva.

Una de las formas más usadas y más confiables para valorar el estado de esta regulación hidroelectrolítica, durante el ejercicio y en general durante cualquier situación que pudiese alterar la homeostasis de fluidos y electrolitos, es la composición del plasma (electrolitos plasmáticos) y los cambios que este sufre en su volumen (cambios en el volumen plasmático).

Electrolitos plasmáticos

Los iones constituyen el 95% de los solutos suspendidos en los fluidos orgánicos y la suma de los cationes y aniones en cada compartimiento es equivalente de tal forma que en cada espacio el fluido es eléctricamente neutral y químicamente isosmolar. En el líquido extracelular el principal catión es el Na^+ y el principal anión el Cl^- , hallándose cantidades menores de potasio, magnesio, urea, proteínas, glucosa y HCO_3^- (Maresh, 2004).

Sodio y cloro

El sodio es el catión primario del líquido extracelular. Funciona como el determinante osmótico en la regulación del volumen del fluido extracelular y por lo tanto del plasma. Aproximadamente el 95% del contenido total de sodio del cuerpo es encontrado en el fluido extracelular. El sodio adicionalmente, es un importante determinante del potencial de membrana de las células y del transporte activo de moléculas a través de la membrana. La concentración de sodio en el interior celular es menos del 10% del que existe fuera de la célula, por lo que para mantener su gradiente de concentración, es necesario de un proceso activo dependiente de energía. El cloro, en asociación con el sodio, es el principal anión osmóticamente activo en el fluido extracelular y es importante para mantener el balance de fluidos y electrolitos; adicionalmente, sirve como un importante componente de los jugos gástricos, como ácido clorhídrico.

El sodio y el cloro son comúnmente consumidos como cloruro de sodio. La absorción de cloro y sodio ocurre en primer lugar, en el intestino delgado. La mayoría del cloruro de sodio consumido es excretado en la orina, mientras que la cantidad que se excreta por la sudoración no es muy elevada (aunque esta puede variar dependiendo, del grado de actividad física, del ambiente y el tiempo de duración de determinada actividad). El riñón, tiene la capacidad de filtrar alrededor de 25000 mmol de sodio cada día, y de reabsorber, por diversos mecanismos, el 99% o más de la carga filtrada. El sodio y cloro reabsorbidos permanecen en los compartimentos extracelulares. La concentración plasmática de sodio está normalmente dentro de unos estrechos límites de 136 a 145 mEq/L y mientras que para el cloro, la concentración plasmática es de 104 mEq/L, la concentración en el fluido intersticial corresponde a 145 mEq/L y 115 mEq/L de sodio y cloro respectivamente; mientras que la concentración de estos electrolitos en el fluido intracelular, aunque puede variar dependiendo del tipo celular, es en promedio de 3 mEq/L de sodio y 3 mEq/L de cloro. Los sistemas y hormonas encargados de mantener estos límites incluyen el sistema renina-angiotensina-aldosterona y la acción del sistema nervioso simpático, el péptido atrial natriurético, varios mecanismos intrarrenales y otros hechos que regulan el flujo sanguíneo renal y medular. El sodio y el cloro son requeridos para mantener el volumen extracelular y la osmolaridad plasmática. Cualquier pérdida de agua en mayor proporción que las pérdidas de electrolitos, incrementará la concentración plasmática de sodio en los compartimentos fluidos extracelulares.

Ha sido reconocido que el Sodio y el Cloro mantiene la presión osmótica de los fluidos intra y extracelulares, conjuntamente con el ión Potasio actúan sobre la membrana celular interviniendo en la transmisión del impulso electroquímico y a nivel intracelular participan en diferentes reacciones metabólicas. La actividad física puede afectar potencialmente el balance del sodio y el cloro, principalmente por las pérdidas incrementadas en el sudor (IOM, 2004), tal y como se describe más adelante en el apartado de equilibrio hidroelectrolítico durante el ejercicio. Los sujetos que se ejercitan intensamente en el calor pueden perder cantidades sustanciales de sudor. La pérdida de sodio en el sudor es dependiente de varios factores, entre ellos, la dieta, la ingesta de sodio, la tasa de sudoración, el estado de hidratación y el grado de aclimatación al calor (Allsopp, 1998; Brouns, 1991). La cantidad de sodio perdida en el sudor en individuos aclimatados al calor es menor que aquellos no aclimatados. Aún la exposición al calor sin ejercicio, altera la concentración de sodio en el sudor (Sawka & Montain, 2000).

Potasio

Las reservas corporales totales de potasio en un adulto promedio (70 Kg – 1.70 mts) son aproximadamente 3000 a 4000 mEq (50 a 55 mEq/Kg de peso corporal). En contraste con el sodio, que se encuentra restringido principalmente al espacio extracelular, el potasio es básicamente un catión intracelular, con el 98% del K^+ localizado en el interior celular. Lo que puede ser apreciado en la distribución de este ión en los dos compartimentos, con 140 mEq/L intracelular Vs. 4 a 4.5 mEq/L de potasio plasmático y extracelular. La distribución de Na^+ y K^+ en los diferentes compartimentos fluidos es mantenida activamente por la bomba $Na^+-K^+-ATPasa$ en la membrana celular, que bombea sodio hacia el exterior celular y potasio hacia el interior, en una relación de 3:2 (IOM 2004).

El potasio posee dos principales funciones fisiológicas. La primera, es que juega un papel importante en el metabolismo celular, participando en la regulación de procesos como la síntesis de proteínas y glicógeno. Como resultado, una variedad de funciones celulares podrían verse afectadas en condiciones de desbalances de potasio. Y la segunda, es que la distribución de potasio entre el interior y el exterior celular es el principal determinante del potencial de reposo de la membrana celular. La regulación de la distribución interna de potasio debe ser extremadamente eficiente, ya que movimientos de inclusive 1.5 a 2% del potasio celular hacia el fluido extracelular pueden resultar en un incremento perjudicial en la concentración plasmática de potasio con valores de 8 mEq/L y más.

El mantenimiento de una concentración plasmática normal de potasio es dependiente de la ingesta dietaria neta, de la habilidad del ión para entrar en la célula y de su excreción urinaria. Después de una carga de potasio, la mayoría del catión excedente es inicialmente tomado por las células, una respuesta que es facilitada por los niveles basales de catecolaminas e insulina. Esta ingesta celular minimiza el incremento en la concentración plasmática de potasio, dependiendo también de la excreción del exceso de potasio a través de la orina. La excreción de potasio urinario es una función de secreción de la nefrona distal. Los principales moduladores de éste proceso son la aldosterona y la misma concentración plasmática de potasio.

Durante el ejercicio, el potasio es normalmente liberado de las células musculares. Esta respuesta puede reflejar en parte, un desacople entre la salida de potasio durante la despolarización y su subsecuente entrada por la bomba $Na^+-K^+-ATPasa$. Sin embargo, con el ejercicio moderado a severo se puede presentar un factor adicional de importancia; la célula muscular posee canales ATP dependientes

de potasio, en los cuales el ATP reduce el número de canales abiertos. Así, una reducción en los niveles de ATP con ejercicio intenso puede abrir más canales de potasio, promoviendo así liberación de potasio de las células (Daut, 1990).

La liberación de potasio durante el ejercicio puede tener una función fisiológica. El incremento local de la concentración de potasio plasmático, posee efectos vasodilatadores que contribuyen a mejorar el flujo sanguíneo (y por lo tanto la producción de energía) a los músculos que se están ejercitando. La elevación en la concentración sistémica de potasio (menor que la observada en la circulación local), está relacionada con el grado de ejercicio: 0.3 a 0.4 mEq/L con una caminata suave, 0.7 a 1.2 mEq/L con ejercicio moderado, y más de 2.0 mEq/L con ejercicio intenso hasta la fatiga. Estos cambios son revertidos después de varios minutos de reposo (Lindinger, 1992).

La hiperkalemia inducida por el ejercicio de intensidad leve-moderada, es generalmente discreta, no produce síntomas y es atenuada con el entrenamiento. El entrenamiento mejora la concentración de potasio celular y la actividad de la bomba $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPasa}$; esta adaptación puede ser responsable de un menor grado de liberación de potasio durante el ejercicio.

Cambio en el volumen plasmático

Generalmente los valores de los volúmenes sanguíneo, plasmático y celular son mayores en el hombre que en la mujer, siendo estos valores diferentes en la población no deportista como se muestra en la Tabla 2 (García y colaboradores, 2002).

Tabla 2. Volúmenes sanguíneo, plasmático y celular.

	HOMBRES	MUJERES
Volumen sanguíneo	7,5% del peso corporal.	6,5% del peso corporal.
Volumen plasmático	44 ml/Kg.	34 ml/kg.
	4.5 – 5% del peso corporal.	
Volumen celular	30ml/kg.	24 ml/kg.

Tomado de García y Colaboradores, 2002.

Yoshida T. y colaboradores en 1997 publicaron un estudio en donde además de otras variables fisiológicas midieron el volumen plasmático de 12 atletas

masculinos universitarios encontrando que los valores del mismo no dependen en gran medida del entrenamiento, sino del estrés ambiental que impone el calor.

La deshidratación producto de la práctica de ejercicio físico intenso y prolongado, produce decrementos en el volumen plasmático, pero la magnitud de esta reducción es variable. Por ejemplo, personas aclimatadas en ambientes cálidos presentan menores reducciones de volumen plasmático que las personas no aclimatadas para un déficit de agua corporal dado (Sawka, 1988). Debido a que las personas aclimatadas secretan sudor más diluido, que se refleja en mayores concentraciones de solutos extracelulares que ejercen presión osmótica para redistribuir el fluido desde el espacio intracelular (IOM, 2004).

Diversos estudios han demostrado, que existen cambios considerables en el volumen del plasma durante y después de la exposición a diferentes ambientes o condiciones fisiológicas. Se piensa que estos cambios son producto de intercambios transitorios de fluido entre el espacio intersticial e intravascular (Jiménez, 1999; Kargotich, 1998; Neumayr, 2005; Rostein, 1998; Wolsky, 1997).

Los cambios de volumen plasmático se asocian con la aclimatación al calor, estado de hidratación, grado de entrenamiento físico y cambios posturales, inclusive, todos pueden diferir de un estudio a otro, de una serie de ejercicio a otra y hasta dentro del mismo estudio y esto debe ser tenido en cuenta (Neumayr, 2005; Kargotich, 1998).

Adicionalmente, el sodio ingerido en la dieta está fuertemente asociado con los cambios en el volumen plasmático inducidos por el entrenamiento y pueden ser un factor determinante en la magnitud de expansión del volumen plasmático derivado del entrenamiento (IOM, 2004; Luetkemeier, 1997).

Al iniciar el ejercicio hay un aumento casi inmediato de pérdida de volumen plasmático sanguíneo hacia el compartimiento fluido intersticial. Esto es probablemente consecuencia de dos factores: 1) incremento en la presión arterial, que a su vez ocasiona un incremento en la presión hidrostática al interior de los capilares, lo que genera una fuerza de que impulsa el agua a pasar del compartimiento vascular al intersticial. Así mismo, 2) cuando los productos metabólicos de desecho se acumulan en los músculos activos, la presión osmótica intramuscular aumenta, y esto atrae fluido hacia los músculos (Kargotich, 1998; Luetkemeier, 1997; Wilmore, 2004).

Está demostrado que como respuesta aguda al ejercicio se produce una hemoconcentración transitoria, producto de la reducción en el volumen plasmático, inmediatamente después de una carrera de larga distancia, de pruebas en

cicloergómetro y en natación en pruebas máximas y submáximas. Mientras que estos cambios son transitorios, pasando unas pocas horas, otros estudios han reportado una hemodilución a largo plazo, debida al incremento en el volumen plasmático, como respuesta aguda al ejercicio. (Kargotich, 1998).

Con esfuerzos prolongados puede producirse una reducción entre el 10 y 20% o superior en el volumen plasmático. Estos valores se han observado en series de 1 minuto de duración de ejercicio agotador. En los entrenamientos contra resistencia, la pérdida de volumen de plasma es proporcional a la intensidad del esfuerzo, con pérdidas desde 7,7% cuando se hace ejercicio al 40% de una repetición máxima, y hasta el 13.9% al entrenarse al 70%. (Wilmore, 2004). Ramírez y Cols (1995), encontraron una reducción máxima del volumen plasmático, inmediatamente después de un ejercicio de resistencia en bicicleta, de 13.4% que fue inferior al encontrado por Costill (15%) en un trabajo prolongado de 120 minutos y aerobio (50% del VO₂ máx.) (Costill, 1970).

Las investigaciones han demostrado que es de gran importancia, considerar la influencia de los cambios en el volumen plasmático sobre los solutos del plasma rutinariamente medidos para investigación, y como marcadores de adaptación al entrenamiento, antes de sacar conclusiones y recomendaciones basados únicamente en el volumen de plasma medido (Kargotich, 1998).

