

Regulación del equilibrio hídrico



Repartido armado para el curso de Fisiología con
Chat-gpt, Phind y Napkin

Revisado y modificado por Rodolfo Ungerfeld

2025

1. Introducción

El equilibrio hídrico constituye uno de los sistemas fisiológicos más importantes para la supervivencia de los mamíferos. Este delicado equilibrio entre la ganancia y la pérdida de agua es fundamental para mantener las funciones celulares normales y garantizar la homeostasis del organismo.

2. Equilibrio hídrico en el organismo

2.1. Ingesta y Absorción de Agua

El ingreso de agua ocurre principalmente a través de:

- Consumo directo de agua
- Contenido hídrico de los alimentos
- Agua metabólica generada en procesos celulares
- Catabolismo de nutrientes

La absorción se realiza principalmente en el intestino delgado mediante transporte activo y pasivo

2.2. Distribución del agua corporal

El agua en el cuerpo de un mamífero se distribuye principalmente en dos grandes compartimentos: el intracelular (aproximadamente las dos terceras partes del total) y el extracelular, que constituye el tercio restante). El compartimento extracelular se divide a su vez en el líquido intersticial (el que rodea a las células, alrededor del 75 % y el plasma sanguíneo (la parte líquida de la sangre, que representa el 25 % restante del agua extracelular).

Compartimento intracelular (60%)

- Contiene la mayor parte del agua corporal
- Se encuentra dentro de las células
- Es esencial para los procesos metabólicos celulares

Compartimento extracelular (40%): Es el agua que se encuentra fuera de las células.

Se divide en:

- Plasma sanguíneo: contiene aproximadamente el 25% del agua extracelular
 - ⇒ Actúa como medio de transporte
 - ⇒ Mantiene la presión osmótica necesaria
 - ⇒ Transporta hormonas y electrolitos
- Líquido Intersticial: Contiene aproximadamente el 75% del agua extracelular
 - ⇒ Baña las células
 - ⇒ Actúa como reservorio de agua
 - ⇒ Participa en el intercambio de nutrientes y desechos

3. Detección de la disminución en la cantidad de agua y respuesta hipotalámica

El hipotálamo actúa como el centro integrador que controla el equilibrio hídrico. Las neuronas osmorreceptoras del hipotálamo contienen receptores especiales, TRPV1 y TRPV4, capaces de detectar incluso pequeños cambios en la concentración de solutos del plasma sanguíneo. Estos receptores son tan sensibles que pueden detectar cambios de tan solo 1-2 % en la osmolaridad, lo que permite una respuesta rápida y precisa ante cualquier alteración del equilibrio hídrico. Cuando la concentración de solutos aumenta (lo que implica una menor cantidad relativa de agua), estas neuronas envían señales eléctricas que activan una cascada de respuestas fisiológicas.

Simultáneamente, los barorreceptores ubicados en las paredes de las arterias carótidas y aórticas están constantemente monitoreando los cambios en la presión arterial y en el volumen sanguíneo. Estos receptores son especialmente importantes en situaciones de estrés hídrico, ya que proporcionan información crucial sobre el volumen circulante. Sus señales viajan rápidamente al hipotálamo y al bulbo raquídeo, donde se integran con otras señales para coordinar una respuesta adecuada.

En el riñón, los receptores localizados en el aparato yuxtaglomerular actúan como sensores especializados del volumen del fluido extracelular. Estos receptores no solo estiman el volumen, sino que también influyen en la liberación de renina, lo que desencadena la activación del sistema renina-angiotensina-aldosterona. Esta integración de señales permite una regulación precisa y coordinada del equilibrio hídrico.

Una de las respuestas más importantes es la síntesis y la liberación de la hormona antidiurética (ADH). Esta hormona es producida en los núcleos supraóptico y paraventricular del hipotálamo, y transportada axonalmente hasta la hipófisis posterior, donde es almacenada hasta ser necesaria. Cuando se detecta una disminución del volumen plasmático o un aumento de la osmolaridad, la ADH es liberada al torrente sanguíneo.

Además de controlar la ADH, el hipotálamo también regula la sensación de sed a través del núcleo paraventricular. Cuando se detectan cambios en la osmolaridad sanguínea, se activan áreas específicas que estimulan el comportamiento de búsqueda de agua, lo cual es fundamental para el mantenimiento del equilibrio hídrico a largo plazo.

4. Ingreso de agua: sed

Los principales mecanismos fisiológicos de regulación de la sed son la detección de la osmolaridad plasmática y del volumen sanguíneo. Los osmorreceptores del hipotálamo detectan un aumento de la concentración de solutos en la sangre, lo que provoca la sed. Además, el sistema renina-angiotensina-aldosterona se activa ante

una disminución del volumen sanguíneo, lo que provoca la liberación de angiotensina II, que también estimula la sed. Ambos mecanismos desencadenan la ingesta de agua y la liberación de la hormona antidiurética (ADH), que reduce la pérdida de agua por los riñones.

Osmorreceptores y osmolaridad plasmática:

Las células especializadas del hipotálamo, llamadas osmorreceptores, monitorean la concentración de solutos en la sangre. Cuando la osmolaridad aumenta por deshidratación, estos receptores envían señales al centro de la sed del hipotálamo. Esto produce la sensación subjetiva de sed y estimula la búsqueda y consumo de agua.

