



universidad  
de león



**TRABAJO DE FIN DE GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE.**

Curso académico 2015/2016

**HIPERHIDRATACIÓN**

Hyperhydration

**AUTOR: María Cortina Cuesta**

**TUTOR: Pilar Sánchez Collado.**

Firma manuscrita en azul de Pilar Sánchez Collado.

## ÍNDICE

1. RESUMEN.....	3
2. INTRODUCCIÓN.....	4
3. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.....	5
4. RESULTADOS.....	6
4.1 Hiperhidratación.....	6
4.2 Hiponatremia y ejercicio.....	8
4.3 Incidencia de hiponatremia asociada al ejercicio .....	11
4.4 Factores de riesgo.....	13
4.5 Prevención.....	20
4.6 Síntomas.....	21
4.7 Tratamiento.....	23
5. CONCLUSIONES.....	24
6. BIBLIOGRAFÍA.....	26

## 1. RESUMEN

La hiperhidratación se produce en el momento que se consume más agua de la que nuestro organismo puede eliminar. Se caracteriza por una situación corporal anormal, en la cual los niveles de sodio disminuyen significativamente, debido directamente al consumo excesivo de líquido que no posee este elemento, y que por ende, favorece la eliminación del mismo mediante vías normales como la sudoración o la orina.

En condiciones normales, una persona sana en la que sus órganos funcionan con normalidad, podría beber hasta 7.5 litros de agua al día. Si se superaran estos valores, se produciría una excesiva dilución de sodio en la sangre (hiponatremia), y podría provocar alteraciones en nuestro organismo que podrían llegar a producir incluso la muerte.

Esta revisión bibliográfica tiene como objetivo conocer la relación entre la hiperhidratación y la hiponatremia; e identificar los factores de riesgo, prevalencia, síntomas y tratamiento de la hiperhidratación.

Palabras clave: hiperhidratación, hiponatremia, ejercicio físico, agua, resistencia, tratamiento, prevalencia, factores de riesgo, incidencia, sodio, síntomas.

## ABSTRACT

Hyperhydration occurs when more water than our body can eliminate consumed. It is characterized by an abnormal body position in which sodium levels fall significantly due directly to excessive drinking that does not have this element and thus favors the elimination of it through normal channels such as sweating or urine.

Normally, a healthy person in their organs are functioning normally, could drink up to 7.5 liters of water a day. If these values are exceeded, excessive dilution of blood sodium (hyponatremia) would occur and could cause changes in our body that could reach even cause death.

This literature review aims to determine the relationship between overhydration and hyponatremia; and identify risk factors, prevalence, symptoms and treatment of overhydration.

Keywords: hyperhydration, hyponatremia, exercise, water resistance, treatment, prevalence, risk factors, sodium, incidence, symptoms.

## 2. INTRODUCCIÓN

La mayoría población es consciente de lo importante que es el agua en nuestro organismo para poder llevar a cabo nuestras funciones vitales, pero es posible que no seamos tan conscientes de lo importante que es el agua en el ámbito deportivo.

Las principales funciones del agua dentro de éste ámbito son: transporte de oxígeno a los tejidos, regulación del pH sanguíneo gracias a la presencia de agentes tampón, ayuda a los deportistas a disipar el calor...

Al realizar ejercicio físico, la pérdida de agua corporal varía entre las diferentes personas, ya que cada una es distinta. Algunos pueden sudar más que otros, pero no necesariamente tienen que perder más sales que el que menos suda. Debido a esta variación individual, es complejo predecir cuánto se debe beber en una sesión de un deporte en concreto.

La mayor parte de la población relaciona la actividad física con la deshidratación, sin saber que un exceso de líquidos en el cuerpo, debido a una hiperhidratación, puede provocar desórdenes en nuestro organismo e incluso, podría llegar a causar la muerte. Este exceso de líquidos influye en la regulación del equilibrio de los electrolitos presentes en nuestro organismo. El cuerpo trata de hacer que la cantidad de agua total sea constante, y por ello también trata de mantener el nivel de sodio en sangre. Es por eso que, cuando existe un exceso de sodio, el organismo retiene agua para diluir este mineral, entonces, se siente más sed y se excreta menos orina.

Sin embargo, cuando la concentración de sodio desciende, o la cantidad de agua aumenta, nuestro organismo (en concreto el riñón) excreta más líquido para mantener el equilibrio.

La hiperhidratación aparece cuando el consumo de agua se encuentra por encima de su eliminación, y las modificaciones que pueden producirse se deben a la dilución desmesurada de sodio en la sangre. El órgano más afectado es el cerebro, ya que los cambios bruscos de agua provocan una dificultad importante en la adaptación de las neuronas, pudiendo causar confusión mental, convulsiones y hasta el coma.

### 3. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El principal objetivo de esta revisión bibliográfica es obtener la mayor información posible acerca de la sobrehidratación, que aunque en los últimos años ha sufrido un auge en su investigación, aún es necesario indagar sobre ello. Para ello, más específicamente, se ha investigado acerca de 4 factores clave:

1. Conocer el rango de deportistas a los que puede afectar con mayor frecuencia.
2. Identificar los factores de riesgo que pueden potenciar la aparición o agravamiento de la misma.
3. Averiguar la prevalencia e incidencia de la sobrehidratación.
4. Conocer las estrategias utilizadas como medidas preventivas y tratamiento de la aparición y progresión de la misma.

La metodología utilizada para esta revisión bibliográfica se ha basado en la búsqueda exhaustiva de artículos científicos a través de las bases de datos de Pubmed y Dialnet. Como método restrictivo de búsqueda se han utilizado dos parámetros.

- Año de publicación del artículo: preferentemente se han seleccionado artículos que abarquen de 2000-2016.

- Palabras clave: las palabras clave utilizadas para la restricción de la información en los motores de búsqueda han sido: hyperhydration, overhydration, hyponatremia, physical activity, performance, sport, ultraendurance, exercise, hot, training (Ejemplo: hyperhydration + ultraendurance + hot).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 HIPERHIDRATACIÓN.

Desde los comienzos de la humanidad, el hombre ha luchado por su supervivencia, lo que conlleva promover la salud y prevenir la enfermedad. La hidratación, es una de las piezas clave de la supervivencia, ya que el agua es un recurso natural indispensable para la vida y el organismo.

Es necesario mantenerse correctamente hidratado para la realización de diversas actividades cotidianas, pero aún más cuando practicamos algún tipo de actividad o ejercicio físico. Debido a las condiciones climáticas, la intensidad o duración de la actividad física, los músculos generan una gran cantidad de calor. Este calor puede disiparse hacia el ambiente o, de lo contrario, se producirá un aumento en la temperatura central del cuerpo. Así, el aumento de la temperatura corporal por encima de los 37°C pone en marcha mecanismos para disipar el calor a través de la sudoración y evaporación del sudor, con el objetivo de mantener estable la temperatura central en unos 36-36.5°C. (Iglesias-Rosado et al., 2011).

Esta gran cantidad de calor generada por los músculos, es directamente proporcional a la intensidad de trabajo (Armstrong, 1997). Por lo tanto las actividades realizadas en condiciones adversas de temperatura representan cierto riesgo de lesiones producidas por el calor; ya sea tanto en actividades de corta duración y alta intensidad (deportes de equipo), o de mayor duración y menor intensidad (media maratón, maratón, etapas de ciclismo, triatlón....). Estas lesiones, implican una pérdida de líquidos y minerales que nuestro organismo tiene que ir recuperando para volver a alcanzar la homeostasis orgánica (Mataix-Verdú, 2009).

En el deporte, a través de la respiración y sudoración, puede llegar a haber pérdidas alrededor de 2-4 L/h. Aun así, es complicado calcular las necesidades de cada colectivo o individuo, ya que son muy variables incluso en un mismo individuo según diversos factores, como condiciones ambientales y la actividad física realizada (Otegui et al., 2013). En el deporte, el calor se disipa a través de la sudoración, sin olvidarnos de las pérdidas por hiperventilación. Así, la ingesta que normalmente representa a cada grupo de población es de 2 L/día en personas sedentarias, (Palacios et al., 2008) y en un activo 3 L/día (Murray, 2007).

Es importante saber de dónde vienen las pérdidas e ingresos hídricos con exactitud. Entre las pérdidas diarias, podemos distinguir la orina (1-2 L), sudoración (0,1

L), transpiración (0,3 L) y heces (0,1 L). El agua ingerida (2-4 L), proviene de bebidas (1-3 L), alimentos (1,6 L) y agua metabólica (0,4 L) (Palacios et al., 2008).