Equilibrio hidroelectrolítico durante el ejercicio físico

En la actividad física el equilibrio hidroelectrolítico es un elemento fundamental en la consecución de un rendimiento óptimo, dado principalmente por la optimización en el funcionamiento de los sistemas cardiovascular y termorregulador (Sawka, 2000). A este respecto, las respuestas fisiológicas compensadoras durante el ejercicio incluyen un incremento en el gasto cardiaco y una redistribución del flujo sanguíneo, que consiste particularmente en un incremento en el aporte sanguíneo hacia los músculos activos y un decremento en el flujo sanguíneo esplácnico. Adicional a estos cambios cardiovasculares, se produce un incremento en la temperatura corporal y como consecuencia de esto, se genera una producción de sudor (Rehrer, 2001).

Esta producción de sudor incrementada durante el ejercicio, se suma a las pérdidas diarias normales de agua, produciendo una importante pérdida adicional que afecta el balance hídrico de los individuos que realizan actividad física de

intensidad moderada a alta, que proviene del líquido extracelular. Sin embargo, esta pérdida adicional de agua a través del sudor (evaporación), se constituye en el principal mecanismo termorregulador para disipar el incremento en la temperatura corporal producida por la contracción muscular (Shirreffs, 2005).

Composición del sudor

Las glándulas sudoríparas están controladas por la estimulación del hipotálamo. La temperatura elevada de la sangre hace que el hipotálamo transmita impulsos a través de las fibras nerviosas simpáticas a las millones de glándulas sudoríparas distribuidas sobre la superficie corporal. El sudor se forma por la filtración del plasma, y a su vez también se filtran electrolitos como el sodio y el cloro; cuando el sudor que se produce es escaso hay una alta reabsorción de estos electrolitos. No obstante, cuando la intensidad de la sudoración aumenta durante el ejercicio se favorece que haya una mayor pérdida electrolítica (Shirreffs(b), 2005; Wilmore, 2004).

EL Cloruro de sodio es el electrolito primario en el sudor, junto con el potasio, el calcio y el magnesio, presentes en menor cantidad. La concentración de sodio en el sudor promedia los 35 mmol/L (Rango: 10 a 70 mmol/L) y varía de acuerdo a la dieta, la tasa de sudoración, la hidratación y la aclimatación al calor (Sharp, 2006; Meyer, 1992).

En la Tabla 3, se puede observar el contenido mineral del sudor en sujetos entrenados y no entrenados de ambos géneros durante ejercicio. Cuando un hombre no entrenado realiza actividad física presenta pérdidas de 90 mmol/l en comparación con un hombre entrenado que pierde 35 mmol/l, situación similar se observa con el cloro.

Tabla 3. Concentraciones de electrolitos en el sudor de sujetos entrenados y no entrenados durante el ejercicio.

SUJETOS	Na ⁺ en el sudor (mmol/l)	Cl ⁻ en el sudor (mmol/l)	K ⁺ en el sudor (mmol/l)
Hombres no entrenados	90	60	4
Hombres entrenados	35	30	4
Mujeres no entrenadas	105	98	4
Mujeres entrenadas	62	47	4

Tomado de Wilmore, 2004.

Cuando se ejecutan ejercicios de intensidad alta en climas cálidos, el cuerpo puede perder más de un litro de sudor por hora y por metro cuadrado de superficie corporal. Esto significa que durante la realización de un esfuerzo intenso en un día caluroso un individuo promedio (entre 50 y 75 Kg.) puede perder entre 1.5 y 2.5 litros de sudor, o aproximadamente un peso corporal de entre el 2 y al 4% del peso corporal cada hora. Una persona puede perder una cantidad crítica de agua corporal en sólo unas pocas horas de ejercicio en estas condiciones (Bachle, 2001; Chevront, 2005; Daries, 2000; Rehner, 2001; Sawka, 2000; Wilmore, 2004).

Un elevado ritmo de sudoración reduce el volumen sanguíneo a expensas de cambios en el volumen plasmático. Ello limita el volumen de sangre disponible para abastecer las necesidades de los músculos y prevenir la acumulación de calor, lo cual, a su vez, reduce el potencial de rendimiento, especialmente en actividades que requieran resistencia (Okazaki, 2002; Sawka, 2005; Wilmore, 2004; Yoshida, 1997).

La pérdida de minerales y agua por la sudoración genera la activación de mecanismos hormonales reguladores mediante la liberación de aldosterona y de la hormona antidiurética, por medio de las cuales el cuerpo retiene más sodio, lo que a su vez favorece la retención de agua y disminuye las pérdidas hídricas a nivel renal. Así, el cuerpo intenta compensar la pérdida de minerales y de agua durante períodos de estrés por el calor y de intensa sudoración reduciendo sus pérdidas por la orina (Maresh, 2005; Wilmore, 2004).

Las consideraciones anteriormente descritas, permiten afirmar que no pueden darse reglas generales para la pérdida cutánea de cloruro de sodio, pero se puede asumir que a tasas altas de sudoración, la pérdida total podría ser fácilmente de unos 10 gramos de sodio y cloro por día. La tasa más alta bien documentada, fue reportada por Ladell y colaboradores, quien evaluó a hombres que trabajaban en una habitación a 38° C y 80% de humedad relativa, encontrando una pérdida de 25.02 gramos de cloro (estimado como NaCl), en 162 minutos de experimentación. Esta pérdida corresponde a una elevada fracción de la cantidad total del organismo el cual contiene aproximadamente 165 gramos de NaCl. Durante la sudoración, los efectos de la pérdida de NaCl no son aparentes, pero cuando se bebe agua para reponer estas pérdidas, existe la posibilidad de que exista una dilución de los compartimentos y se puede generar una Hiponatremia.

La Tabla 4 muestra los resultados de un estudio donde se valora la composición iónica y la osmolaridad en sudor y líquido extracelular cuando en condiciones experimentales se crea una pérdida de 4 litros de sudor.

Tabla 4. Composición del sudor.

SOLUTO	Composición media del sudor (mMol/lts)	Cantidad de soluto en líquido extracelular (mEq/lts)	Cantidad de soluto eliminada (Meq/lts)	Cantidad de soluto después de la pérdida de 4 lts (Meq/lts)
Na+	47,9	217,5	191,6	198,3
K+	5,9	60	23,6	36
Cl-	40,4	157,5	161,6	148,3
Bicarbonato		24		
Osmolaridad	94,20	254	94,2	312,1

Tomado de Santárgelo, 1998.

Por otro lado, al inicio del ejercicio, el agua es desplazada desde el plasma a los espacios intersticiales e intracelulares (Costill, 1974). Este desplazamiento del agua está relacionado con la masa muscular que es activada y con la intensidad del esfuerzo. Los productos metabólicos de deshecho comienzan a acumularse en y alrededor de las fibras musculares, incrementándose así la presión osmótica. El agua es llevada a estas áreas. Así mismo, la mayor actividad muscular incrementa la tensión arterial, que a su vez, retira agua de la sangre. El efecto combinado de estas acciones junto con la sudoración, es que los músculos comienzan a ganar agua a expensas del volumen del plasma (Wilmore, 2004). Así por ejemplo, correr al 75% del VO₂máx produce una reducción en el volumen del plasma de entre el 5 y el 10%. El volumen reducido del plasma disminuye la presión arterial y la intensidad del flujo de sangre a la piel y los músculos, situaciones que pueden dificultar seriamente el rendimiento durante el ejercicio físico (Roy, 2001). Ante tal situación varios mecanismos homeostáticos se activan con el fin de mejorar el volumen plasmático y corregir la hiperosmolaridad, producto de esa pérdida de agua (Jaramillo *et ál.*, 1998).

Hiponatremia e Hipernatremia

Una de las primeras determinaciones que se pueden obtener fácilmente cuando se evalúa el equilibrio hidroelectrolítico de un sujeto es la medición de la concentración de sodio en plasma. Cuando la concentración de sodio en plasma desciende por debajo de lo normal (135 mEq/L), se considera Hiponatremia.

Mientras que la Hipernatremia se presenta cuando la concentración de sodio en el plasma se eleva por encima de lo normal (145 mEq/L).

La Hiponatremia puede deberse a la pérdida de cloruro de sodio del líquido extracelular o a la adición de un exceso de agua al líquido extracelular. La pérdida primaria de cloruro de sodio produce una deshidratación hiposomótica y se asocia a una reducción en el volumen del líquido extracelular, situación que puede ser ocasionada por diversas patologías o por el consumo excesivo de diuréticos.

También puede asociarse la Hiponatremia a un exceso de retención de agua, lo cual diluye el sodio del líquido extracelular, un proceso que se denomina sobrehidratación hiposmótica. Por ejemplo, la secreción excesiva de la hormona antidiurética, que hace que los túbulos renales reabsorban más agua, puede dar lugar a Hiponatremia o sobrehidratación.

Por otro lado, el aumento de la concentración de sodio en el plasma que produce también un incremento en la osmolaridad, puede deberse bien a una pérdida de agua en el líquido extracelular, con la consiguiente concentración de los iones de sodio, o bien a un exceso de sodio en el líquido extracelular. Cuando existe una alteración primaria por la pérdida de agua del líquido extracelular, se produce una deshidratación hiperosmótica (hipertónica), relacionada principalmente con un déficit de la hormona antidiurética. Una causa más frecuente de Hipernatremia asociada a una disminución del volumen del líquido extracelular es la deshidratación producida por una ingesta de agua inferior a la que pierde el cuerpo, como ocurre en la sudoración que se produce con el ejercicio físico intenso (Noakes, 2002; Sharp, 2006).

Deshidratación durante el ejercicio

Cuando un individuo realiza algún tipo de actividad física moderada a intensa, por los mecanismos anteriormente expuestos para regulación de la temperatura, presenta pérdidas hídricas; estas pérdidas han sido objeto de un gran número de investigaciones que han valorado el impacto de la deshidratación con relación a la capacidad de realizar actividad física.

En una de las primeras investigaciones, realizadas al respecto por Craig en 1966, se encontró que en términos de rendimiento, se presentaba una reducción del 48% en la resistencia cuando los sujetos se deshidrataron al 4,3% del peso corporal; simultáneamente el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2\text{máx}}$) disminuyó un 22%. En estos mismos experimentos, el rendimiento en pruebas de resistencia y el $VO_{2\text{máx}}$ se redujeron en un 22% y 10% respectivamente, cuando la deshidratación

era sólo del 1,9% del peso corporal como promedio. Claramente, la deshidratación redujo la capacidad de los sistemas circulatorio y termorregulador para responder al estrés metabólico y térmico del ejercicio (McArdle, 2004).

Esto se ha confirmado en estudios recientes, en los que los autores han demostrado que la aparición de la fatiga asociada con la deshidratación durante el ejercicio físico, está altamente correlacionada con incrementos en la temperatura corporal (González & Calbet, 1999). Los autores plantean que puede haber una temperatura corporal interna crítica, a partir de la cual aparece la fatiga; sin embargo, este umbral se reduce con la deshidratación durante el ejercicio (Douvillard, 2004, Shirreffs, 2005; Rehrer, 2001; Sawka, 2000).

El metabolismo de sustratos también está alterado como resultado de la deshidratación durante el ejercicio; se observa mayor glucogenólisis y dependencia del metabolismo anaeróbico (Hargreaves, 1996). Tal parece, que la disponibilidad de reservas de carbohidratos no es responsable de la fatiga asociada con la deshidratación durante el ejercicio, en cambio está más asociada con la hipertermia (Rehrer, 2001).

Cuando se realiza actividad física con deshidratación y pérdida de peso, se ha encontrado que en hombres deshidratados entre un 1% y un 11% de su peso corporal, la reducción del volumen del plasma fue aproximadamente 2.5 veces mayor en comparación con la pérdida total de agua (Grant, 1996). Estos resultados han sido confirmados por otros autores que encontraron una reducción promedio de 6.5% en el volumen del plasma en hombres que estaban deshidratados y en un 3% de su peso corporal. En estos experimentos no hubo cambios significativos en los volúmenes totales de células circulantes o proteínas de plasma. De esta forma, una consecuencia importante de la pérdida de agua del plasma sanguíneo es un incremento en el hematocrito y en la concentración de las proteínas.

Hasta la más mínima deshidratación produce consecuencias fisiológicas. Por ejemplo, cada litro de agua que se pierde causará que el ritmo cardíaco aumente en 8 pulsaciones por minuto, el volumen minuto cardíaco se reduzca en 1 litro por minuto, y la temperatura corporal aumentará 0.3° C cuando una persona ejercita a una temperatura elevada. A partir de una pérdida del 2% del peso corporal en agua (alrededor de 1,5 litros) aparecen los primeros síntomas de deshidratación y se aprecia un descenso del rendimiento y de la resistencia (Coyle, 2000).