Sistema renina-angiotensina-aldosterona:

La disminución del volumen o de la presión sanguínea (hipovolemia) estimula a los riñones a liberar la enzima renina. La renina inicia una cascada que produce angiotensina II, una hormona que actúa en el cerebro. La angiotensina II estimula el órgano subfornical, una parte del cerebro que carece de barrera hematoencefálica, lo que desencadena el deseo de beber.

Hormona antidiurética (ADH):

Tanto la deshidratación como la hipovolemia provocan que el hipotálamo libere ADH (vasopresina) a través de la hipófisis posterior. La ADH actúa sobre los riñones para aumentar la reabsorción de agua, lo que disminuye el volumen de orina y ayuda a retener líquidos.

Otros mecanismos:

Sensación de sequedad bucal: El hipotálamo también envía señales al sistema nervioso simpático para reducir la producción de saliva y hacerla más espesa, lo que contribuye a la sensación de boca seca y a la sed.

Señales anticipatorias: El cuerpo puede anticipar la necesidad de agua basándose en señales como los ritmos circadianos (sed antes de dormir), y señales de gusto en la boca, aunque estos mecanismos son menos comprendidos en humanos.

5. Regulación de las pérdidas de agua: control endócrino y sistema renina-angiotensina-aldosterona

La respuesta hormonal es el mecanismo principal de control del equilibrio hídrico. La hormona antidiurética (ADH) es producida en los núcleos supraóptico y paraventricular del hipotálamo y transportada por axones hasta la hipófisis posterior, donde se almacena hasta su liberación. Cuando se detecta un aumento de la osmolaridad sanguínea o una disminución del volumen plasmático, la ADH se libera al torrente sanguíneo. Una vez en circulación, actúa sobre los túbulos colectores renales estimulando la inserción de canales de agua (acuaporina-2) en la membrana apical de las células principales. En ausencia de ADH, el túbulo permanece impermeable al agua, lo que provoca la eliminación de orina diluida.

La aldosterona, producida en la corteza adrenal, desempeña un papel crucial en la regulación del equilibrio hídrico. Actúa en el túbulo cortical distal, donde regula la reabsorción de sodio. Aunque su acción principal se centra en los iones, influye indirectamente en la retención de agua, ya que el movimiento del agua sigue al de los solutos. La liberación de aldosterona se activa en respuesta a cambios en el volumen plasmático, variaciones en la presión arterial y la estimulación del sistema renina-angiotensina.

La angiotensina II es otro componente fundamental de este sistema. Formada a partir de angiotensinógeno por la acción de la renina, tiene efectos tanto vasoconstrictores como estimulantes de la sed. Además, potencia la liberación de ADH y estimula la

secreción de aldosterona, creando un sistema de control integrado que permite una regulación precisa del equilibrio hídrico.

6. Regulación de las pérdidas de agua: sistema renal

El riñón es el órgano efector principal en la regulación del equilibrio hídrico, y su función es compleja. Los glomérulos renales están diseñados para filtrar el plasma sanguíneo con gran eficiencia. La barrera glomerular, compuesta por tres capas especializadas (endotelio capilar, membrana basal glomerular y podocitos), permite el paso selectivo de agua y solutos mientras mantiene las proteínas plasmáticas en el torrente circulatorio. La tasa de filtración glomerular (TFG) se ajusta constantemente según las necesidades del organismo, siendo influenciada por:

- La presión arterial
- Los niveles de ADH
- La concentración de iones en el túbulo distal

Los túbulos renales desempeñan diferentes funciones según su ubicación y sus características. El túbulo proximal tiene una capacidad extraordinaria para reabsorber agua y solutos. Su superficie está cubierta por microvellosidades que aumentan significativamente el área de absorción, y contiene transportadores específicos para glucosa, aminoácidos y otros nutrientes. La reabsorción de agua se realiza pasivamente debido al movimiento de los solutos, impulsado por la diferencia en la osmolaridad generada.

El túbulo delgado descendente es notable por su alta permeabilidad al agua, lo que le permite reabsorber libremente agua en función del gradiente osmótico en la médula renal. Esta característica es crucial para la concentración final de la orina.

El túbulo grueso ascendente, particularmente su porción gruesa, es impermeable al agua, pero muy permeable a los iones. Esto permite el transporte activo de sodio, potasio y cloro, lo que genera gradientes osmóticos que resultarán fundamentales para la concentración urinaria.

Finalmente, el túbulo colector constituye el sitio de regulación final del equilibrio hídrico. Su permeabilidad al agua está completamente bajo el control de la ADH: cuando hay ADH presente, se insertan canales de agua (acuaporina-2) en la membrana apical de las células principales, lo que permite la reabsorción de agua; en su ausencia, el túbulo permanece impermeable al agua, lo que se traduce en una orina diluida.

7. Integración de la respuesta

La integración de estos mecanismos permite una regulación precisa del equilibrio hídrico. Por ejemplo, durante la deshidratación, la combinación de señales osmorreceptoras, barorreceptoras y volúmoreceptoras coordina la estimulación de la sed para aumentar la ingesta de agua, la liberación de ADH para conservar agua, la vasoconstricción para mantener la presión arterial y la concentración de la orina para minimizar las pérdidas. Los mecanismos de detección y respuesta hormonal en el control del equilibrio hídrico constituyen un sistema extraordinariamente sofisticado que permite al organismo mantener la homeostasis con precisión y eficiencia.