Durante la realización de cualquier actividad físico-deportiva, debería ingerirse bebida isotónica con una mezcla de azúcares simples y de absorción lenta, además de sodio. Se debería beber cada 15-20´ en pequeños sorbos de 150-250mL (Jekendrup, 2011).

Cuando los deportistas realizan ejercicio de muy larga duración, superior a tres horas, y se compete bajo estrés térmico, es importante incidir en la adición de sodio a la bebida de 0,5-0,7g/L a 0,7-2g/L. Es necesario mantenerla a temperatura entre 10-20°C, lo que favorecería su apetencia y el vaciado gástrico. Además, durante actividades extremas como el alpinismo, es posible la ingesta reiterada de líquidos durante la propia actividad (Otegui et al., 2013).

Sin tener en cuenta la naturaleza de los diversos deportes, existen una serie de factores que influyen en el consumo de líquidos durante los eventos competitivos. Las condiciones ambientales parecen ser un factor que afecta constantemente a la ingesta de líquidos, con mayores tasas de ingesta en ambientes cálidos. Sin embargo, en muchos eventos, que los atletas beban a una velocidad u otra, está determinado por unos factores que no pueden ser controlados por el propio deportista; tales como reglas de eventos, tácticas de carrera, acceso regulado a los fluidos, la prioridad de mantener la técnica o la velocidad óptima, y confort gastrointestinal. Esto se corrobora especialmente en las pruebas de resistencia y de ultra-resistencia, y así varios autores analizaron la hidratación durante la carrera, centrándose en 25 estudios que implican carrera, ciclismo y combinaciones de multi-deporte; y que se llevaban a cabo durante una solo día (de 5 a 24h). Todas estas pruebas deportivas presentaban un abanico de temperaturas de frío (8º) a calor (38º) aunque la mayoría transcurrían en condiciones templadas (Casa et al., 2010).

Las observaciones de la ingesta de líquidos durante los eventos de ultra resistencia (Garth y Burke, 2013), muestran que la media de dichas ingestas oscilan entre 300-1,000 mL/h con grandes variaciones individuales. Cabe destacar que durante las actividades de ciclismo, se observaron mayores tasas de ingesta (400-900 mL/h) que durante la carrera (300-700 mL/h).

La diversidad de las estrategias utilizadas por los atletas para beber durante los eventos de ultra resistencia, demuestra que la relación entre la ingesta de líquidos, o pérdida de masa corporal a través de una carrera y la hora de finalización del competidor, (es decir, éxito) varían entre los deportes y eventos específicos.

En los deportes de equipo, las oportunidades para beber durante las competiciones, están predeterminadas por los períodos de juego (por ejemplo, tiempos de espera, sustituciones), y por la gestión del propio equipo del tiempo para acceder a por bebida en dichos períodos. Aunque las reglas varían entre los diferentes deportes, hay ocasiones en las que las oportunidades para beber se incrementan, cuando se permite a los deportistas tomar bebida en el campo o al lado del campo. Cuando las reglas oficiales dictan que las bebidas se limitan al calentamiento y al tiempo de descanso (por ejemplo, entre los 45 minutos de juego en fútbol), descienden las oportunidades para beber (Garth y Burke, 2013).

Además, para algunos deportes de equipo, existen una serie de pautas que permiten mejorar las oportunidades de consumir líquidos en condiciones extremas. La media de ingesta de líquidos oscilaron entre 300-800 mL/h en todos los deportes, aunque en juegos en los que se registraron las mayores tasas medias de sudor, y la media de ingesta de líquidos, eran de 1.000 mL/h.

Los deportes de equipo y de raqueta, ofrecen una combinación de oportunidades para consumir nutrientes y fluidos durante el partido, que pueden variar. Puede ser que existan mayor número de oportunidades para beber (por ejemplo, baloncesto), o menor, lo cual implica una mayor limitación (por ejemplo, fútbol). Un mayor acceso a líquidos a menudo se hace posible gracias a las estrategias o recursos proporcionados por la organización interna del equipo (Otegui et al., 2013).

Dichas pautas, son una herramienta básica para que el deportista se guíe durante la práctica de éstos deportes, de tal manera, que no sufra una excesiva pérdida o ganancia de agua, lo que podría inducir una hipohidratación o hiperhidratación respectivamente.

#### 4.2 HIPONATREMIA Y EJERCICIO

El cuerpo humano está formado mayoritariamente por entre un 60% y 70% de agua. Esto significa que es necesario que el deportista debe estar hidratado durante todo el día, pero sobre todo, durante la actividad física, no que tengamos que estar bebiendo agua a todas horas como últimamente parece que está de moda. Lo principal es mantener el equilibrio, ni excesos ni carencias.

A comienzos de 1970, la recomendación sobre la ingestión fluidos era no beber durante el ejercicio. En 1996, las recomendaciones eran, " es necesario estimular a los individuos para que consuman la cantidad máxima de fluidos durante ejercicio que puedan tolerar sin padecer incomodidad gastrointestinal, hasta una proporción equivalente a la perdida a través del sudor", y algunos interpretaron esto como "beber tanto como puedan tolerar."(Noakes, 2011)

La hiponatremia puede definirse como un desequilibrio entre los electrolitos y los líquidos del cuerpo, que se caracteriza por un descenso exagerado en la concentración de sodio en el plasma. En el caso de la hiponatremia por dilución, que es la que se manifiesta preferentemente en atletas durante la práctica de actividad física o posterior a la misma, la concentración disminuye por un aumento en la cantidad de de agua que existe en el líquido extracelular.

La hiperhidratación se produce en el momento que se consume más agua de la que nuestro organismo puede eliminar. Se caracteriza por una situación corporal anormal en la cual los niveles de sodio disminuyen significativamente, debido directamente al consumo excesivo de líquido que no posee este elemento y que por ende favorece la eliminación del mismo mediante vías normales como la sudoración o la orina. La sobrehidratación en el ámbito deportivo, comenzará a manifestarse a través de la aparición de la fatiga y pesadez con mayor rapidez de lo normal; ya que el sodio es un electrolito básico para el funcionamiento muscular y del sistema nervioso.

Se define la hiponatremia asociada al ejercicio (EAH) como la presencia de sodio plasmático inferior a 135 mmol/L. Según Scotney y Reid (2015), la hiponatremia asociada con el ejercicio suele producirse durante o hasta 24 horas después de la realización de actividad física prolongada.

En función de la concentración del sodio plasmático, las hiponatremias pueden ser:

1. Leves, con sodios entre 134 y 125 mEq/L son habitualmente asintomáticas.
2. Moderadas, con natremia entre 125 y 120 mEq/L, con aparición de náuseas, vómitos o malestar general.
3. Graves, con sodios entre 120 y 115 mEq/L, que pueden cursar con cefaleas, obnubilación y letargia.

4. Extremas, cuando la natremia baja de 115 mEq/L; a los síntomas anteriores puede añadirse la aparición de convulsiones o incluso coma.

Una disminución del volumen de agua corporal o un incremento en la osmolalidad plasmática desencadenarán la sensación de sed, lo que dará lugar a la ingesta de líquidos para compensar el agua corporal total. El aumento del volumen de agua corporal normalmente provocará un incremento en la excreción renal de agua, restableciéndose así la euhidratación. Los trastornos graves del volumen de agua corporal son relativamente raros. En ocasiones pueden darse grandes pérdidas en periodos cortos de tiempo: las tasas de sudoración durante el esfuerzo físico con calor pueden superar los 2,5 L/h (Maughan y Shirreffs, 2010), y las enfermedades infecciosas como el cólera pueden provocar pérdidas de agua mediante las heces de hasta 1 L/h (Harris et al., 2012).

Los humanos somos capaces de obviar, mediante un esfuerzo consciente, muchas de las señales implicadas en los mecanismos de regulación del equilibrio hídrico. La sensación de sed nos indica que necesitamos beber, pero podemos elegir no hacerlo. Además, en ocasiones los mecanismos de regulación pueden fallar y causar alteraciones importantes en la homeostasis del agua. La sobrehidratación puede ser crónica, en cuyo caso suele ser leve, o aguda.

La sobrehidratación crónica leve se considera generalmente inofensiva, y tan solo provoca visitas frecuentes al baño. No obstante, cada día se dispone de más datos que indican que esta afección no es del todo benigna. Las formas leves, normalmente denominadas “polidipsias psicógenas”, pueden darse en personas aparentemente sanas (Ayus et al., 2012).