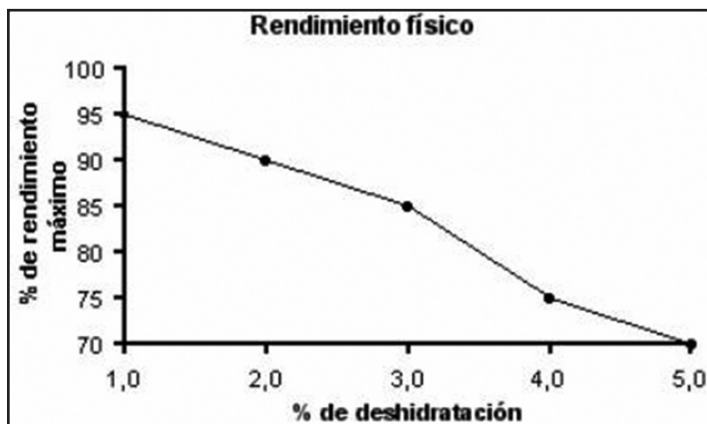
Signos y síntomas de la deshidratación

Los estadios iniciales de la deshidratación secundaria a pérdidas hídricas por el ejercicio, se caracterizan por presentar sed, resequedad en la boca y taquicardia con disminución del volumen sistólico, en la medida que el grado de deshidratación progresa la percepción del esfuerzo para una carga de trabajo aumenta, así como disminuye la presión arterial, la agudeza mental, la fuerza de voluntad, la potencia y la resistencia muscular. En la medida que avanza el grado de deshidratación sin tomar los correctivos necesarios, los signos y síntomas se van acercando más a lo que se conoce como enfermedad por golpe de calor, muy típica hace algunos años en deportistas y militares, caracterizada por: irritabilidad, desorientación, apatía, beligerancia, inestabilidad emocional o conducta irracional, hiperventilación, descoordinación, tambaleo, hipertermia, seguidos de desmayo, convulsiones y/o coma, ya en los niveles más severos de deshidratación. A nivel bioquímico se ha detectado reducción en el volumen plasmático y en las concentraciones de electrolitos, principalmente sodio, potasio y cloro, con cambios en la osmolaridad plasmática proporcional a la pérdida de electrolitos; se presentan incrementos en la gravedad específica de la orina, y la Creatinina y el BUN puede estar elevado (Phynney, 2001).

Los adultos toleran un déficit de agua corporal de aproximadamente solo 1,5 litros sin cambios significativos en la respuesta fisiológica, aunque una pérdida de líquido equivalente a tan poco como el 1% del peso corporal se asocia con un aumento significativo en la temperatura rectal comparado con el mismo ejercicio con una hidratación normal. Cuando la pérdida de agua llega al 4 ó 5% del peso corporal se revelan una deficiencia en la capacidad para realizar el trabajo físico y en la función fisiológica (Claremont, 1976).

Las actividades aeróbicas que impliquen una pérdida de peso de entre 4 o 5% por efecto de la deshidratación, se ven reducidas entre un 20 y un 30% (Figura 1), Mientras que en los casos más extremos, una pérdida de agua de entre 9% y 12% del peso corporal, puede provocar la muerte (Wilmore, 2004).

Figura 1. Relación entre deshidratación y rendimiento

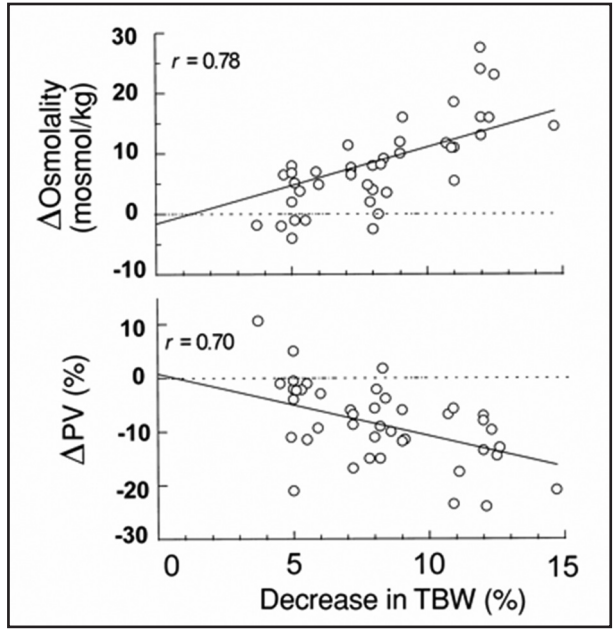


Tomado de Wilmore, 2004.

El volumen plasmático y la osmolaridad durante el reposo en personas hipohidratadas, aclimatadas al calor, se observa en la Figura 2. La hipohidratación inducida por el sudor, reducirá el volumen del plasma e incrementará la presión osmótica en proporción a la cantidad de fluido perdido. El volumen plasmático desciende debido a que éste provee el precursor para el sudor, y la osmolaridad se incrementa debido a que, el sudor es ordinariamente hipotónico en relación al plasma. El sodio y el cloro son los responsables primarios de la elevada osmolaridad plasmática, los cuales movilizan fluido del espacio intracelular al extracelular, para proteger el volumen plasmático en personas hipohidratadas. Este concepto se evidencia claramente en personas aclimatadas al calor, que tienen una reducción más pequeña en el volumen plasmático que las no aclimatadas para un déficit de agua corporal dado (Sawka, 2000).

El descenso del volumen plasmático ocurrido durante el ejercicio, incrementa la viscosidad de la sangre y puede reducir el retorno venoso. Durante el ejercicio máximo, el incremento en la resistencia, mediado por la viscosidad, y el tiempo de llenado reducido podría disminuir el volumen sistólico y el gasto cardíaco (Sawka, 2000).

Figura 2. Cambio de Volumen plasmático y osmolaridad en sujetos hipohidratados



Tomado de Sawka, 2000.

Importancia de la hidratación

El agua, los electrolitos y los carbohidratos son nutrientes críticos para el mantenimiento de la función fisiológica normal y el desempeño óptimo del ejercicio. Con el ejercicio de resistencia y de intensidad incrementada, las pérdidas de fluidos y electrolitos y los imbalances compartimentales se incrementan, a menos que las pérdidas sean compensadas por ingesta apropiada. No solamente el volumen sino también la composición de los fluidos que se ingieren son críticos para asegurar la homeóstasis completa de fluidos completa (intra y extracelular, vascular e intersticial). La ingestión de carbohidratos durante el ejercicio prolongado puede favorecer el desempeño, no sólo a través del incremento de la oxidación de glucosa sino también indirectamente, a través de mejorar la absorción de agua (Rehrer, 2001; Shirreffs, 2005).

Los efectos benéficos de la ingestión de carbohidratos y electrolitos se enfocan hacia el mantenimiento de los niveles de glucosa en sangre y una alta tasa de oxidación de carbohidratos que puede ser llevada a cabo en el momento en el

que las reservas de glicógeno muscular y hepático están bajas. Lo que en últimas se ve reflejado en mejorar el rendimiento físico (Sproule, 1998).

En la actualidad, es ampliamente reconocido el valor sobre el desempeño que posee el mantener un adecuado estado de hidratación durante el ejercicio; de modo que el objetivo de las investigaciones referentes al tema, incluye la medición de la ingesta de fluidos de diferentes composiciones durante ejercicios de resistencia y los límites fisiológicos y los efectos de la rehidratación durante el ejercicio (Rehrer, 2001; Sawka, 2005). Estas investigaciones han encontrado, entre otros datos, que hasta una leve deshidratación afecta de forma adversa el normal funcionamiento fisiológico durante el ejercicio, que al agregar carbohidratos y sal a las bebidas hidratantes produce un beneficio adicional sobre el desempeño y que, en general, la cantidad de líquidos que la mayoría de los atletas toma de manera voluntaria durante el ejercicio representa menos de la mitad de los líquidos que sus cuerpos han perdido (Bachle, 2001; Chevront, 2005; Chevront, 2003; Noakes, 2002).

La restauración de la pérdida de fluidos es necesaria para optimizar la función cardiovascular y la termorregulación durante el ejercicio. Aunque es importante tener en cuenta, que el reemplazo de agua y electrolitos durante la rehidratación puede estar limitada por el vaciamiento gástrico y la absorción intestinal así como por la habilidad del cuerpo para mantener los fluidos ingeridos (Saat, 2002). Tales limitaciones pueden estar relacionadas porque al inicio del ejercicio se genera una redistribución de flujo y un importante porcentaje del gasto cardiaco es derivado hacia los músculos que se están ejercitando, a expensas de una reducción significativa del mismo en el territorio esplácnico, lo que puede alterar y retardar los procesos de digestión y absorción de alimentos y bebidas ingeridos durante la actividad.

El American *College of Sports Medicine* (ACSM), en su posición sobre el reemplazo de fluidos recomienda la ingestión de fluidos que estén más fríos que la temperatura ambiente y que tengan buen gusto para mejorar su sabor promoviendo el reemplazo de fluidos.

La composición de las bebidas además de poseer importantes beneficios sobre la reposición de agua, sustratos y electrolitos perdidos durante el ejercicio, también pueden tener un considerable efecto sobre la ingesta voluntaria de fluidos, como lo demuestran diversas investigaciones, en las que se ha estudiado la ingesta voluntaria de bebidas con diferentes composiciones (agua, bebidas deportivas y bebidas deportivas saborizadas y endulzadas) durante ejercicio de

resistencia de prolongada duración; demostrando que el consumo voluntario de la bebida saborizada, duplicaba el consumo de las otras dos (Wilk y Bar-Or, 1988). Igualmente se evidencia que no sólo el sabor y el grado de dulzura de las bebidas incrementan su ingestión en forma voluntaria, sino también la presencia de cloruro de sodio. El mecanismo de la sed en el humano es sensible a la concentración plasmática de sodio (y la osmolaridad plasmática) así como a los cambios del volumen sanguíneo. El incremento del sodio y la disminución del volumen sanguíneo que acompañan al ejercicio determinan un incremento de la percepción de la sed. La ingesta de agua simple elimina el impulso osmótico para beber y reduce el estímulo volumen-dependiente que determina la saciedad de la sed (Murray, 1996).

De esta forma, el cloruro de sodio se considera como un ingrediente crítico en una bebida deportiva adecuadamente formulada porque mejora su sabor, ayuda a mantener el estímulo osmótico de la sed, reduce la contribución de sodio plasmático requerido en el intestino previo a la absorción, ayuda a mantener el volumen plasmático, durante el ejercicio y sirve como ímpetu osmótico primario para restaurar el volumen fluido extracelular luego del ejercicio (Maughan & Shirrefs, 1996; Nose, 1988).

Se recomienda la inclusión de sodio (0,5-0,7 gramos por litro de agua) en las soluciones de rehidratación ingeridas durante ejercicios de más de una hora de duración ya que puede ser ventajoso para mejorar el sabor, promover la retención de fluidos y porque posiblemente prevenga la Hiponatremia en los individuos que ingieran cantidades excesivas de fluidos. Existe poca evidencia fisiológica de que la presencia del sodio en una solución de rehidratación oral pueda aumentar la absorción intestinal de sodio, ya que el sodio está disponible en suficientes cantidades provenientes de la ingesta alimentaria previa (ACSM, 1996).

Maughan en 1996 estableció que la ingestión de agua es inefectiva para producir una hidratación normal, ya que la absorción del agua disminuye la osmolaridad plasmática, suprimiendo la sed e incrementando la producción de orina. Cuando se aporta sodio ya sea por bebidas rehidratantes o por los alimentos, se mantiene el estímulo osmótico de la sed (González-Alonso *et ál.*, 1992; Nose *et ál.*, 1988) y se reduce la producción de la orina. Existen muchas ocasiones durante el entrenamiento o la competencia cuando resulta difícil sino imposible la ingestión de alimentos, por lo que es importante que los atletas tengan a su disposición fluidos que contengan cloruro de sodio y otros electrolitos.

La adición de cantidades adecuadas de carbohidratos y/o electrolitos a una solución de reemplazo de fluidos se recomienda en ejercicios de una duración mayor de una hora, sin disminuir significativamente el aporte de agua al cuerpo y mejorando el rendimiento deportivo (ACSM, 1996).

Los efectos ergogénicos de los carbohidratos durante el ejercicio han sido extensamente demostrados por las investigaciones, que en su mayoría utilizaron modelos de ejercicios de 1 a 4 y hasta más horas de duración. La ingestión de soluciones que contengan combinaciones de sacarosa, glucosa, fructosa y maltodextrinas determinan mejoría del rendimiento físico si al menos se ingieren 45 gramos de carbohidratos por hora. Se debe señalar que algunos investigadores han reportado mejorías del rendimiento físico aún cuando los sujetos han ingerido cantidades tan bajas como 20-25 g/h, recomendándose sin embargo un consumo más alto de carbohidratos. En tal sentido, la velocidad máxima de utilización de carbohidratos durante el ejercicio parece estar en el rango entre 60 y 70 g/h (1.0-1.5 g/min.). No se evidencia una mejoría adicional en rendimiento cuando los sujetos han ingerido mayores cantidades de carbohidratos (Murray *et ál.*, 1996).

El mecanismo o los mecanismos por los cuales la ingesta de carbohidratos mejora el rendimiento físico se encuentra en la actualidad bajo investigación científica, pero existe el consenso generalizado de que el incremento del rendimiento está ligado a una mayor utilización de los carbohidratos como combustible por parte de los músculos activos. Durante el ejercicio intenso la demanda metabólica de carbohidratos es elevada; la ingestión de carbohidratos satisface parte de tal demanda, ayudando a asegurar el mantenimiento de la oxidación de los carbohidratos.

Uno de los factores más importante en la rehidratación post ejercicio es que el volumen bebido debe ser mayor que el volumen perdido (Shirreffs *et ál.*, 1996). La palatabilidad de las bebidas es importante ya que un individuo no beberá una cantidad suficiente de la bebida sino le gusta. El agua pura no es la bebida de rehidratación post ejercicio más efectiva. La adición de electrolitos, en particular del sodio ayuda a mantener la sed y estimula a beber (Maughan, 1995; Nose, 1988; Takamata, 1994; Saat, 2002).

La rehidratación después del ejercicio requiere no sólo el reemplazo del volumen perdido, sino también el reemplazo de electrolitos, principalmente el sodio, el más perdido en el sudor. Las bebidas que contienen aproximadamente 50 mmol/L de sodio son probablemente las más efectivas para la mayoría de la gente.

En contraste, el contenido de sodio de la mayoría de bebidas deportivas está en el rango de 10 a 25 mmol/L, en algunos casos, es aún más bajo. Las bebidas suaves, que son las más comúnmente consumidas, virtualmente no contienen sodio y por lo tanto, estas bebidas no son las más indicadas cuando la necesidad de rehidratación es crucial. El problema con una alta concentración de sodio en las bebidas es que algunas personas las encuentran poco llamativas, resultando en un consumo reducido. Cuando la pérdida de sudor es alta, la rehidratación con una solución de carbohidratos tiene implicaciones para el balance energético y puede mejorar la palatabilidad (Shirreffs, 2005).

Conclusión

La hidratación antes, durante y después del ejercicio, determina un papel de suma importancia, para restaurar los imbalances producto de las alteraciones hidroelectrolíticas secundarias a la deshidratación por sudor, especialmente en actividades físicas de duración prolongada, que podrían afectar el desempeño del sujeto. A pesar de que la evidencia al respecto, es en su mayoría en población deportista, la hidratación debe tener la misma relevancia en población no deportista pero que practica una actividad física regular e incluso en aquellos que practican actividad física de forma esporádica o que están comenzando a incluir el ejercicio físico dentro de sus estilos de vida.

Referencias Bibliográficas

- American College of Sports Medicine (ACSM). Position Stand on exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc.* 1996; 28: i – vii.
- Bachle, L.; Eckerson, J.; Albertson, L.; Ebersole, K.; Goodwin, J.; Petzel, D.; The effect of fluid replacement on endurance performance. *J. Strength Cond Res.* 2001 May; 15(2):217-24.
- Casa, DJ.; Maresh, CM.; Armstrong, LE.; Kavouras, SA.; Herrera, JA.; Hacker Jr., FT.; Keith, NR.; Elliott, TA. Intravenous versus oral rehydration during a brief period: responses to subsequent exercise in the heat. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2000 Jan;32(1):124-33.
- Chevront, SN.; Carter, R. 3rd.; Castellani, JW.; Sawka, MN. Hypohydration impairs endurance exercise performance in temperate but not cold air. *J Appl Physiol.* 2005 Nov; 99(5):1972-6.
- Claremont, AD.; Costill, DL.; Fink, W.; Van Handel, P. Heat tolerance following diuretic induced dehydration. *Med Sci Sports.* 1976 Winter; 8(4):239-43.
- Coyle, EF. Reemplazo de Fluidos y Carbohidratos durante el Ejercicio: ¿Cuánto y Por Qué?. *PublICE Standard.* 2000. Pid:94.
- Duvillar, SP.; Braun, WA.; Markofski, MS.; Beneke, R.; Leithäuser, R. Fluids and Hydration in Prolonged Endurance Performance. *Nutrition,* 2004; 20: 651 – 656.
- Gonzalez-Alonso, J.; Calbet, JA.; Nielsen, B. Muscle blood flow is reduced with dehydration during prolonged exercise in humans. *J Physiol.* 1998 Dec 15; 513 (Pt 3):895-905.
- Grant, SM.; Green, HJ.; Phillips, SM.; Enns, DL.; Sutton, JR. Fluid and electrolyte hormonal responses to exercise and acute plasma volume expansion. *J Appl Physiol.* 1996 Dec;81(6):2386-92
- Hoffman, J.W.; Castellani, R.W.; Kenefick, M.F. Bergeron. Effect of hydration status on thirst, drinking, and related hormonal responses during low-intensity exercise in the heat. *J Appl Physiol* 97: 39–44, 2004.
- Marino, FE.; Kay, E.; Nathan, S. Exercise time to fatigue and the critical limiting temperature: effect of hydration. *Journal of Thermal Biology.* 2004; 29: 21-29
- McArdle, W.; Katch, F.I. y Katch, V.L. *Fundamentos de Fisiología del ejercicio.* Ed.McGrawHill, 2004.

- Meyer, F.; Bar-Or, O.; MacDougall, D.; Heigenhauser, GJ. Sweat electrolyte loss during exercise in the heat: effects of gender and maturation. *Med Sci Sports Exerc.* 1992 Jul; 24(7):776-81.
- Murray, B. El reemplazo de fluidos: posición del colegio americano de medicina del deporte. *Sports Science Exchange.* 1996; 9(4): 1-10.
- Noakes, T. Hyponatremia in distance runners: fluid and sodium balance during exercise. *Curr Sports Med Rep.* 2002 Aug;1(4):197-207.
- Okazaki, K.; Kamijo, Y.; Takeno, Y.; Okumoto, T.; Masuki, S.; Nose, H. Effects of exercise training on thermoregulatory responses and blood volume in older men. *J Appl Physiol.* 2002 Nov;93(5):1630-7.
- Phinney, L.T.; J.W., Gardner; J.A., Kark, and C.B., Wenger (2001). Long-term follow-up after exertional heat illness during recruit training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33:1443-1448.
- Rehrer, NJ. Fluid and electrolyte balance in ultra-endurance sport. *Sports Med.* 2001; 31(10):701-15.
- Roy, BD.; Green, HJ.; Grant, SM.; Tarnopolsky, MA. Acute plasma volume expansion in the untrained alters the hormonal response to prolonged moderate-intensity exercise. *Horm Metab Res.* 2001 Apr; 33(4):238-45.
- Sawka, M.N.; Montain, S.J. Fluid and electrolyte supplementation for exercise heat stress. *Am J Clin Nutr.* 2000 Aug; 72(2 Suppl):564S-72S.
- Sawka, M.N.; S.N., Chevront and R., Carter III. (2005). Human water needs. *Nutrition Reviews.* 2005 63(6): S30-39.
- Sharp, RL. Role of sodium in fluid homeostasis with exercise. *J Am Coll Nutr.* 2006 Jun;25(3 Suppl):231S-239S.
- Shirreffs, (b) SM. The importance. The importance of good hydration for work and exercise. *Nutr Rev.* 2005 Jun; 63(6):S214-S21.
- Shirreffs, SM.; Aragon-Vargas, LF.; Chamorro, M.; Maughan, RJ.; Serratos, L.; Za-chwieja. The sweating response of elite professional soccer players to training in the heat. *Int. J. Sports Med.* 2005 Mar; 26(2):90-5.
- Sproule, J. The influence of either no fluid or carbohydrate-electrolyte fluid ingestion and the environment (thermoneutral versus hot and humid) on running economy after prolonged, high-intensity exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1998 May; 77(6):536-42.
- Wilmore, JH. *Fisiología del esfuerzo y el deporte.* 5ª ed. Paidotribo, Barcelona. 2004.

Yoshida, T.; Nagashima, K.; Nose, H.; Kawabata, T.; Nakai, S.; Yorimoto, A.; Morimoto, T. Relationship between aerobic power, blood volume, and thermoregulatory responses to exercise-heat stress. *Med Sci Sports Exerc.* 1997 Jul; 29(7):867-73.

Los documentos de investigación de la Facultad de Rehabilitación y Desarrollo Humano de la Universidad del Rosario son un espacio y una invitación permanente a la reflexión y a la crítica sobre aspectos de trascendencia en nuestro país, con miras a contribuir a la construcción de una sociedad más justa e incluyente.

Los temas más recurrentes de discusión girarán en torno al bienestar humano, la integración y participación social, la comunicación humana, la salud y el bienestar de los trabajadores, el movimiento corporal humano, el ejercicio y la actividad física.



Universidad del Rosario
Facultad de Rehabilitación y
Desarrollo Humano



Documento de investigación No. 15

FACULTAD DE REHABILITACIÓN Y DESARROLLO HUMANO

CAMBIOS HIDROELECTROLÍTICOS CON
EL EJERCICIO: EL PORQUÉ DE LA
HIDRATACIÓN

*Diana Marcela Ramos Caballero
Grupo de Investigación en Actividad
Física y Desarrollo Humano*



Universidad del Rosario
Facultad de Rehabilitación
y Desarrollo Humano

RAMOS CABALLERO, Diana Marcela
Cambios hidroelectrolíticos con el ejercicio: el porqué de la hidratación / Diana Marcela ramos Caballero.—
Facultad de Rehabilitación y Desarrollo Humano. Bogotá: Editorial Universidad del Rosario, 2007.
26 p.—(Documento de Investigación; 15).

ISSN: 1794-1318

Ejercicio / Equilibrio agua–electrolito (Fisiología) / Balance hídrico – Fisiología / Balance electrolítico /
Hidratación / I. Grupo de Investigación en Actividad Física y Desarrollo Humano / II. Título.

WD 220 NLM

Editorial Universidad del Rosario
Facultad de Rehabilitación y Desarrollo Humano
Diana Marcela Ramos Caballero
Primera edición: Julio de 2007
ISSN: 1794-1318
Impresión Digital: Javegraf
Impreso y hecho en Colombia
Printed and made in Colombia

Para citar esta publicación: Doc.investig. Fac. Rehabil. Desarro. Hum.

Cambios hidroelectrolíticos con el ejercicio: el porqué de la hidratación

Diana Marcela Ramos Caballero
Fisioterapeuta, MSc. Fisiología. U.N.

Presentación

El balance de agua y electrolitos es crítico para la función de todos los órganos e indiscutiblemente para mantener la salud en general. El agua provee un medio para las reacciones bioquímicas y fisiológicas dentro de los tejidos celulares y es esencial para mantener un adecuado volumen sanguíneo y así la integridad del sistema cardiovascular. La habilidad del organismo para redistribuir el agua dentro de sus compartimentos fluidos, provee un reservorio para minimizar los efectos del déficit de agua. Cada compartimiento acuoso contiene electrolitos, cuya concentración y composición es crítica para mover el fluido entre los compartimentos intracelular y extracelular y mantener el potencial electroquímico de la membrana (Sawka, 2000). De ahí la importancia de mantener un equilibrio adecuado en este balance hidroelectrolítico, especialmente en condiciones en las cuales el mismo se ve alterado, como lo es el estrés causado por ejercicio físico y el calor.

El ejercicio prolongado provoca cambios a nivel de fluidos y electrolitos, que son consecuencia directa de la deshidratación, producida por la sudoración. Ante el estímulo del ejercicio físico el organismo genera mecanismos de regulación sobre fluidos y electrolitos mediante estimulación y secreción de hormonas, minimizando el imbalance potencial que podría resultar de la deshidratación durante el ejercicio prolongado, sin embargo en la mayoría de situaciones, estos mecanismos resultan insuficientes para garantizar el equilibrio hidroelectrolítico, lo cual hace necesario la ingestión de bebidas para la correcta hidratación. En diferentes investigaciones, se ha demostrado que la prevención de la deshidratación mediante la ingestión regular de fluidos es indispensable para asegurar el bienestar físico y mental de los sujetos que realizan actividad física, por lo cual, se ha reconocido ampliamente el valor de la hidratación, principalmente en ambientes deportivos y en competencias de alto rendimiento (Murray, 1996; Marino E, *et ál.*, 2004; Sawka & Mountain, 2000; Casa *et ál.*, 2000; Rehrer, 2001; Duvillardet *ál.*, 2004).