La sobrehidratación aguda grave produce alteraciones del equilibrio hidroelectrolítico potencialmente mortales. Las fuerzas osmóticas equilibran las concentraciones de agua y solutos entre los espacios intra- y extracelular. Cuando la concentración de solutos en el exterior de la célula disminuye, el agua difunde hacia el espacio intracelular, lo que hace que las células se hinchen. Cuando esto ocurre en el cerebro se provoca un aumento de la presión intracraneal que puede causar síntomas como cefalea, náuseas, confusión, somnolencia y también alteraciones de la personalidad y la conducta. Si aumentara exageradamente la presión intracraneal, podría limitarse el flujo sanguíneo y dar lugar a disfunción del sistema nervioso central (encefalopatía hiponatrémica) y finalmente convulsiones, coma o muerte (Moritz y Ayus, 2003).

Como se ha comentado previamente el consumo excesivo de líquidos es uno de los principales factores desencadenantes de EAH, pero no es la única explicación de la misma. Puede que la pérdida de electrolitos, en especial la pérdida de sodio con el sudor, no sea un factor principal, pero causará una reducción del volumen de plasma, lo que a su vez aumentará la secreción de la hormona antidiurética (ADH) y, por tanto, disminuirá la excreción renal de agua. Generalmente, la ADH no comienza a secretarse hasta que la osmolaridad plasmática no ha aumentado considerablemente, pero en el caso del síndrome de secreción inadecuada de ADH (SIADH), puede aparecer lo que Haldane denominaba “parálisis temporal de la excreción renal” por niveles altos de ADH (Siegel et al., 2007).

#### 4.3 INCIDENCIA DE HIPONATREMIA ASOCIADA AL EJERCICIO

La EAH se desarrolla tan frecuentemente debido a que los patrones de hidratación están generalizados, es decir, no tienen en cuenta factores como pueden ser las condiciones ambientales, las características antropométricas del deportista, la velocidad de asimilación de los componentes de las bebidas hipotónicas...

Es común que la hiponatremia asociada con el ejercicio, según Bennet et al. (2014), se desarrolle en actividades físicas individuales o en eventos organizados de resistencia. Esta puede ser provocada por varios factores: ser llevados a cabo en malas condiciones climatológicas, presentar poca atención médico-sanitaria, o que la misma se retrase e incluso sea inviable el traslado del paciente al hospital más cercano.

Según Rosner y Kirven (2007), las competiciones de resistencia que normalmente implican la posibilidad de desarrollar hiponatremia son maratones (42,2 km), triatlón-ironman (3,8 km de natación, 180 km de ciclismo, y 42,2 km de carrera) y ultramaraton (50 km, 80 km, 100 km y 160 km).

Los consejos de hidratación han cambiado drásticamente en los últimos años. Según este último autor (Rosner y Kirven 2007), antes de la detección de la hiponatremia en 1981, era habitual aconsejar a los atletas que no bebieran agua durante los primeros 15 km de la carrera, lo que conllevaba que los deportistas se deshidrataran e incluso desarrollaran hipernatremia. Desde esa prohibición, todo ha ido cambiando y se ha ido fomentando el acto de beber tanto como sea posible. De hecho las autoridades deportivas reflejan el entusiasmo por el consumo de fluidos durante la carrera, recomendando los volúmenes de fluido que debían consumirse en cada estación.

La primera vez que fue descrita la EAH ocurrió en Durban, Sudáfrica (1981). Más adelante, Noakes et al., en 1985 informaron de la manifestación de hiponatremia severa en cuatro atletas que participaron en los eventos de resistencia de más de 7 horas. Por ello, hasta entonces, la incidencia de la hiponatremia durante el ejercicio de resistencia era relativamente desconocida y poco común.

La prevalencia de EAH, según un estudio realizado por Bennet et al. (2014), es variable, ya que el diagnóstico sólo se basa en diferencias dentro de unas condiciones normales, es decir, únicamente analiza los resultados bioquímicos anormales en un entorno clínico adecuado, sin tener en cuenta muchos otros factores que podrían influir en el resultado; como podrían ser, por ejemplo, las características del deportista o las condiciones climatológicas.

Podemos distinguir dos tipos de EAH en función de los síntomas: asintomático, el que más afecta a los deportistas (>prevalencia), y sintomático, menos común. (Bennet et al., 2013).

Así, en general, la EAH asintomática parece manifestarse más frecuentemente en eventos de ultra resistencia (>6 horas) que de resistencia.

La EAH asintomática, según Chlíbková et al. (2014), es mayor en ultra corredores que en los ciclistas de ultra montaña. De entre todos los estudios realizados por este autor, uno de ellos, centrados en la EAH asintomática nos proporciona información sobre ciclistas de ultra-montaña, ciclistas de montaña y ultra-corredores; y afirma que, del total de los finalistas, un 5,7% desarrollaron EAH y, que la prevalencia de la misma, fue mayor en ultra corredores que en ciclistas de ultra-montaña.

Referente únicamente a los ciclistas, se sabe que hay una mayor prevalencia de EAH en ciclistas de montaña (7,1%) que en ciclistas de ultra-montaña (3,7%); ya que Rose y Peters-Futre (2010), llevaron a cabo un análisis dentro de este grupo de ciclistas, donde el consumo de líquidos se correlaciona negativamente con el tiempo de carrera.

La ingesta de líquidos se relaciona positivamente con el rendimiento, ya que los puestos de avituallamiento por norma general informa de que los atletas más rápidos consumen más líquido que los lentos, y que el contenido bajo de sodio en el plasma posterior a la carrera, se relaciona negativamente con el rendimiento. Por lo tanto, sabemos que los atletas hiponatrémicos consumen más líquidos en comparación con los no hiponatrémicos (Rose y Peters-Futre, 2010).

En Nueva Zelanda (Speedy et al., 2000) y Suiza (O'Donnell, 2012), los corredores de ultra resistencia manifestaron una prevalencia de 4% y 0% respectivamente.

Asimismo, existe de una tasa de prevalencia de EAH en nadadores de aguas abiertas de ultra distancia, provocado por la ingestión de líquidos hipotónicos durante la carrera.

**Table 1.** Prevalence of exercise-associated hyponatremia (EAH).

<b>Disciplines</b>	<b>Subjects</b>	<b>Prevalence of EAH</b>
Marathoners		up to 22%
Ultra-marathoners	Asymptomatic	30%–51%
	Athletes seeking medical care	38%
Mountain bikers		7.1%
Ultra-mountain bikers		3.7%
Ironman triathletes		1.8%–28%
Hikers		16%
Military		Increased trend; one case of death
Swimmers	Males	8%
	Females	36%

Prevalencia de la hiponatremia en función de los diferentes tipos de disciplina deportiva (Scotney y Reid, 2015).

La mayor prevalencia de hiponatremia asintomática ha sido detectada en América del Norte. Según Lebus et al. (2010), en carreras de ultra maratón de 160 km la EAH se ha manifestado entre 30-51% del total de los participantes, pero no fue predicho por un cambio en la masa corporal. Se realizaron mediciones de la masa corporal, el agua corporal total, el fluido extracelular y el sodio en el plasma antes y después de la carrera. La relación entre el agua corporal total y el fluido extracelular fue lo que explicó que se diera un 87,5% de incidencia de la hiponatremia en el presente estudio.

#### 4.4 FACTORES DE RIESGO

A continuación se analizan los principales factores de riesgo relacionados con la aparición de hiponatremia dilucional relacionada con el ejercicio físico.

##### 1) Consumo excesivo de líquidos

El principal factor de riesgo de desarrollo de hiponatremia parece ser la sobrehidratación o el consumo excesivo de líquidos durante la actividad, que conduce a la reducción de sodio en el plasma y se acompaña de un aumento de peso. Por lo tanto, la tasa de disminución en la concentración de sodio en suero es un factor de riesgo. También es importante independientemente de la concentración de sodio en suero absoluta, con una disminución de más de 7% de más de 24 horas considerado de alto riesgo.

Los estudios que se realizaron anteriormente en eventos de ultra resistencia, han demostrado una relación entre el sodio contenido en el plasma, los cambios en la masa corporal y la cantidad de ingesta de líquidos, que se asocia a un aumento de peso al final de la prueba, acaecido en la mayor parte de los atletas que sufrieron hiponatremia. La evidente pérdida de sodio y de líquido a través del sudor durante ejercicios de ultra-resistencia, conlleva una disminución del líquido extracelular y del volumen de plasma. Además, éste último, disminuye aún más con la redistribución de la sangre a los músculos implicados en el ejercicio.