Líquidos y fluidos corporales

Desde el punto de vista cuantitativo, el agua es el componente más abundante de los seres vivos. El agua constituye entre el 45 y el 70% del peso corporal dependiendo de la edad, correspondiente en mayor porcentaje a niños recién nacidos y en menor porcentaje a sujetos de la tercera edad; por ejemplo, en un hombre adulto promedio (75 Kg), el porcentaje de agua es alrededor del 60% del peso corporal, esto es, unos 45 litros aproximadamente (Sawka, 2000). El 40% se encuentra en el interior de las células y se denomina líquido intracelular, mientras que un 20% aproximadamente se encuentra a nivel extracelular, siendo el 5% el agua que se encuentra a nivel intravascular (Jaramillo, 1998) y el 15% el agua intersticial.

En el líquido extracelular se encuentran los iones y nutrientes que necesitan las células para mantener la vida celular, motivo por el cual este líquido extracelular es comúnmente conocido como medio interno, término introducido por el fisiólogo francés Claude Bernard (Guyton, 2001). El mantenimiento de un volumen relativamente constante y de una composición estable de los líquidos corporales es esencial para la homeostasis, para lo cual existe un equilibrio entre el agua que ingresa al organismo y las pérdidas diarias de agua (Tabla 1).

Tabla 1. Ingresos y pérdidas diarias de agua (en ml / día).

	Normal	Ejercicio*
Ingresos		
Ingresos del metabolismo	2100	
Líquidos ingeridos	200	200
Ingresos totales	2300	
Pérdidas		
Insensibles (piel)	350	350
Insensibles (pulmones)	350	650
Sudor	100	5000
Heces	100	100
Orina	1400	500
Pérdidas totales	2300	6600
*Ejercicio moderado-prolongado.		

Tomado de Guyton, 2001.

La importancia del agua radica en que es el principal componente del plasma sanguíneo y dentro de sus funciones se encuentran:

- Transporte de los eritrocitos, los cuales transportan el oxígeno a los músculos activos y el CO₂ a pulmón.
- Transporte de nutrientes como la glucosa, los ácidos grasos y los aminoácidos a los músculos activos.
- Transporte de hormonas que regulan el metabolismo y la actividad muscular durante el ejercicio.
- Regulación de equilibrio ácido básico, porque allí se encuentran agentes amortiguadores como los Buffer para el mantenimiento de un pH adecuado cuando se está formando lactato.
- Regulación térmica; disipación del calor corporal generado durante el ejercicio.
- El volumen de plasma sanguíneo es un determinante importante para la tensión arterial y por ende de la función cardiovascular.
- Componente indispensable para diferentes tipos de reacciones enzimáticas.

Todas estas son funciones indispensables para asegurar el correcto funcionamiento de cada uno de los sistemas corporales, y son aquellas que se garantizan al generar un adecuado balance entre ingesta y pérdida. La ingestión de agua varía de unas personas a otras, y también en la misma persona de unos días a otros, dependiendo del clima, las costumbres y el grado de ejercicio físico que se realiza. Por otro lado, tal y como se detalla en la tabla 1 el organismo experimenta una serie de pérdidas diarias de agua, a través del sudor, de las heces, de la orina y de algunas pérdidas insensibles.

Durante el ejercicio físico es importante destacar, la pérdida insensible o no medible de agua que es independiente de la que se produce con el sudor, cuya cantidad es muy variable y depende de la intensidad del ejercicio y de la temperatura ambiente. El volumen de sudor es normalmente de 100 ml/día, pero en un clima muy cálido o con un ejercicio muy intenso, la pérdida de agua por el sudor se puede incrementar hasta 1 a 2 litros por hora. Esto generaría un cambio a nivel de los diferentes compartimentos corporales por lo que es necesario incrementar el ingreso de líquidos (agua, agua más carbohidratos, agua más carbohidratos más electrolitos), a través de la ingestión de diferentes tipos de bebidas hidratantes (Guyton, 2000; Shirref & Maughan, 1998; Hsieh, 2004; Vrijens, 1999; Rehrer, 2001; Murray, 1996; Barr, 1991; Casa, 2000; Sawka, 2000).

Un mecanismo adicional de pérdida de agua por el cuerpo se produce mediante la orina excretada por los riñones; hay muchos mecanismos que regulan la cuantía de la excreción urinaria, y fisiológicamente es el órgano más importante del que dispone el organismo para mantener el equilibrio entre el ingreso y las pérdidas tanto de agua como de la mayoría de electrolitos; la regulación que se genera a este nivel permite a través de mecanismos hormonales y hemodinámicos regular la cantidad de agua y de electrolitos que se reabsorben y/o se excretan por los riñones en respuesta a diferentes estímulos externos tales como el ejercicio y la sudoración excesiva.

Una de las formas más usadas y más confiables para valorar el estado de esta regulación hidroelectrolítica, durante el ejercicio y en general durante cualquier situación que pudiese alterar la homeostasis de fluidos y electrolitos, es la composición del plasma (electrolitos plasmáticos) y los cambios que este sufre en su volumen (cambios en el volumen plasmático).

Electrolitos plasmáticos

Los iones constituyen el 95% de los solutos suspendidos en los fluidos orgánicos y la suma de los cationes y aniones en cada compartimiento es equivalente de tal forma que en cada espacio el fluido es eléctricamente neutral y químicamente isosmolar. En el líquido extracelular el principal catión es el Na^+ y el principal anión el Cl^- , hallándose cantidades menores de potasio, magnesio, urea, proteínas, glucosa y HCO_3^- (Maresh, 2004).

Sodio y cloro

El sodio es el catión primario del líquido extracelular. Funciona como el determinante osmótico en la regulación del volumen del fluido extracelular y por lo tanto del plasma. Aproximadamente el 95% del contenido total de sodio del cuerpo es encontrado en el fluido extracelular. El sodio adicionalmente, es un importante determinante del potencial de membrana de las células y del transporte activo de moléculas a través de la membrana. La concentración de sodio en el interior celular es menos del 10% del que existe fuera de la célula, por lo que para mantener su gradiente de concentración, es necesario de un proceso activo dependiente de energía. El cloro, en asociación con el sodio, es el principal anión osmóticamente activo en el fluido extracelular y es importante para mantener el balance de fluidos y electrolitos; adicionalmente, sirve como un importante componente de los jugos gástricos, como ácido clorhídrico.

El sodio y el cloro son comúnmente consumidos como cloruro de sodio. La absorción de cloro y sodio ocurre en primer lugar, en el intestino delgado. La mayoría del cloruro de sodio consumido es excretado en la orina, mientras que la cantidad que se excreta por la sudoración no es muy elevada (aunque esta puede variar dependiendo, del grado de actividad física, del ambiente y el tiempo de duración de determinada actividad). El riñón, tiene la capacidad de filtrar alrededor de 25000 mmol de sodio cada día, y de reabsorber, por diversos mecanismos, el 99% o más de la carga filtrada. El sodio y cloro reabsorbidos permanecen en los compartimentos extracelulares. La concentración plasmática de sodio está normalmente dentro de unos estrechos límites de 136 a 145 mEq/L y mientras que para el cloro, la concentración plasmática es de 104 mEq/L, la concentración en el fluido intersticial corresponde a 145 mEq/L y 115 mEq/L de sodio y cloro respectivamente; mientras que la concentración de estos electrolitos en el fluido intracelular, aunque puede variar dependiendo del tipo celular, es en promedio de 3 mEq/L de sodio y 3 mEq/L de cloro. Los sistemas y hormonas encargados de mantener estos límites incluyen el sistema renina-angiotensina-aldosterona y la acción del sistema nervioso simpático, el péptido atrial natriurético, varios mecanismos intrarrenales y otros hechos que regulan el flujo sanguíneo renal y medular. El sodio y el cloro son requeridos para mantener el volumen extracelular y la osmolaridad plasmática. Cualquier pérdida de agua en mayor proporción que las pérdidas de electrolitos, incrementará la concentración plasmática de sodio en los compartimentos fluidos extracelulares.

Ha sido reconocido que el Sodio y el Cloro mantiene la presión osmótica de los fluidos intra y extracelulares, conjuntamente con el ión Potasio actúan sobre la membrana celular interviniendo en la transmisión del impulso electroquímico y a nivel intracelular participan en diferentes reacciones metabólicas. La actividad física puede afectar potencialmente el balance del sodio y el cloro, principalmente por las pérdidas incrementadas en el sudor (IOM, 2004), tal y como se describe más adelante en el apartado de equilibrio hidroelectrolítico durante el ejercicio. Los sujetos que se ejercitan intensamente en el calor pueden perder cantidades sustanciales de sudor. La pérdida de sodio en el sudor es dependiente de varios factores, entre ellos, la dieta, la ingesta de sodio, la tasa de sudoración, el estado de hidratación y el grado de aclimatación al calor (Allsopp, 1998; Brouns, 1991). La cantidad de sodio perdida en el sudor en individuos aclimatados al calor es menor que aquellos no aclimatados. Aún la exposición al calor sin ejercicio, altera la concentración de sodio en el sudor (Sawka & Montain, 2000).

Potasio

Las reservas corporales totales de potasio en un adulto promedio (70 Kg – 1.70 mts) son aproximadamente 3000 a 4000 mEq (50 a 55 mEq/Kg de peso corporal). En contraste con el sodio, que se encuentra restringido principalmente al espacio extracelular, el potasio es básicamente un catión intracelular, con el 98% del K^+ localizado en el interior celular. Lo que puede ser apreciado en la distribución de este ión en los dos compartimentos, con 140 mEq/L intracelular Vs. 4 a 4.5 mEq/L de potasio plasmático y extracelular. La distribución de Na^+ y K^+ en los diferentes compartimentos fluidos es mantenida activamente por la bomba $Na^+-K^+-ATPasa$ en la membrana celular, que bombea sodio hacia el exterior celular y potasio hacia el interior, en una relación de 3:2 (IOM 2004).

El potasio posee dos principales funciones fisiológicas. La primera, es que juega un papel importante en el metabolismo celular, participando en la regulación de procesos como la síntesis de proteínas y glicógeno. Como resultado, una variedad de funciones celulares podrían verse afectadas en condiciones de desbalances de potasio. Y la segunda, es que la distribución de potasio entre el interior y el exterior celular es el principal determinante del potencial de reposo de la membrana celular. La regulación de la distribución interna de potasio debe ser extremadamente eficiente, ya que movimientos de inclusive 1.5 a 2% del potasio celular hacia el fluido extracelular pueden resultar en un incremento perjudicial en la concentración plasmática de potasio con valores de 8 mEq/L y más.

El mantenimiento de una concentración plasmática normal de potasio es dependiente de la ingesta dietaria neta, de la habilidad del ión para entrar en la célula y de su excreción urinaria. Después de una carga de potasio, la mayoría del catión excedente es inicialmente tomado por las células, una respuesta que es facilitada por los niveles basales de catecolaminas e insulina. Esta ingesta celular minimiza el incremento en la concentración plasmática de potasio, dependiendo también de la excreción del exceso de potasio a través de la orina. La excreción de potasio urinario es una función de secreción de la nefrona distal. Los principales moduladores de éste proceso son la aldosterona y la misma concentración plasmática de potasio.

Durante el ejercicio, el potasio es normalmente liberado de las células musculares. Esta respuesta puede reflejar en parte, un desacople entre la salida de potasio durante la despolarización y su subsecuente entrada por la bomba $Na^+-K^+-ATPasa$. Sin embargo, con el ejercicio moderado a severo se puede presentar un factor adicional de importancia; la célula muscular posee canales ATP dependientes

de potasio, en los cuales el ATP reduce el número de canales abiertos. Así, una reducción en los niveles de ATP con ejercicio intenso puede abrir más canales de potasio, promoviendo así liberación de potasio de las células (Daut, 1990).

La liberación de potasio durante el ejercicio puede tener una función fisiológica. El incremento local de la concentración de potasio plasmático, posee efectos vasodilatadores que contribuyen a mejorar el flujo sanguíneo (y por lo tanto la producción de energía) a los músculos que se están ejercitando. La elevación en la concentración sistémica de potasio (menor que la observada en la circulación local), está relacionada con el grado de ejercicio: 0.3 a 0.4 mEq/L con una caminata suave, 0.7 a 1.2 mEq/L con ejercicio moderado, y más de 2.0 mEq/L con ejercicio intenso hasta la fatiga. Estos cambios son revertidos después de varios minutos de reposo (Lindinger, 1992).

La hiperkalemia inducida por el ejercicio de intensidad leve-moderada, es generalmente discreta, no produce síntomas y es atenuada con el entrenamiento. El entrenamiento mejora la concentración de potasio celular y la actividad de la bomba $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPasa}$; esta adaptación puede ser responsable de un menor grado de liberación de potasio durante el ejercicio.

Cambio en el volumen plasmático

Generalmente los valores de los volúmenes sanguíneo, plasmático y celular son mayores en el hombre que en la mujer, siendo estos valores diferentes en la población no deportista como se muestra en la Tabla 2 (García y colaboradores, 2002).

Tabla 2. Volúmenes sanguíneo, plasmático y celular.

	HOMBRES	MUJERES
Volumen sanguíneo	7,5% del peso corporal.	6,5% del peso corporal.
Volumen plasmático	44 ml/Kg.	34 ml/kg.
	4.5 – 5% del peso corporal.	
Volumen celular	30ml/kg.	24 ml/kg.

Tomado de García y Colaboradores, 2002.

Yoshida T. y colaboradores en 1997 publicaron un estudio en donde además de otras variables fisiológicas midieron el volumen plasmático de 12 atletas

masculinos universitarios encontrando que los valores del mismo no dependen en gran medida del entrenamiento, sino del estrés ambiental que impone el calor.

La deshidratación producto de la práctica de ejercicio físico intenso y prolongado, produce decrementos en el volumen plasmático, pero la magnitud de esta reducción es variable. Por ejemplo, personas aclimatadas en ambientes cálidos presentan menores reducciones de volumen plasmático que las personas no aclimatadas para un déficit de agua corporal dado (Sawka, 1988). Debido a que las personas aclimatadas secretan sudor más diluido, que se refleja en mayores concentraciones de solutos extracelulares que ejercen presión osmótica para redistribuir el fluido desde el espacio intracelular (IOM, 2004).

Diversos estudios han demostrado, que existen cambios considerables en el volumen del plasma durante y después de la exposición a diferentes ambientes o condiciones fisiológicas. Se piensa que estos cambios son producto de intercambios transitorios de fluido entre el espacio intersticial e intravascular (Jiménez, 1999; Kargotich, 1998; Neumayr, 2005; Rostein, 1998; Wolsky, 1997).

Los cambios de volumen plasmático se asocian con la aclimatación al calor, estado de hidratación, grado de entrenamiento físico y cambios posturales, inclusive, todos pueden diferir de un estudio a otro, de una serie de ejercicio a otra y hasta dentro del mismo estudio y esto debe ser tenido en cuenta (Neumayr, 2005; Kargotich, 1998).

Adicionalmente, el sodio ingerido en la dieta está fuertemente asociado con los cambios en el volumen plasmático inducidos por el entrenamiento y pueden ser un factor determinante en la magnitud de expansión del volumen plasmático derivado del entrenamiento (IOM, 2004; Luetkemeier, 1997).

Al iniciar el ejercicio hay un aumento casi inmediato de pérdida de volumen plasmático sanguíneo hacia el compartimiento fluido intersticial. Esto es probablemente consecuencia de dos factores: 1) incremento en la presión arterial, que a su vez ocasiona un incremento en la presión hidrostática al interior de los capilares, lo que genera una fuerza de que impulsa el agua a pasar del compartimiento vascular al intersticial. Así mismo, 2) cuando los productos metabólicos de desecho se acumulan en los músculos activos, la presión osmótica intramuscular aumenta, y esto atrae fluido hacia los músculos (Kargotich, 1998; Luetkemeier, 1997; Wilmore, 2004).

Está demostrado que como respuesta aguda al ejercicio se produce una hemoconcentración transitoria, producto de la reducción en el volumen plasmático, inmediatamente después de una carrera de larga distancia, de pruebas en

cicloergómetro y en natación en pruebas máximas y submáximas. Mientras que estos cambios son transitorios, pasando unas pocas horas, otros estudios han reportado una hemodilución a largo plazo, debida al incremento en el volumen plasmático, como respuesta aguda al ejercicio. (Kargotich, 1998).

Con esfuerzos prolongados puede producirse una reducción entre el 10 y 20% o superior en el volumen plasmático. Estos valores se han observado en series de 1 minuto de duración de ejercicio agotador. En los entrenamientos contra resistencia, la pérdida de volumen de plasma es proporcional a la intensidad del esfuerzo, con pérdidas desde 7,7% cuando se hace ejercicio al 40% de una repetición máxima, y hasta el 13.9% al entrenarse al 70%. (Wilmore, 2004). Ramírez y Cols (1995), encontraron una reducción máxima del volumen plasmático, inmediatamente después de un ejercicio de resistencia en bicicleta, de 13.4% que fue inferior al encontrado por Costill (15%) en un trabajo prolongado de 120 minutos y aerobio (50% del VO₂ máx.) (Costill, 1970).

Las investigaciones han demostrado que es de gran importancia, considerar la influencia de los cambios en el volumen plasmático sobre los solutos del plasma rutinariamente medidos para investigación, y como marcadores de adaptación al entrenamiento, antes de sacar conclusiones y recomendaciones basados únicamente en el volumen de plasma medido (Kargotich, 1998).

Equilibrio hidroelectrolítico durante el ejercicio físico

En la actividad física el equilibrio hidroelectrolítico es un elemento fundamental en la consecución de un rendimiento óptimo, dado principalmente por la optimización en el funcionamiento de los sistemas cardiovascular y termorregulador (Sawka, 2000). A este respecto, las respuestas fisiológicas compensadoras durante el ejercicio incluyen un incremento en el gasto cardiaco y una redistribución del flujo sanguíneo, que consiste particularmente en un incremento en el aporte sanguíneo hacia los músculos activos y un decremento en el flujo sanguíneo esplácnico. Adicional a estos cambios cardiovasculares, se produce un incremento en la temperatura corporal y como consecuencia de esto, se genera una producción de sudor (Rehrer, 2001).

Esta producción de sudor incrementada durante el ejercicio, se suma a las pérdidas diarias normales de agua, produciendo una importante pérdida adicional que afecta el balance hídrico de los individuos que realizan actividad física de

intensidad moderada a alta, que proviene del líquido extracelular. Sin embargo, esta pérdida adicional de agua a través del sudor (evaporación), se constituye en el principal mecanismo termorregulador para disipar el incremento en la temperatura corporal producida por la contracción muscular (Shirreffs, 2005).

Composición del sudor

Las glándulas sudoríparas están controladas por la estimulación del hipotálamo. La temperatura elevada de la sangre hace que el hipotálamo transmita impulsos a través de las fibras nerviosas simpáticas a las millones de glándulas sudoríparas distribuidas sobre la superficie corporal. El sudor se forma por la filtración del plasma, y a su vez también se filtran electrolitos como el sodio y el cloro; cuando el sudor que se produce es escaso hay una alta reabsorción de estos electrolitos. No obstante, cuando la intensidad de la sudoración aumenta durante el ejercicio se favorece que haya una mayor pérdida electrolítica (Shirreffs(b), 2005; Wilmore, 2004).

EL Cloruro de sodio es el electrolito primario en el sudor, junto con el potasio, el calcio y el magnesio, presentes en menor cantidad. La concentración de sodio en el sudor promedia los 35 mmol/L (Rango: 10 a 70 mmol/L) y varía de acuerdo a la dieta, la tasa de sudoración, la hidratación y la aclimatación al calor (Sharp, 2006; Meyer, 1992).

En la Tabla 3, se puede observar el contenido mineral del sudor en sujetos entrenados y no entrenados de ambos géneros durante ejercicio. Cuando un hombre no entrenado realiza actividad física presenta pérdidas de 90 mmol/l en comparación con un hombre entrenado que pierde 35 mmol/l, situación similar se observa con el cloro.

Tabla 3. Concentraciones de electrolitos en el sudor de sujetos entrenados y no entrenados durante el ejercicio.

SUJETOS	Na ⁺ en el sudor (mmol/l)	Cl ⁻ en el sudor (mmol/l)	K ⁺ en el sudor (mmol/l)
Hombres no entrenados	90	60	4
Hombres entrenados	35	30	4
Mujeres no entrenadas	105	98	4
Mujeres entrenadas	62	47	4

Tomado de Wilmore, 2004.

Cuando se ejecutan ejercicios de intensidad alta en climas cálidos, el cuerpo puede perder más de un litro de sudor por hora y por metro cuadrado de superficie corporal. Esto significa que durante la realización de un esfuerzo intenso en un día caluroso un individuo promedio (entre 50 y 75 Kg.) puede perder entre 1.5 y 2.5 litros de sudor, o aproximadamente un peso corporal de entre el 2 y al 4% del peso corporal cada hora. Una persona puede perder una cantidad crítica de agua corporal en sólo unas pocas horas de ejercicio en estas condiciones (Bachle, 2001; Chevront, 2005; Daries, 2000; Rehner, 2001; Sawka, 2000; Wilmore, 2004).

Un elevado ritmo de sudoración reduce el volumen sanguíneo a expensas de cambios en el volumen plasmático. Ello limita el volumen de sangre disponible para abastecer las necesidades de los músculos y prevenir la acumulación de calor, lo cual, a su vez, reduce el potencial de rendimiento, especialmente en actividades que requieran resistencia (Okazaki, 2002; Sawka, 2005; Wilmore, 2004; Yoshida, 1997).

La pérdida de minerales y agua por la sudoración genera la activación de mecanismos hormonales reguladores mediante la liberación de aldosterona y de la hormona antidiurética, por medio de las cuales el cuerpo retiene más sodio, lo que a su vez favorece la retención de agua y disminuye las pérdidas hídricas a nivel renal. Así, el cuerpo intenta compensar la pérdida de minerales y de agua durante períodos de estrés por el calor y de intensa sudoración reduciendo sus pérdidas por la orina (Maresh, 2005; Wilmore, 2004).

Las consideraciones anteriormente descritas, permiten afirmar que no pueden darse reglas generales para la pérdida cutánea de cloruro de sodio, pero se puede asumir que a tasas altas de sudoración, la pérdida total podría ser fácilmente de unos 10 gramos de sodio y cloro por día. La tasa más alta bien documentada, fue reportada por Ladell y colaboradores, quien evaluó a hombres que trabajaban en una habitación a 38° C y 80% de humedad relativa, encontrando una pérdida de 25.02 gramos de cloro (estimado como NaCl), en 162 minutos de experimentación. Esta pérdida corresponde a una elevada fracción de la cantidad total del organismo el cual contiene aproximadamente 165 gramos de NaCl. Durante la sudoración, los efectos de la pérdida de NaCl no son aparentes, pero cuando se bebe agua para reponer estas pérdidas, existe la posibilidad de que exista una dilución de los compartimentos y se puede generar una Hiponatremia.

La Tabla 4 muestra los resultados de un estudio donde se valora la composición iónica y la osmolaridad en sudor y líquido extracelular cuando en condiciones experimentales se crea una pérdida de 4 litros de sudor.

Tabla 4. Composición del sudor.

SOLUTO	Composición media del sudor (mMol/lts)	Cantidad de soluto en líquido extracelular (mEq/lts)	Cantidad de soluto eliminada (Meq/lts)	Cantidad de soluto después de la pérdida de 4 lts (Meq/lts)
Na+	47,9	217,5	191,6	198,3
K+	5,9	60	23,6	36
Cl-	40,4	157,5	161,6	148,3
Bicarbonato		24		
Osmolaridad	94,20	254	94,2	312,1

Tomado de Santárgelo, 1998.

Por otro lado, al inicio del ejercicio, el agua es desplazada desde el plasma a los espacios intersticiales e intracelulares (Costill, 1974). Este desplazamiento del agua está relacionado con la masa muscular que es activada y con la intensidad del esfuerzo. Los productos metabólicos de deshecho comienzan a acumularse en y alrededor de las fibras musculares, incrementándose así la presión osmótica. El agua es llevada a estas áreas. Así mismo, la mayor actividad muscular incrementa la tensión arterial, que a su vez, retira agua de la sangre. El efecto combinado de estas acciones junto con la sudoración, es que los músculos comienzan a ganar agua a expensas del volumen del plasma (Wilmore, 2004). Así por ejemplo, correr al 75% del VO₂máx produce una reducción en el volumen del plasma de entre el 5 y el 10%. El volumen reducido del plasma disminuye la presión arterial y la intensidad del flujo de sangre a la piel y los músculos, situaciones que pueden dificultar seriamente el rendimiento durante el ejercicio físico (Roy, 2001). Ante tal situación varios mecanismos homeostáticos se activan con el fin de mejorar el volumen plasmático y corregir la hiperosmolaridad, producto de esa pérdida de agua (Jaramillo *et ál.*, 1998).

Hiponatremia e Hipernatremia

Una de las primeras determinaciones que se pueden obtener fácilmente cuando se evalúa el equilibrio hidroelectrolítico de un sujeto es la medición de la concentración de sodio en plasma. Cuando la concentración de sodio en plasma desciende por debajo de lo normal (135 mEq/L), se considera Hiponatremia.

Mientras que la Hipernatremia se presenta cuando la concentración de sodio en el plasma se eleva por encima de lo normal (145 mEq/L).

La Hiponatremia puede deberse a la pérdida de cloruro de sodio del líquido extracelular o a la adición de un exceso de agua al líquido extracelular. La pérdida primaria de cloruro de sodio produce una deshidratación hiposomótica y se asocia a una reducción en el volumen del líquido extracelular, situación que puede ser ocasionada por diversas patologías o por el consumo excesivo de diuréticos.