Se sigue sin saber exactamente si la pérdida de sudor contribuye al desarrollo de la EAH. Los valores normales de concentración de sodio en el sudor oscilan entre 15 y 65 mEq/L, al igual que el volumen del mismo (sudor) entre 250 mL/h y 2000mL/h. Todo apunta a que la reposición de líquidos hipotónicos es muy superior a la pérdida de líquidos a través del sudor, aunque podría deducirse que las pérdidas de líquidos hipotónicos por sudor producirían un aumento de los niveles séricos de sodio, pero este hecho es falso.

Anteriormente, Noakes et al. (1970), revelaron un aumento de sodio en el plasma en ocho maratonianos que consumieron 500mL para la misma distancia que, cuatro corredores, que ingirieron 9L (1985). Estos corredores padecían un descenso del sodio en el plasma, exactamente por debajo de 125 mEq/L.

Antes de 1981, se alentó a los atletas beber en exceso durante el esfuerzo para evitar la deshidratación (Lebus et al., 2010), pero con la descripción de EAH en Sudáfrica y Nueva Zelanda en 1985 anteriormente mencionada, se han desarrollado nuevas pautas de consumo de líquido que restringen la ingesta excesiva de líquidos para las pruebas de resistencia. Acatar estas recomendaciones implicó el descenso de la incidencia de la EAH. Además de estas nuevas pautas, se llevaron a cabo observaciones parecidas después de que el Ejército de Estados Unidos revisara sus directrices para el consumo de líquidos durante las actividades de formación, debido a que se produjo un aumento de la incidencia de la EAH. También fijaron un límite máximo

de consumo de líquido entre 1,0 a 1,5 L/h. Gracias a esto, la incidencia de la EAH en el ejército de Estados Unidos presentó un declive.

Posteriormente, en un estudio de corredores en el maratón de Boston, Almond et al. (2005), localizaron correlaciones significativas entre la ingesta de líquidos y la incidencia de la hiponatremia. En concreto, con una ingesta de líquidos mayor de 3L, se halló un peso posterior a la carrera mayor que el peso previo a la misma; pero no fueron capaces de encontrar una correlación entre el tipo de líquidos consumidos (agua frente a las soluciones que contienen electrolitos) y el posterior desarrollo de la hiponatremia

También se encontraron correlaciones entre el aumento del peso corporal y la hiponatremia; el 73% de los pacientes que se encontraron gravemente hiponatrémicos ganaron o mantuvieron peso durante la carrera. Noakes et al. (2005), en el mayor estudio hasta la fecha, investigaron los cambios en la concentración de sodio en suero asociados con los cambios en el peso corporal en 2135 los atletas de resistencia. El sodio sérico medio fue  $136,1 \pm 6,4$  mmol/L para los atletas que ganaron peso durante la carrera;  $140.5 \pm 3,7$  mmol/L para las personas con el aumento de peso mínimo; y  $141.1 \pm 3,7$  mmol/L para los que perdieron peso durante la carrera. Los autores estimaron que los atletas que ganaron más peso (menos sodio), más de un 4% de masa corporal durante el ejercicio tenían una probabilidad de 45% de desarrollar hiponatremia. Es importante destacar que el 70% de los individuos que aumentaron de peso durante el ejercicio, no desarrollaron hiponatremia.

## 2) Género

El género también puede ser un factor de riesgo para el desarrollo de la EAH, con las atletas más propensas que los hombres para desarrollar hiponatremia durante las pruebas de resistencia (Adrogué, 2005).

Los factores que pueden influir en la hiponatremia relacionado con el género, según Grikinienò et al. (2014), pueden ser hormonales, por un manejo del transporte celular de sodio y por un volumen de distribución del agua corporal diferente. El riesgo relativo de desarrollar encefalopatía hiponatrémica es 28 veces superior al de los pacientes de sexo masculino.

Autores como, Ayus et al. (2000) y Montain et al. (2006) afirmaron que de los 26 casos de EAH, 23 ocurrieron en mujeres, en San Diego y que la EAH era tres veces más común en mujeres que en hombres en el triatlón Ironman de Nueva Zelanda en 1997. Almond et al. (2003), también encontraron que, la hiponatremia desarrollada con mayor frecuencia en las mujeres, se dio en el maratón de Boston. Sin embargo, cuando

se corrigieron los resultados de dicho estudio (en función del IMC, tiempo...) para el índice de masa corporal, el tiempo de las carreras, y el cambio de peso, las desigualdades entre hombres y mujeres no fueron significativas estadísticamente. Por ello puede deducirse que, tanto el tamaño corporal como la duración del ejercicio, podrían explicar esas diferencias entre géneros.

Algunos investigadores, como Baker et al. (2005), han sugerido que las mujeres se adhieren más estrictamente a las recomendaciones de hidratación durante el ejercicio y, por tanto, consumen más líquidos.

### 3) Edad

La edad también se correlaciona con el riesgo de desarrollar hiponatremia en deportistas. Según Burguera et al. (2011), los ancianos y los niños pequeños se encuentran dentro de los grupos de personas más vulnerables a sufrir los efectos de una incorrecta hidratación.

Los ancianos son un conjunto susceptible de desarrollar tanto, hiponatremia como hipernatremia, ya que, acostumbran a ingerir una dieta habitual sin sal, utilizan diuréticos frecuentemente y los cambios fisiológicos del volumen y peso corporal y la administración forzada de fluidos por vía oral o intravenosa, les convierten en una población especialmente expuesta a esta alteración (Burguera et al., 2011).

En un estudio prospectivo y observacional, Shapiro, et al. (2010) analizaron a 1.389 personas hospitalizadas mayores de 65 años. La prevalencia de hiponatremia grave ( $\text{Na} < 125 \text{ mmol/L}$ ) fue del 6,2% (86 pacientes), y más frecuente en mujeres.

Burguera et al. (2011), afirman que a partir de los 40 años de edad se produce un progresivo descenso en el flujo plasmático renal y en la tasa de filtración glomerular, fenómenos que conllevan la reducción de la capacidad de concentrar o diluir la orina.

A partir de los 60 años y, comúnmente en residencias de ancianos, es habitual encontrar personas que presenten trastornos neurológicos y cognitivos, lo que implica una mayor frecuencia de caídas y fracturas. Romano y de Briñas (2011), se centraron en un estudio ya publicado (Estudio de Rotterdam), el cual englobaba a 5.208

ancianos, de los cuales 399 tenían una determinación de sodio en plasma  $<135$  mmol/L, con una media de  $133 \pm 2$  mmol/L, lo que demostró una relación entre la hiponatremia y una mayor incidencia de caídas, fracturas óseas vertebrales y no vertebrales.

#### 4) IMC

El IMC también está asociada a la hiponatremia, además de a alguno de los factores descritos anteriormente. Respecto a la diferencia entre sexos, como hemos mencionado anteriormente las mujeres tienen mayor incidencia de manifestar hiponatremia posiblemente causada por factores relacionados con el menor IMC ya que en la maratón de Boston de 2002, tras el ajuste por el IMC, la duración de la carrera y otros factores, la diferencia entre sexos no fue estadísticamente significativa (Almond et al., 2005).

Un índice de masa corporal bajo también ha demostrado ser un factor de riesgo significativo, tal vez como resultado de la ingestión de cantidades más grandes de líquido en proporción con el tamaño y el agua corporal total (Almond et al., 2005).

#### 5) Experiencia

El desarrollo de hiponatremia también se ha correlacionado con la gestión del número de maratones, el ritmo de entrenamiento, y la duración de la carrera, según Hew et al. (2003). Este tipo de personas han corrido menos maratones (corredores menos experimentados) y tienen ritmos más lentos de entrenamiento y competición. Los tiempos de carrera más largos probablemente se correlacionen con un mayor consumo de agua y el aumento de las pérdidas de sodio. Por ejemplo, los participantes que desarrollaron hiponatremia en los maratones de los años 1998 y 1999 San Diego obtuvieron un tiempo promedio de llegada de 5 horas y 38 minutos, y muchos de estos individuos se les recomendó que bebieran tanto líquido como fuera posible durante y después del evento (Davis et al., 2001).

#### 6) Medicamentos

Los medicamentos también pueden jugar un papel significativo en la hiponatremia que se manifiesta en los atletas de resistencia, pero esto no está demostrado totalmente. El uso de fármacos anti-inflamatorio no esteroideos (NSAID o AINE) es común entre los corredores de maratón, que lo utiliza entre el 50% al 60% de hombres y mujeres,

respectivamente, según Hew et al. (2003). Los antiinflamatorios no esteroideos inhiben la síntesis de prostaglandinas renales que se requieren para mantener la perfusión renal durante el ejercicio. Se ha demostrado que estos fármacos disminuyen la filtración glomerular durante el ejercicio, alteran la función renal en los corredores que son capaces de completar una maratón de 42 kilómetros, y aumenta la incidencia de hiponatremia en triatletas especializados en Ironman (Reid et al., 2004).

Aun así, Almond et al. (2005), no fueron capaces de asociar el uso de AINE con el desarrollo de la hiponatremia en los corredores que fueron estudiados en el Boston Marathon 2002.

**TABLE 3. Study Results for NSAID Versus Non-NSAID Users**

	No NSAID (SD)	NSAID (SD)	T Value	P
Weight loss (%)	2.67 (1.41)	2.03 (2.38)	0.97	0.34
Race time (h:min)	11:25 (2:08)	11:39 (2:11)	-0.31	0.76
Postrun [Cr]	94.88 (14.49)	99.38 (26.75)	-0.62	0.54
Postrun [Ur]	8.94 (2.01)	9.95 (2.46)	-1.37	0.18
Postrun [CK]	3646.80 (3031.72)	7005.18 (7054.76)	-1.80	0.09
Postrun [Na <sup>+</sup> ]	141.16 (2.98)	140.31 (3.96)	0.73	0.47
Change [Na <sup>+</sup> ]	0.12 (2.85)	-0.69 (3.67)	0.75	0.46
Age	38.8 (9.93)	40.6 (7.67)	-0.66	0.51
Volume drank	5.08 (2.20)	6.13 (1.5)	-1.81	0.08
Weight loss (kg)	1.96 (1.08)	1.42 (1.71)	1.13	0.27

Resultados del estudio que relaciona los deportistas que usan NSAID y los que no (Scotney y Reid, 2015).

Sin embargo, un estudio realizado por Wharam et al. (2006), en 330 triatletas, demostró una asociación significativa del uso de AINE y el desarrollo de hiponatremia. En este estudio, la incidencia de uso de AINE en los atletas era 30%, y su uso estaba altamente asociado con el desarrollo de la hiponatremia, así como los niveles superiores de potasio y creatinina en plasma.

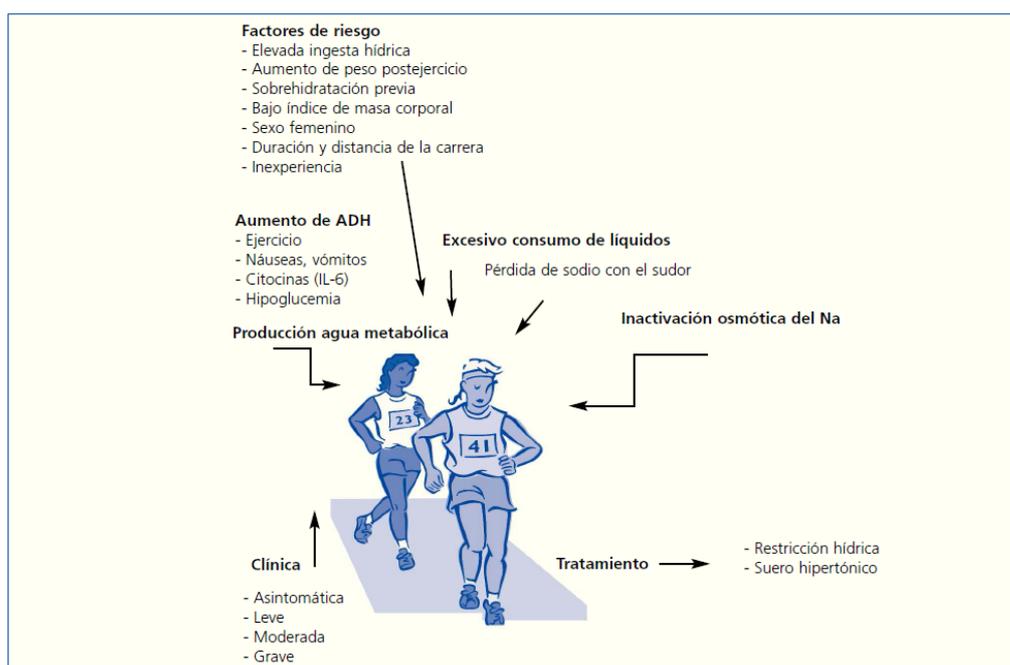
Scotney y Reid (2015), llevaron a cabo un estudio en el cual uno de sus objetivos consistía en determinar la prevalencia del uso de AINE y sus efectos sobre la función renal y la hidratación. Dieciséis sujetos (39%) indicaron el uso de AINE, diclofenaco, siendo la opción más popular (11 sujetos que tomaron diclofenaco solo o en combinación con otros AINE). No hubo diferencia significativa entre los usuarios de AINE y no usuarios en la concentración de [Cr] o [Ur] después de la carrera, ni en factores relacionados con la edad, composición bioquímica...etc. Los usuarios de AINE registraron una concentración de [CK] superior a los no usuarios, pero sin ningún tipo de significación estadística, aunque sí la hubiera podido alcanzar si hubieran participado mayor número de deportistas. Además, la concentración de sodio no fue significativamente menor en las personas que lo ingirieron y las que no (Scotney y Reid, 2015).

Por lo tanto, el papel de estos fármacos en el desarrollo de EAH sigue siendo controvertido, pero en algunos corredores probablemente es un factor de potenciación. Si no se conocen otros medicamentos, como los inhibidores selectivos de la recaptación de serotonina o diuréticos tiazídicos, que están asociados con la hiponatremia en los no atletas, pueden potenciar el desarrollo de la EAH. Es importante reconocer que estos factores de riesgo no sugieren la causalidad o incluso una asociación independiente con el desarrollo de hiponatremia. Sin embargo, sí ofrecen pistas importantes para la patogénesis de la enfermedad. (Rosner y Kirven, 2007)

## 7. Otros factores

Aunque como se ha comentado unos de los factores más importantes en el desarrollo de la hiponatremia es la ingesta excesiva de fluidos hipotónicos también es posible una alteración en la secreción de la hormona antidiurética (ADH) (Hew-Butler, 2010) originada por el ejercicio intenso, la hipoglucemia, el dolor, el estrés, las náuseas, y otras alteraciones gastrointestinales (Romano y de Briñas, 2011).

También se ha indicado un posible papel de diferentes citoquinas proinflamatorias como la IL-6. De esta forma la secreción de IL-6 por lesión muscular durante un ejercicio intenso y duradero puede originar un incremento en la secreción de ADH. Así esta mayor concentración de IL-6 se ha demostrado en corredores de maratón junto con otras modificaciones hormonales como de cortisol y prolactina (Siegel, 2006).



#### 4.5 PREVENCIÓN

La estrategia principal para prevenir la hiponatremia durante el ejercicio según Kolata (2005), consiste en no abusar de la bebida durante una carrera, ya que reduce el riesgo de deshidratación y el exceso de hidratación.

Otra estrategia para reducir la incidencia de la hiponatremia durante los eventos de resistencia es reducir la disponibilidad de los fluidos a lo largo de las rutas de carreras aunque esto no parece una estrategia muy correcta.

Los atletas que ingieren agua basándose en la sensación de sed o la sustitución total de las pérdidas de peso, durante una carrera, según Nagashima et al. (2001), pueden atenuar la reducción de la concentración de sodio en plasma, pero no impedirá el desarrollo de hiponatremia si el abuso de la bebida sigue.

Esta autora también afirma que el seguimiento del cambio de peso corporal es una estrategia utilizada comúnmente para evitar la sobrehidratación. En presencia de aumento de peso durante las carreras, el fluido y la ingesta de sodio debe ser reducida hasta que el peso vuelve a entre 2% y 4% de pérdida de peso corporal desde el nivel de la base de referencia.

Según Rosner y Kirven (2007), la ingestión de sodio durante el ejercicio puede ser útil para el rendimiento manteniendo siempre el volumen de plasma o mediante la atenuación de reducción de sodio en la sangre. Sin embargo, hasta ahora, la influencia de la ingesta de sodio durante una carrera o el rendimiento no parece concluyente.