También puede asociarse la Hiponatremia a un exceso de retención de agua, lo cual diluye el sodio del líquido extracelular, un proceso que se denomina sobrehidratación hiposmótica. Por ejemplo, la secreción excesiva de la hormona antidiurética, que hace que los túbulos renales reabsorban más agua, puede dar lugar a Hiponatremia o sobrehidratación.

Por otro lado, el aumento de la concentración de sodio en el plasma que produce también un incremento en la osmolaridad, puede deberse bien a una pérdida de agua en el líquido extracelular, con la consiguiente concentración de los iones de sodio, o bien a un exceso de sodio en el líquido extracelular. Cuando existe una alteración primaria por la pérdida de agua del líquido extracelular, se produce una deshidratación hiperosmótica (hipertónica), relacionada principalmente con un déficit de la hormona antidiurética. Una causa más frecuente de Hipernatremia asociada a una disminución del volumen del líquido extracelular es la deshidratación producida por una ingesta de agua inferior a la que pierde el cuerpo, como ocurre en la sudoración que se produce con el ejercicio físico intenso (Noakes, 2002; Sharp, 2006).

Deshidratación durante el ejercicio

Cuando un individuo realiza algún tipo de actividad física moderada a intensa, por los mecanismos anteriormente expuestos para regulación de la temperatura, presenta pérdidas hídricas; estas pérdidas han sido objeto de un gran número de investigaciones que han valorado el impacto de la deshidratación con relación a la capacidad de realizar actividad física.

En una de las primeras investigaciones, realizadas al respecto por Craig en 1966, se encontró que en términos de rendimiento, se presentaba una reducción del 48% en la resistencia cuando los sujetos se deshidrataron al 4,3% del peso corporal; simultáneamente el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2\text{máx}}$) disminuyó un 22%. En estos mismos experimentos, el rendimiento en pruebas de resistencia y el $VO_{2\text{máx}}$ se redujeron en un 22% y 10% respectivamente, cuando la deshidratación

era sólo del 1,9% del peso corporal como promedio. Claramente, la deshidratación redujo la capacidad de los sistemas circulatorio y termorregulador para responder al estrés metabólico y térmico del ejercicio (McArdle, 2004).

Esto se ha confirmado en estudios recientes, en los que los autores han demostrado que la aparición de la fatiga asociada con la deshidratación durante el ejercicio físico, está altamente correlacionada con incrementos en la temperatura corporal (González & Calbet, 1999). Los autores plantean que puede haber una temperatura corporal interna crítica, a partir de la cual aparece la fatiga; sin embargo, este umbral se reduce con la deshidratación durante el ejercicio (Douvillard, 2004, Shirreffs, 2005; Rehrer, 2001; Sawka, 2000).

El metabolismo de sustratos también está alterado como resultado de la deshidratación durante el ejercicio; se observa mayor glucogenólisis y dependencia del metabolismo anaeróbico (Hargreaves, 1996). Tal parece, que la disponibilidad de reservas de carbohidratos no es responsable de la fatiga asociada con la deshidratación durante el ejercicio, en cambio está más asociada con la hipertermia (Rehrer, 2001).

Cuando se realiza actividad física con deshidratación y pérdida de peso, se ha encontrado que en hombres deshidratados entre un 1% y un 11% de su peso corporal, la reducción del volumen del plasma fue aproximadamente 2.5 veces mayor en comparación con la pérdida total de agua (Grant, 1996). Estos resultados han sido confirmados por otros autores que encontraron una reducción promedio de 6.5% en el volumen del plasma en hombres que estaban deshidratados y en un 3% de su peso corporal. En estos experimentos no hubo cambios significativos en los volúmenes totales de células circulantes o proteínas de plasma. De esta forma, una consecuencia importante de la pérdida de agua del plasma sanguíneo es un incremento en el hematocrito y en la concentración de las proteínas.

Hasta la más mínima deshidratación produce consecuencias fisiológicas. Por ejemplo, cada litro de agua que se pierde causará que el ritmo cardíaco aumente en 8 pulsaciones por minuto, el volumen minuto cardíaco se reduzca en 1 litro por minuto, y la temperatura corporal aumentará 0.3° C cuando una persona ejercita a una temperatura elevada. A partir de una pérdida del 2% del peso corporal en agua (alrededor de 1,5 litros) aparecen los primeros síntomas de deshidratación y se aprecia un descenso del rendimiento y de la resistencia (Coyle, 2000).

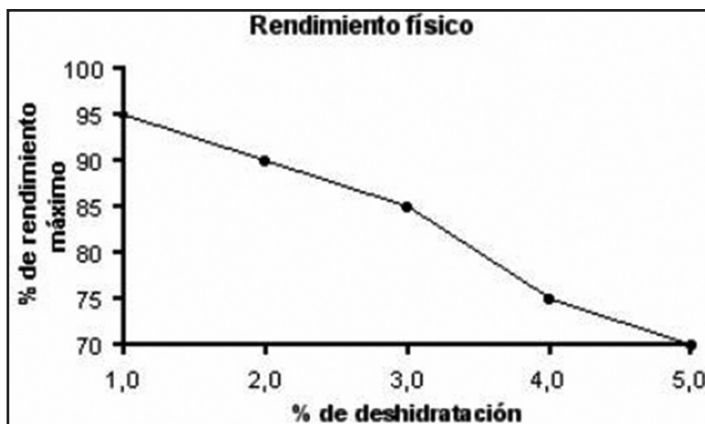
Signos y síntomas de la deshidratación

Los estadios iniciales de la deshidratación secundaria a pérdidas hídricas por el ejercicio, se caracterizan por presentar sed, resequedad en la boca y taquicardia con disminución del volumen sistólico, en la medida que el grado de deshidratación progresa la percepción del esfuerzo para una carga de trabajo aumenta, así como disminuye la presión arterial, la agudeza mental, la fuerza de voluntad, la potencia y la resistencia muscular. En la medida que avanza el grado de deshidratación sin tomar los correctivos necesarios, los signos y síntomas se van acercando más a lo que se conoce como enfermedad por golpe de calor, muy típica hace algunos años en deportistas y militares, caracterizada por: irritabilidad, desorientación, apatía, beligerancia, inestabilidad emocional o conducta irracional, hiperventilación, descoordinación, tambaleo, hipertermia, seguidos de desmayo, convulsiones y/o coma, ya en los niveles más severos de deshidratación. A nivel bioquímico se ha detectado reducción en el volumen plasmático y en las concentraciones de electrolitos, principalmente sodio, potasio y cloro, con cambios en la osmolaridad plasmática proporcional a la pérdida de electrolitos; se presentan incrementos en la gravedad específica de la orina, y la Creatinina y el BUN puede estar elevado (Phynney, 2001).

Los adultos toleran un déficit de agua corporal de aproximadamente solo 1,5 litros sin cambios significativos en la respuesta fisiológica, aunque una pérdida de líquido equivalente a tan poco como el 1% del peso corporal se asocia con un aumento significativo en la temperatura rectal comparado con el mismo ejercicio con una hidratación normal. Cuando la pérdida de agua llega al 4 ó 5% del peso corporal se revelan una deficiencia en la capacidad para realizar el trabajo físico y en la función fisiológica (Claremont, 1976).

Las actividades aeróbicas que impliquen una pérdida de peso de entre 4 o 5% por efecto de la deshidratación, se ven reducidas entre un 20 y un 30% (Figura 1), Mientras que en los casos más extremos, una pérdida de agua de entre 9% y 12% del peso corporal, puede provocar la muerte (Wilmore, 2004).

Figura 1. Relación entre deshidratación y rendimiento

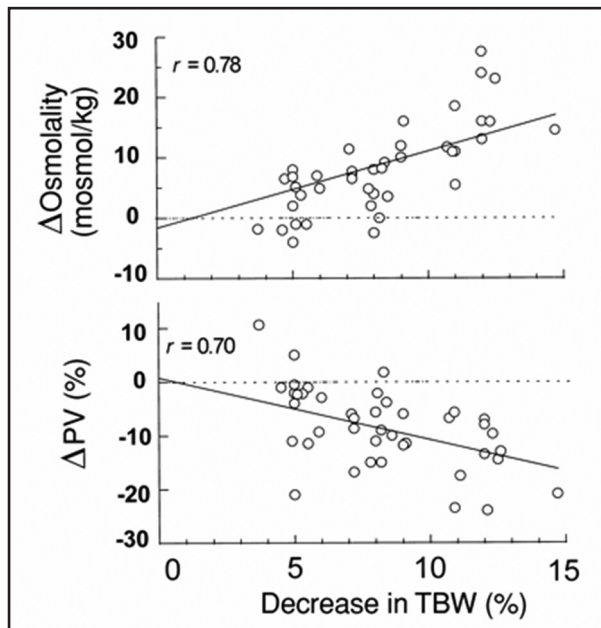


Tomado de Wilmore, 2004.

El volumen plasmático y la osmolaridad durante el reposo en personas hipohidratadas, aclimatadas al calor, se observa en la Figura 2. La hipohidratación inducida por el sudor, reducirá el volumen del plasma e incrementará la presión osmótica en proporción a la cantidad de fluido perdido. El volumen plasmático desciende debido a que éste provee el precursor para el sudor, y la osmolaridad se incrementa debido a que, el sudor es ordinariamente hipotónico en relación al plasma. El sodio y el cloro son los responsables primarios de la elevada osmolaridad plasmática, los cuales movilizan fluido del espacio intracelular al extracelular, para proteger el volumen plasmático en personas hipohidratadas. Este concepto se evidencia claramente en personas aclimatadas al calor, que tienen una reducción más pequeña en el volumen plasmático que las no aclimatadas para un déficit de agua corporal dado (Sawka, 2000).

El descenso del volumen plasmático ocurrido durante el ejercicio, incrementa la viscosidad de la sangre y puede reducir el retorno venoso. Durante el ejercicio máximo, el incremento en la resistencia, mediado por la viscosidad, y el tiempo de llenado reducido podría disminuir el volumen sistólico y el gasto cardíaco (Sawka, 2000).

Figura 2. Cambio de Volumen plasmático y osmolaridad en sujetos hipohidratados



Tomado de Sawka, 2000.

Importancia de la hidratación

El agua, los electrolitos y los carbohidratos son nutrientes críticos para el mantenimiento de la función fisiológica normal y el desempeño óptimo del ejercicio. Con el ejercicio de resistencia y de intensidad incrementada, las pérdidas de fluidos y electrolitos y los imbalances compartimentales se incrementan, a menos que las pérdidas sean compensadas por ingesta apropiada. No solamente el volumen sino también la composición de los fluidos que se ingieren son críticos para asegurar la homeóstasis completa de fluidos completa (intra y extracelular, vascular e intersticial). La ingestión de carbohidratos durante el ejercicio prolongado puede favorecer el desempeño, no sólo a través del incremento de la oxidación de glucosa sino también indirectamente, a través de mejorar la absorción de agua (Rehrer, 2001; Shirreffs, 2005).

Los efectos benéficos de la ingestión de carbohidratos y electrolitos se enfocan hacia el mantenimiento de los niveles de glucosa en sangre y una alta tasa de oxidación de carbohidratos que puede ser llevada a cabo en el momento en el

que las reservas de glicógeno muscular y hepático están bajas. Lo que en últimas se ve reflejado en mejorar el rendimiento físico (Sproule, 1998).

En la actualidad, es ampliamente reconocido el valor sobre el desempeño que posee el mantener un adecuado estado de hidratación durante el ejercicio; de modo que el objetivo de las investigaciones referentes al tema, incluye la medición de la ingesta de fluidos de diferentes composiciones durante ejercicios de resistencia y los límites fisiológicos y los efectos de la rehidratación durante el ejercicio (Rehrer, 2001; Sawka, 2005). Estas investigaciones han encontrado, entre otros datos, que hasta una leve deshidratación afecta de forma adversa el normal funcionamiento fisiológico durante el ejercicio, que al agregar carbohidratos y sal a las bebidas hidratantes produce un beneficio adicional sobre el desempeño y que, en general, la cantidad de líquidos que la mayoría de los atletas toma de manera voluntaria durante el ejercicio representa menos de la mitad de los líquidos que sus cuerpos han perdido (Bachle, 2001; Cheuvront, 2005; Cheuvront, 2003; Noakes, 2002).

La restauración de la pérdida de fluidos es necesaria para optimizar la función cardiovascular y la termorregulación durante el ejercicio. Aunque es importante tener en cuenta, que el reemplazo de agua y electrolitos durante la rehidratación puede estar limitada por el vaciamiento gástrico y la absorción intestinal así como por la habilidad del cuerpo para mantener los fluidos ingeridos (Saat, 2002). Tales limitaciones pueden estar relacionadas porque al inicio del ejercicio se genera una redistribución de flujo y un importante porcentaje del gasto cardiaco es derivado hacia los músculos que se están ejercitando, a expensas de una reducción significativa del mismo en el territorio esplácnico, lo que puede alterar y retardar los procesos de digestión y absorción de alimentos y bebidas ingeridos durante la actividad.