Vrijens y Rehrer (1999), mostraron una mejoría en el tiempo de la carrera hasta el agotamiento al añadir pequeñas gotas de sodio (61 mmol) en el agua. Twerenbold et al. (2003), durante una prueba de tiempo de cuatro horas, la ingesta de sodio (25 mmol) dio lugar a una menor disminución en la concentración plasmática de sodio respecto a controles.

#### 4.6 SINTOMAS

Los signos y síntomas de la EAH incluyen náuseas, vómitos, confusión, dolor de cabeza, convulsiones, lo que puede ir desarrollándose de manera progresiva. Además, pueden aparecer junto con las condiciones clínicas graves, que pueden ser edema cerebral, compresión del tronco cerebral, edema pulmonar, insuficiencia respiratoria e incluso la muerte. Estos síntomas de la EAH deben definirse cualitativamente en dos subgrupos: "leve" o "grave", diferenciado por la presencia o ausencia de manifestaciones neurológicas.

Aunque los primeros síntomas de la EAH pueden ser inespecíficos, la presencia de alteraciones mentales, coma, convulsiones o dificultad respiratoria normalmente implican encefalopatía hiponatremia asociada con el ejercicio (EEES) y debe ser reconocida rápidamente. Un interesante informe subraya la importancia de mantener un amplio diagnóstico diferencial al explorar a un sujeto, con alteración del estado mental, en un entorno en condiciones de altitud. A pesar de un diagnóstico inicial de mal de altura, después de una evaluación de diagnóstico exacto, los síntomas suelen estar relacionados con la hiponatremia hipotónica sintomática (Spano et al., 2014).

EAH sintomática en un atleta de resistencia se puede confundir con una profunda deshidratación, lo que exige la rehidratación intravenosa. La gravedad de EAH establece opciones de fluidos; las dos categorías (grave o leve) reflejan las diferentes opciones de tratamiento de fluidos intravenosos. Bennett et al. (2013), señalaron razonablemente que la deshidratación puede ser diagnosticada como EAH. Las guías de práctica de Wilderness Medical Society afirman que la administración de líquidos isotónicos podría ser "desastroso" en los atletas con EAH; podría empeorar la hiponatremia, y tener consecuencias potencialmente "devastadoras".

**Signos y síntomas de diagnóstico diferencial. (Urso et al., 2014)**

Signos y síntomas	EAH	Enfermedades por calor	AMS	HACE o HAPE
<b>Fatiga/debilidad</b>	+/-	+/-	+	+
<b>Aumento de la sed</b>	+/-	+	+/-	+/-
<b>Elevada temperatura</b>	+/-	+++	-	-
<b>Taquicardia</b>	+/-	+	+/-	+/-
<b>Vómitos/Náuseas</b>	+/-	+/-	+/-	+/-
<b>Dolor de cabeza/Mareos</b>	+/-	+/-	+++	+++
<b>Visión borrosa</b>	+/-	+/-	+/-	+/-
<b>Confusión/desorientación</b>	+/-	+/-	+/-	+/-
<b>Obnubilación</b>	+/-	+/-	+/-	+/-
<b>Incautación</b>	+/-	+/-	+/-	+/-
<b>Coma</b>	+/-	+/-	+/-	+/-
<b>Desórdenes respiratorios</b>	+/-	-	+/-	+/-
<b>Oliguria (24h)</b>	+/-	+	+/-	+/-

<b>EAH</b>	Ejercicio asociado a hiponatremia	<b>+/-</b>	Posible
<b>AMS</b>	Mal de altura (vértigo)	<b>+</b>	Probablemente
<b>HACE</b>	Probabilidad de edema cerebral	<b>-</b>	No presente
<b>HAPE</b>	Probabilidad de edema pulmonar	<b>+++</b>	Presente

#### 4.7 TRATAMIENTO

Durante la realización de las pruebas de resistencia es imprescindible la presencia de personal médico experimentado con el fin de medir las concentraciones séricas de sodio o plasma en cualquier atleta que pudiera manifestar síntomas relacionados con la hiponatremia.

En 2005, se desarrollaron recomendaciones específicas para el tratamiento de EAH (Bennet et al., 2013). El tratamiento específico recomendado depende de los síntomas que el atleta presente en el momento de la competición. La mayoría de las formas de hiponatremia leve, (suero [Na]  $130 \pm 135$  mmol/L) son asintomáticas y sólo pueden detectarse mediante pruebas de laboratorio. La mayoría de los atletas con EAH leve, únicamente requieren la observación y la restricción de fluido hasta que se produzca la diuresis espontánea (proceso de eliminación de la orina del riñón regulado hormonalmente que varía en función de las condiciones del individuo). (Rosner y Kirven, 2007).

Además, la rehidratación oral con solución salina es a menudo el método más seguro de aumentar el nivel de sodio sérico y mejorar los síntomas.

El tratamiento de la EAH grave (suero [Na]  $120$  mmol/L) con edema pulmonar o encefalopatía, requiere la administración de la solución salina hipertónica. Existen consideraciones importantes a la hora de decidir el tratamiento de EAH con solución salina hipertónica. En primer lugar está la suposición de que todas las EAH sean agudas. La segunda consideración es que el tratamiento de la EAH no provoca el síndrome de desmielinización osmótica (Hew-Butler, 2010).

Ayus et al. (2000), indicó que en un maratón se diagnosticaron siete casos de hiponatremia, de los cuales a seis fueron tratados con solución salina hipertónica. Los atletas que recibieron este tipo de solución salina se recuperaron por completo. La única atleta que no fue tratada con solución salina hipertónica murió.

No existe un consenso general sobre la cantidad de solución salina hipertónica en los atletas con EAH. Se ha sugerido que el personal médico experimentado puede dar 100 ml de 3% de solución salina durante 10 min.

Sin embargo quizás lo más importante es que todos los atletas que reciben terapia para EAH deben ser transportados a un centro médico en el que el sodio sérico se pueda supervisar de cerca (Ayus et al., 2000). El deportista debe continuar en el hospital con

el uso de la solución salina hipertónica para corregir la hiponatremia utilizando protocolos estándar (Rosner y Kirven, 2007). Sin embargo, en el tratamiento de EAH y otras formas de hiponatremia aguda, el papel de estos agentes no es claro. La vasopresina es una proteína que controla la regulación de la volemia, es decir, el volumen de sangre que circula en el organismo y la concentración de agua.

Los antagonistas no peptídicos de la vasopresina (AVP), llamados vaptanes (VRA), se desarrollaron con el fin de antagonizar tanto su efecto presor como anti-diurético. No se sabe si los VRA lograrán hacer el efecto necesario en el organismo como para proporcionar una corrección rápida de la hiponatremia grave sin el uso de la solución salina hipertónica. Como se detalla por Greenberg y Verbalis, (2006), los VRA y la solución salina hipertónica se podrían utilizar al inicio de la competición o de la realización de actividad física. Una vez que hay una pequeña modificación en el sodio, podría detenerse la ingestión de bebida hipertónica y la VRA seguiría facilitando diuresis de agua. Un temor del uso de los VRA en el tratamiento de EAH es que los atletas podrían tener una diuresis de agua extremadamente rápida, lo que implicaría riesgo de hipernatremia. Por lo tanto, estos agentes probablemente no sean útiles para la terapia de EAH. En general, en la terapia de EAH, solución salina hipertónica sigue siendo el tratamiento elegido.

Como conclusión se puede decir que la hiponatremia asociada con el ejercicio físico se relaciona con múltiples factores como la hiperhidratación, el IMC bajo, la duración de la carrera, la experiencia del deportista, el ser mujer, etc. Así los atletas, especialmente los más lentos, deben recibir el consejo de beber cuando sientan sed durante el ejercicio sin abusar pero sin ignorar la sed.

La hiponatremia puede llegar a ser una patología muy grave por lo que aquellos deportistas que manifiesten sus síntomas deben ser tratados con rapidez.

## 5. CONCLUSIONES

En los últimos años ha existido un incremento en el número de personas que se han centrado en la investigación de aspectos relacionados con la hiperhidratación, ya que anteriormente, únicamente existían estudios que vinculaban la actividad física con la deshidratación. Esto ha sido así, debido a que no eran tan conocidos los posibles riesgos que puede producir una ingesta excesiva de agua en nuestro organismo.

Se puede confirmar que la hiperhidratación y la hiponatremia se manifiestan en los deportes de resistencia y ultrarresistencia mayoritariamente.

Existen diferentes tipos de hiponatremia e hiperhidratación, pudiendo variar alrededor de un amplio rango de intensidades; provocando múltiples respuestas en nuestro organismo, desde leves hasta devastadoras que incluso puedan causar la muerte.

Se ven potenciadas por una serie de factores de riesgo, entre los cuales destaca la ingesta excesiva de fluidos, aunque también puede influir: el género, la edad, medicamentos, la experiencia...

Es importante detectar los síntomas que el deportista vaya manifestando, como mareos, vómitos, mal de altura, convulsiones e incluso el coma, para realizar un buen y rápido diagnóstico.

Podemos concluir esta revisión bibliográfica afirmando que es necesario realizar un mayor número de investigaciones de los efectos que una sobrehidratación puede causar en el organismo. Esto es así porque, tanto las pautas de hidratación, como el tratamiento, los síntomas, el tipo, la prevención... etc, son poco concretos. Actualmente, las características del deportista son lo que más hay que tener en cuenta a la hora de evaluar cualquier aspecto relacionado con la sobrehidratación y con la hiponatremia, pero es necesario estandarizar más todo lo anteriormente mencionado.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Adrogue, H. J. (2005). Consequences of inadequate management of hyponatremia. *American journal of nephrology*, 25(3), 240-249.
- Almond, C. S., Fortescue, E. B., Shin, A. Y., Mannix, R., & Greenes, D. S. (2003). Risk factors for hyponatremia among runners in the Boston Marathon. *Academic Emergency Medicine*, 10(5), 534.
- Almond, C. S., Shin, A. Y., Fortescue, E. B., Mannix, R. C., Wypij, D., Binstadt, B. A., ... & Greenes, D. S. (2005). Hyponatremia among runners in the Boston Marathon. *New England Journal of Medicine*, 352(15), 1550-1556.

- Armstrong, L. E., Maresh, C. M., Gabaree, C. V., Hoffman, J. R., Kavouras, S. A., Kenefick, R. W., ... & Ahlquist, L. E. (1997). Thermal and circulatory responses during exercise: effects of hypohydration, dehydration, and water intake. *Journal of Applied Physiology*, 82(6), 2028-2035.
- Ayus, J. C., Negri, A. L., Kalantar-Zadeh, K., & Moritz, M. L. (2012). Is chronic hyponatremia a novel risk factor for hip fracture in the elderly?. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 27(10), 3725-3731.
- Ayus, J. C., Varon, J., & Arieff, A. I. (2000). Hyponatremia, cerebral edema, and noncardiogenic pulmonary edema in marathon runners. *Annals of internal medicine*, 132(9), 711-714.
- Baker, J., Cotter, J. D., Gerrard, D. F., Bell, M. L., & Walker, R. J. (2005). Effects of indomethacin and celecoxib on renal function in athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 37(5), 712-7.
- Bardis, C. N., Kavouras, S. A., Arnaoutis, G., Panagiotakos, D. B., & Sidossis, L. S. (2013). Mild dehydration and cycling performance during 5-kilometer hill climbing. *Journal of Athletic Training*, 48(6), 741-747.
- Bennett, B. L., Hew-Butler, T., Hoffman, M. D., Rogers, I. R., & Rosner, M. H. (2013). Wilderness Medical Society practice guidelines for treatment of exercise-associated hyponatremia. *Wilderness & environmental medicine*, 24(3), 228-240.
- Bennett, B. L., Hew-Butler, T., Hoffman, M. D., Rogers, I. R., & Rosner, M. H. (2014). Wilderness Medical Society practice guidelines for treatment of exercise-associated hyponatremia: 2014 update. *Wilderness & Environmental Medicine*, 25(4), S30-S42.
- Benton, D., Braun, H., Cobo, J. C., Edmonds, C., Elmadfa, I., El-Sharkawy, A., ... & Kenney, W. L. (2015). Executive summary and conclusions from the European Hydration Institute expert conference on human hydration, health, and performance. *Nutrition Reviews*, 73(2), 148-150.
- Burguera, V., Rodríguez-Palomares, J. R., Fernández-Codejón, O., Tenorio, M. T., del Rey, J. M., & Liaño, F. (2011). Epidemiología de la hiponatremia. *Nefrología*, 2(6).
- Casa, D. J., Stearns, R. L., Lopez, R. M., Ganio, M. S., McDermott, B. P., Walker Yeargin, S., ... & Maresh, C. M. (2010). Influence of hydration on physiological function and performance during trail running in the heat. *Journal of athletic training*, 45(2), 147-156.
- Chlíbková, D., Knechtle, B., Rosemann, T., Žáková, A., & Tomášková, I. (2014). The prevalence of exercise-associated hyponatremia in 24-hour ultra-mountains bikers, 24-hour ultra-runners and multi-stage ultra-mountains bikers in

- the Czech Republic. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 11(1), 1.
- Davis, D. P., Videen, J. S., Marino, A., Vilke, G. M., Dunford, J. V., Van Camp, S. P., & Maharam, L. G. (2001). Exercise-associated hyponatremia in marathon runners: a two-year experience. *The Journal of emergency medicine*, 21(1), 47-57.
  - De Oliveira, E. P., & Burini, R. C. (2014). Carbohydrate-dependent, exercise-induced gastrointestinal distress. *Nutrients*, 6(10), 4191-4199.
  - Garth, A. K., & Burke, L. M. (2013). What do athletes drink during competitive sporting activities?. *Sports Medicine*, 43(7), 539-564.
  - Greenberg, A., & Verbalis, J. G. (2006). Vasopressin receptor antagonists. *Kidney international*, 69(12), 2124-2130.
  - Grikinienė, J., Volbekas, V., & Stakišaitis, D. (2004). Gender differences of sodium metabolism and hyponatremia as an adverse drug effect. *Medicina (Kaunas)*, 40(10).
  - Harris, G., Reid, S., Sikaris, K., & McCrory, P. (2012). Hyponatremia is associated with higher NT-proBNP than normonatremia after prolonged exercise. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 22(6), 488-494.
  - Hew, T. D., Chorley, J. N., Cianca, J. C., & Divine, J. G. (2003). The incidence, risk factors, and clinical manifestations of hyponatremia in marathon runners. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 13(1), 41-47.
  - Hew-Butler, T. (2010). Arginine vasopressin, fluid balance and exercise. *Sports Medicine*, 40(6), 459-479.
  - Hoffman, M. D., Hew-Butler, T., & Stuempfle, K. J. (2013). Exercise-associated hyponatremia and hydration status in 161-km ultramarathoners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(4), 784-791.
  - Iglesias Rosado, C., Villarino Marín, A. L., Martínez, J. A., Cabrerizo, L., Gargallo, M., Lorenzo, H., ... & Russolillo, J. (2011). Importancia del agua en la hidratación de la población española: documento FESNAD 2010. *Nutrición Hospitalaria*, 26(1), 27-36.
  - Jeukendrup, A. E. (2011) Nutrition for endurance sports: marathon, triathlon, and road cycling. *Journal of Sports Science*. 29 (1), 91-99.
  - Kenefick, R. W., & Cheuvront, S. N. (2012). Hydration for recreational sport and physical activity. *Nutrition Reviews*, 70(2), S137-S142.
  - Kim, M. K., & Park, J. H. (2009). Conference on "Multidisciplinary approaches to nutritional problems". Symposium on "Nutrition and health". Cruciferous