El American *College of Sports Medicine* (ACSM), en su posición sobre el reemplazo de fluidos recomienda la ingestión de fluidos que estén más fríos que la temperatura ambiente y que tengan buen gusto para mejorar su sabor promoviendo el reemplazo de fluidos.

La composición de las bebidas además de poseer importantes beneficios sobre la reposición de agua, sustratos y electrolitos perdidos durante el ejercicio, también pueden tener un considerable efecto sobre la ingesta voluntaria de fluidos, como lo demuestran diversas investigaciones, en las que se ha estudiado la ingesta voluntaria de bebidas con diferentes composiciones (agua, bebidas deportivas y bebidas deportivas saborizadas y endulzadas) durante ejercicio de

resistencia de prolongada duración; demostrando que el consumo voluntario de la bebida saborizada, duplicaba el consumo de las otras dos (Wilk y Bar-Or, 1988). Igualmente se evidencia que no sólo el sabor y el grado de dulzura de las bebidas incrementan su ingestión en forma voluntaria, sino también la presencia de cloruro de sodio. El mecanismo de la sed en el humano es sensible a la concentración plasmática de sodio (y la osmolaridad plasmática) así como a los cambios del volumen sanguíneo. El incremento del sodio y la disminución del volumen sanguíneo que acompañan al ejercicio determinan un incremento de la percepción de la sed. La ingesta de agua simple elimina el impulso osmótico para beber y reduce el estímulo volumen-dependiente que determina la saciedad de la sed (Murray, 1996).

De esta forma, el cloruro de sodio se considera como un ingrediente crítico en una bebida deportiva adecuadamente formulada porque mejora su sabor, ayuda a mantener el estímulo osmótico de la sed, reduce la contribución de sodio plasmático requerido en el intestino previo a la absorción, ayuda a mantener el volumen plasmático, durante el ejercicio y sirve como ímpetu osmótico primario para restaurar el volumen fluido extracelular luego del ejercicio (Maughan & Shirrefs, 1996; Nose, 1988).

Se recomienda la inclusión de sodio (0,5-0,7 gramos por litro de agua) en las soluciones de rehidratación ingeridas durante ejercicios de más de una hora de duración ya que puede ser ventajoso para mejorar el sabor, promover la retención de fluidos y porque posiblemente prevenga la Hiponatremia en los individuos que ingieran cantidades excesivas de fluidos. Existe poca evidencia fisiológica de que la presencia del sodio en una solución de rehidratación oral pueda aumentar la absorción intestinal de sodio, ya que el sodio está disponible en suficientes cantidades provenientes de la ingesta alimentaria previa (ACSM, 1996).

Maughan en 1996 estableció que la ingestión de agua es inefectiva para producir una hidratación normal, ya que la absorción del agua disminuye la osmolaridad plasmática, suprimiendo la sed e incrementando la producción de orina. Cuando se aporta sodio ya sea por bebidas rehidratantes o por los alimentos, se mantiene el estímulo osmótico de la sed (González-Alonso *et ál.*, 1992; Nose *et ál.*, 1988) y se reduce la producción de la orina. Existen muchas ocasiones durante el entrenamiento o la competencia cuando resulta difícil sino imposible la ingestión de alimentos, por lo que es importante que los atletas tengan a su disposición fluidos que contengan cloruro de sodio y otros electrolitos.

La adición de cantidades adecuadas de carbohidratos y/o electrolitos a una solución de reemplazo de fluidos se recomienda en ejercicios de una duración mayor de una hora, sin disminuir significativamente el aporte de agua al cuerpo y mejorando el rendimiento deportivo (ACSM, 1996).

Los efectos ergogénicos de los carbohidratos durante el ejercicio han sido extensamente demostrados por las investigaciones, que en su mayoría utilizaron modelos de ejercicios de 1 a 4 y hasta más horas de duración. La ingestión de soluciones que contengan combinaciones de sacarosa, glucosa, fructosa y maltodextrinas determinan mejoría del rendimiento físico si al menos se ingieren 45 gramos de carbohidratos por hora. Se debe señalar que algunos investigadores han reportado mejorías del rendimiento físico aún cuando los sujetos han ingerido cantidades tan bajas como 20-25 g/h, recomendándose sin embargo un consumo más alto de carbohidratos. En tal sentido, la velocidad máxima de utilización de carbohidratos durante el ejercicio parece estar en el rango entre 60 y 70 g/h (1.0-1.5 g/min.). No se evidencia una mejoría adicional en rendimiento cuando los sujetos han ingerido mayores cantidades de carbohidratos (Murray *et ál.*, 1996).

El mecanismo o los mecanismos por los cuales la ingesta de carbohidratos mejora el rendimiento físico se encuentra en la actualidad bajo investigación científica, pero existe el consenso generalizado de que el incremento del rendimiento está ligado a una mayor utilización de los carbohidratos como combustible por parte de los músculos activos. Durante el ejercicio intenso la demanda metabólica de carbohidratos es elevada; la ingestión de carbohidratos satisface parte de tal demanda, ayudando a asegurar el mantenimiento de la oxidación de los carbohidratos.

Uno de los factores más importante en la rehidratación post ejercicio es que el volumen bebido debe ser mayor que el volumen perdido (Shirreffs *et ál.*, 1996). La palatabilidad de las bebidas es importante ya que un individuo no beberá una cantidad suficiente de la bebida sino le gusta. El agua pura no es la bebida de rehidratación post ejercicio más efectiva. La adición de electrolitos, en particular del sodio ayuda a mantener la sed y estimula a beber (Maughan, 1995; Nose, 1988; Takamata, 1994; Saat, 2002).

La rehidratación después del ejercicio requiere no sólo el reemplazo del volumen perdido, sino también el reemplazo de electrolitos, principalmente el sodio, el más perdido en el sudor. Las bebidas que contienen aproximadamente 50 mmol/L de sodio son probablemente las más efectivas para la mayoría de la gente.

En contraste, el contenido de sodio de la mayoría de bebidas deportivas está en el rango de 10 a 25 mmol/L, en algunos casos, es aún más bajo. Las bebidas suaves, que son las más comúnmente consumidas, virtualmente no contienen sodio y por lo tanto, estas bebidas no son las más indicadas cuando la necesidad de rehidratación es crucial. El problema con una alta concentración de sodio en las bebidas es que algunas personas las encuentran poco llamativas, resultando en un consumo reducido. Cuando la pérdida de sudor es alta, la rehidratación con una solución de carbohidratos tiene implicaciones para el balance energético y puede mejorar la palatabilidad (Shirreffs, 2005).

Conclusión

La hidratación antes, durante y después del ejercicio, determina un papel de suma importancia, para restaurar los imbalances producto de las alteraciones hidroelectrolíticas secundarias a la deshidratación por sudor, especialmente en actividades físicas de duración prolongada, que podrían afectar el desempeño del sujeto. A pesar de que la evidencia al respecto, es en su mayoría en población deportista, la hidratación debe tener la misma relevancia en población no deportista pero que practica una actividad física regular e incluso en aquellos que practican actividad física de forma esporádica o que están comenzando a incluir el ejercicio físico dentro de sus estilos de vida.

Referencias Bibliográficas

- American College of Sports Medicine (ACSM). Position Stand on exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc.* 1996; 28: i – vii.
- Bachle, L.; Eckerson, J.; Albertson, L.; Ebersole, K.; Goodwin, J.; Petzel, D.; The effect of fluid replacement on endurance performance. *J. Strength Cond Res.* 2001 May; 15(2):217-24.
- Casa, DJ.; Maresh, CM.; Armstrong, LE.; Kavouras, SA.; Herrera, JA.; Hacker Jr., FT.; Keith, NR.; Elliott, TA. Intravenous versus oral rehydration during a brief period: responses to subsequent exercise in the heat. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2000 Jan;32(1):124-33.
- Cheuvront, SN.; Carter, R. 3rd.; Castellani, JW.; Sawka, MN. Hypohydration impairs endurance exercise performance in temperate but not cold air. *J Appl Physiol.* 2005 Nov; 99(5):1972-6.
- Claremont, AD.; Costill, DL.; Fink, W.; Van Handel, P. Heat tolerance following diuretic induced dehydration. *Med Sci Sports.* 1976 Winter; 8(4):239-43.
- Coyle, EF. Reemplazo de Fluidos y Carbohidratos durante el Ejercicio: ¿Cuánto y Por Qué?. *PubliCE Standard.* 2000. Pid:94.
- Duvillar, SP; Braun, WA.; Markofski, MS.; Beneke, R.; Leithäuser, R. Fluids and Hydration in Prolonged Endurance Performance. *Nutrition,* 2004; 20: 651 – 656.
- Gonzalez-Alonso, J.; Calbet, JA.; Nielsen, B. Muscle blood flow is reduced with dehydration during prolonged exercise in humans. *J Physiol.* 1998 Dec 15; 513 (Pt 3):895-905.
- Grant, SM.; Green, HJ.; Phillips, SM.; Enns, DL.; Sutton, JR. Fluid and electrolyte hormonal responses to exercise and acute plasma volume expansion. *J Appl Physiol.* 1996 Dec;81(6):2386-92
- Hoffman, J.W.; Castellani, R.W.; Kenefick, M.F. Bergeron. Effect of hydration status on thirst, drinking, and related hormonal responses during low-intensity exercise in the heat. *J Appl Physiol* 97: 39–44, 2004.
- Marino, FE.; Kay, E.; Nathan, S. Exercise time to fatigue and the critical limiting temperature: effect of hydration. *Journal of Thermal Biology.* 2004; 29: 21-29
- McArdle, W.; Katch, F.I. y Katch, V.L. *Fundamentos de Fisiología del ejercicio.* Ed.McGrawHill, 2004.

- Meyer, F.; Bar-Or, O.; MacDougall, D.; Heigenhauser, GJ. Sweat electrolyte loss during exercise in the heat: effects of gender and maturation. *Med Sci Sports Exerc.* 1992 Jul; 24(7):776-81.
- Murray, B. El reemplazo de fluidos: posición del colegio americano de medicina del deporte. *Sports Science Exchange.* 1996; 9(4): 1-10.
- Noakes, T. Hyponatremia in distance runners: fluid and sodium balance during exercise. *Curr Sports Med Rep.* 2002 Aug;1(4):197-207.
- Okazaki, K.; Kamijo, Y.; Takeno, Y.; Okumoto, T.; Masuki, S.; Nose, H. Effects of exercise training on thermoregulatory responses and blood volume in older men. *J Appl Physiol.* 2002 Nov;93(5):1630-7.
- Phinney, L.T.; J.W., Gardner; J.A., Kark, and C.B., Wenger (2001). Long-term follow-up after exertional heat illness during recruit training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33:1443-1448.
- Rehrer, NJ. Fluid and electrolyte balance in ultra-endurance sport. *Sports Med.* 2001; 31(10):701-15.
- Roy, BD.; Green, HJ.; Grant, SM.; Tarnopolsky, MA. Acute plasma volume expansion in the untrained alters the hormonal response to prolonged moderate-intensity exercise. *Horm Metab Res.* 2001 Apr; 33(4):238-45.
- Sawka, M.N.; Montain, S.J. Fluid and electrolyte supplementation for exercise heat stress. *Am J Clin Nutr.* 2000 Aug; 72(2 Suppl):564S-72S.
- Sawka, M.N.; S.N., Chevront and R., Carter III. (2005). Human water needs. *Nutrition Reviews.* 2005 63(6): S30-39.
- Sharp, RL. Role of sodium in fluid homeostasis with exercise. *J Am Coll Nutr.* 2006 Jun;25(3 Suppl):231S-239S.
- Shirreffs, (b) SM. The importance. The importance of good hydration for work and exercise. *Nutr Rev.* 2005 Jun; 63(6):S214-S21.
- Shirreffs, SM.; Aragon-Vargas, LF.; Chamorro, M.; Maughan, RJ.; Serratos, L.; Za-chwieja. The sweating response of elite professional soccer players to training in the heat. *Int. J. Sports Med.* 2005 Mar; 26(2):90-5.
- Sproule, J. The influence of either no fluid or carbohydrate-electrolyte fluid ingestion and the environment (thermoneutral versus hot and humid) on running economy after prolonged, high-intensity exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1998 May; 77(6):536-42.
- Wilmore, JH. *Fisiología del esfuerzo y el deporte.* 5ª ed. Paidotribo, Barcelona. 2004.

Yoshida, T.; Nagashima, K.; Nose, H.; Kawabata, T.; Nakai, S.; Yorimoto, A.; Morimoto, T. Relationship between aerobic power, blood volume, and thermoregulatory responses to exercise-heat stress. *Med Sci Sports Exerc.* 1997 Jul; 29(7):867-73.