- vegetable intake and the risk of human cancer: epidemiological evidence. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 68(1), 103-110.
- Kolata, G. I. N. A., & Maharam, L. G. (2005). Marathoners warned about too much water. *New York Times October*, 20.
  - Kovacs, M. S. (2006). Hydration and temperature in tennis—a practical review. *Journal of Sports Science and Medicine*, 5, 1-9.
  - Latzka, W. A., Sawka, M. N., Montain, S. J., Skrinar, G. S., Fielding, R. A., Matott, R. P., & Pandolf, K. B. (1998). Hyperhydration: tolerance and cardiovascular effects during uncompensable exercise-heat stress. *Journal of Applied Physiology*, 84(6), 1858-1864.
  - Lebus, D. K., Casazza, G. A., Hoffman, M. D., & Van Loan, M. D. (2010). Can changes in body mass and total body water accurately predict hyponatremia after a 161-km running race? *Clinical Journal of Sport Medicine*, 20(3), 193-199.
  - Logan-Sprenger, H. M., Heigenhauser, G. J., Jones, G. L., & Spriet, L. L. (2015). The effect of dehydration on muscle metabolism and time trial performance during prolonged cycling in males. *Physiological Reports*, 3(8), e12483.
  - Lopez, R. M., Casa, D. J., McDermott, B. P., Ganio, M. S., Armstrong, L. E., & Maresh, C. M. (2009). Does creatine supplementation hinder exercise heat tolerance or hydration status? A systematic review with meta-analyses. *Journal of Athletic Training*, 44(2), 215-223.
  - Marcos, A., Manonelles, P., Palacios, N., Wärnberg, J., Casajús, J. A., Pérez, M. & Ortega, E. (2014). Physical activity, hydration and health. *Nutrición Hospitalaria*, 29(6), 1224-1239.
  - Martínez Álvarez, J. R., Villarino Marín, A. L., Polanco Allué, I., Iglesias Rosado, C., Gil Gregorio, P., Ramos Cordero, P., ... & Legido Arce, J. C. (2008). Recomendaciones de bebida e hidratación para la población española. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 28, 3-19.
  - Mataix Verdú, J. (2009). *Fisiología de la hidratación y nutrición hídrica*. Monografía editada con la colaboración de Coca-Cola España. Madrid.
  - Maughan, R. J. (2012). Investigating the associations between hydration and exercise performance: methodology and limitations. *Nutrition Reviews*, 70(2), S128-S131.
  - Maughan, R. J., & Shirreffs, S. M. (2010). Development of hydration strategies to optimize performance for athletes in high-intensity sports and in sports with repeated intense efforts. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(2), 59-69.

- Milionis, H. J., Liamis, G. L., & Elisaf, M. S. (2002). The hyponatremic patient: a systematic approach to laboratory diagnosis. *Canadian Medical Association Journal*, 166(8), 1056-1062.
- Montain, S. J., Chevront, S. N., & Sawka, M. N. (2006). Exercise associated hyponatraemia: quantitative analysis to understand the aetiology. *British journal of sports medicine*, 40(2), 98-105.
- Moritz, M. L., & Ayus, J. C. (2003). The pathophysiology and treatment of hyponatraemic encephalopathy: an update. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 18(12), 2486-2491.
- Murray, B. (2007). Hydration and physical performance. *Journal of the American College of Nutrition*, 26(5), 542S-548S.
- Nagashima, K., Wu, J., Kavouras, S. A., & Mack, G. W. (2001). Increased renal tubular sodium reabsorption during exercise-induced hypervolemia in humans. *Journal of Applied Physiology*, 91(3), 1229-1236.
- Noakes, T. D. (2011). Hidratación en el Maratón: Utilizar la Sed como Indicador de un Aporte Seguro de Fluidos. *PubliCE Premium*.
- Noakes, T. D., Goodwin, N. E. I. L., Rayner, B. L., Branken, T. R. E. V. O. R., & Taylor, R. K. (1985). Water intoxication: a possible complication during endurance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(3), 370-375.
- Noakes, T. D., Sharwood, K., Speedy, D., Hew, T., Reid, S., Dugas, J., ... & Weschler, L. (2005). Three independent biological mechanisms cause exercise-associated hyponatremia: evidence from 2,135 weighed competitive athletic performances. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(51), 18550-18555.
- O'Donnell, F. L. (2012). Army Medical Surveillance Activity. Update: Exertional hyponatremia, active component, US Armed Forces, 1999–2011. *Med. Surveill. Mon. Rep*, 19, 20-23.
- Otegui, A. U., Sanz, J. M. M., Sánchez, S. J., & Herms, J. Á. (2013). Protocolo de hidratación antes, durante después de la actividad físico-deportiva. *European Journal of Human Movement*, (31), 57-76.
- Page, A. J., Reid, S. A., Speedy, D. B., Mulligan, G. P., & Thompson, J. (2007). Exercise-associated hyponatremia, renal function, and nonsteroidal antiinflammatory drug use in an ultraendurance mountain run. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 17(1), 43-48.
- Palacios, N., Franco, L., Manonelles, P., Manuz, B. y Villegas, J.A. (2008). Consenso sobre bebidas para el deportista. Composición y pautas de reposición

- de líquidos. Documento de consenso de la Federación Española de Medicina del Deporte. *Archivos de Medicina del Deporte*, 15(126), 245-258.
- Reid, S. A., Speedy, D. B., Thompson, J. M., Noakes, T. D., Mulligan, G., Page, T., ... & Milne, C. (2004). Study of hematological and biochemical parameters in runners completing a standard marathon. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 14(6), 344-353.
  - Romano, N. P., & de Briñas, E. P. L. (2011). Otras causas de hiponatremia. *Nefrología*, 2(6), 6774.
  - Rose, S., & Peters-Futre, E. M. (2010). Ad libitum adjustments to fluid intake during cool environmental conditions maintain hydration status during a 3-day mountain bike race. *British journal of sports medicine*, 44(6), 430-436.
  - Rosner, M. H., & Kirven, J. (2007). Exercise-associated hyponatremia. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, 2(1), 151-161.
  - Rüst, C. A., Knechtle, B., Knechtle, P., & Rosemann, T. (2012). No case of exercise-associated hyponatraemia in top male ultra-endurance cyclists: the 'Swiss Cycling Marathon'. *European Journal of Applied Physiology*, 112(2), 689-697.
  - Schneider, M. B., & Benjamin, H. J. (2011). Sports drinks and energy drinks for children and adolescents: are they appropriate?. *Pediatrics*, 127(6), 1182-1189.
  - Scotney, B., & Reid, S. (2015). Body weight, serum sodium levels, and renal function in an ultra-distance mountain run. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 25(4), 341-346.
  - Severac, M., Orban, J. C., Leplatois, T., & Ichai, C. (2014). A near-fatal case of exercise-associated hyponatremia. *The American Journal of Emergency medicine*, 32(7), 813-e1.
  - Shapiro, D. S., Sonnenblick, M., Galperin, I., Melkonyan, L., & Munter, G. (2010). Severe hyponatraemia in elderly hospitalized patients: prevalence, aetiology and outcome. *Internal medicine journal*, 40(8), 574-580.
  - Siegel, A. J. (2006). Exercise-associated hyponatremia: role of cytokines. *The American journal of medicine*, 119(7), S74-S78.
  - Siegel, A. J., Verbalis, J. G., Clement, S., Mendelson, J. H., Mello, N. K., Adner, M., ... & Lewandowski, K. B. (2007). Hyponatremia in marathon runners due to inappropriate arginine vasopressin secretion. *The American Journal of Medicine*, 120(5), 461-e11.
  - Spano, S. J., Reagle, Z., & Evans, T. (2014). Symptomatic hypotonic hyponatremia presenting at high altitude. *Wilderness & environmental medicine*, 25(1), 69-74.

- Speedy, D. B., Noakes, T. D., Rogers, I. R., Hellemans, I., Kimber, N. E., Boswell, D. R., ... & Kuttner, J. A. (2000). A prospective study of exercise-associated hyponatremia in two ultradistance triathletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 10(2), 136-141.
- Stachenfeld, N. S. (2014). The interrelationship of research in the laboratory and the field to assess hydration status and determine mechanisms involved in water regulation during physical activity. *Sports Medicine*, 44(1), 97-104.
- Swart, R. M., Hoorn, E. J., Betjes, M. G., & Zietse, R. (2010). Hyponatremia and inflammation: the emerging role of interleukin-6 in osmoregulation. *Nephron Physiology*, 118(2), 45-51.
- Twerenbold, R., Knechtle, B., Kakebeeke, T. H., Eser, P., Müller, G., Von Arx, P., & Knecht, H. (2003). Effects of different sodium concentrations in replacement fluids during prolonged exercise in women. *British journal of sports medicine*, 37(4), 300-303.
- Urdampilleta, A., & Gómez-Zorita, S. (2014). De la deshidratación a la hiperhidratación; bebidas isotónicas y diuréticas y ayudas hiperhidrantes en el deporte. *Nutrición Hospitalaria*, 29(1), 21-25.
- Urso, C., Brucculeri, S., & Caimi, G. (2014). Physiopathological, Epidemiological, Clinical and Therapeutic Aspects of Exercise-Associated Hyponatremia. *Journal of Clinical Medicine*, 3(4), 1258-1275.
- Vrijens, D. M. J., & Rehrer, N. J. (1999). Sodium-free fluid ingestion decreases plasma sodium during exercise in the heat. *Journal of Applied Physiology*, 86(6), 1847-1851.
- Wharam, P. C., Speedy, D. B., Noakes, T. D., Thompson, J. M., Reid, S. A., & Holtzhausen, L. M. (2006). NSAID use increases the risk of developing hyponatremia during an Ironman triathlon. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(4), 618-622.