

Capítulo 3 **PARTE 2/3**

3.4 SITUACIONES QUE DETERMINAN CAMBIOS EN EL BALANCE DE AGUA

Bastará observar nuevamente la Fig. 2.1 para darse cuenta que hay una serie de causas que pueden determinar que el balance de agua de un individuo se vea, aunque sea transitoriamente, alterado. Habrá, en un momento dado, un balance positivo o negativo de agua que los mecanismos homeostáticos se encargarán de restablecer.

Veamos, a modo de ejemplo, tres casos sencillos, todos en personas sanas

- 1) Una persona que bebe, rápidamente, 1,5 litros de agua.
- 2) Un atleta que corre una carrera de media distancia y bebe agua al finalizar.
- 3) Una persona que se pierde en el desierto y no tiene agua para beber.

En cada caso, se hará un análisis detallado de los cambios que ocurren en los volúmenes de los compartimientos intra y extracelular. Otros ejemplos se puede encontrar en los problemas, al final de este capítulo.

1) Un hombre que bebe, rápidamente, 1,5 litros de agua

Supongamos que este hombre tiene 65 kg de peso, lo que hace que tenga (ver Cap. 1):

Agua Corporal total: $65 \text{ kg} \cdot 0,6 = 39 \text{ kg} = 39 \text{ litros}$

Agua EC: $65 \cdot 0,2 = 13 \text{ litros}$ Agua IC: $65 \cdot 0,4 = 26 \text{ litros}$

INDICE -- Parte 2	Pág
3.4 SITUACIONES QUE DETERMINAN CAMBIOS EN EL BALANCE DE AGUA	1
- Un hombre que bebe rápidamente 1,5 L de agua	1
- Una atleta que corre un carrera y bebe agua al finalizar	5
- Una persona que se pierde en el desierto y no tiene agua para beber	9
3.5 BALANCE DE SODIO EN EL HOMBRE.: ANALISIS DE LAS VIAS DE ENTRADA Y DE SALIDA	14
- Sodio de los alimentos	14
- Sodio del agua de bebida	15
- Distribución del sodio corporal	16
- Egresos de sodio	16
- Reabsorción y excreción de sodio por el riñón	17
3.6 SITUACIONES QUE DETERMINAN CAMBIOS EN EL BALANCE DE SODIO	19
- Una persona que come 200 g de queso llanero	20
- Una persona que toma furseimida, un potente diurético	23
- Una persona que recibe, por vía endovenosa rápida, 1,5 L de dextrosa al 5%	27

El agua que bebió se absorbe a nivel del intestino delgado, pasando la sangre y, rápidamente, a todo el espacio extracelular. Se puede aceptar que, en un primer momento, hay un AUMENTO del volumen EC.

El volumen EC, luego que bebió los 1,5 litros de agua, **de no haber movimientos entre el EC y el IC**, sería de:

$$\begin{aligned}\text{Volumen EC total} &= \text{volumen EC inicial} + \text{Agua bebida} \\ &= 13 \text{ L} + 1,5 \text{ L} = 14,5 \text{ L}\end{aligned}$$

Como la persona bebió agua sin solutos, se puede considerar que la MASA de solutos extracelulares se mantiene constante y, entonces, al agregar agua, la concentración OSMOLAR disminuye: hay una dilución del medio. Si la concentración osmolar normal es de 290 mOsm/ L, entonces la masa osmolar EC, ANTES de beber el agua, era de:

$$\begin{aligned}\text{MASA}_{EC} &= \text{volumen}_{EC} \cdot \text{concentración Osm}_{EC} \\ &= 13 \text{ L} \cdot 290 \text{ mosm/ L} = 3770 \text{ mOsm}\end{aligned}$$

Ahora, con esta misma masa osmolar, el volumen EC sería de 14.5 litros, por lo que :

$$\text{OSM}_{EC} = \text{Masa}_{EC} / \text{Volumen}_{EC} = 3770 \text{ mOsm} / 14,5 \text{ L} = 260 \text{ mOsm/L}$$

La osmolaridad EC, **SI TODA EI AGUA BEBIDA SE HUBIERA QUEDADO EN EI EC**, habría descendido de 290 mOsm/ L a 260 mOsm/L. Este descenso no llega realmente a ocurrir, ya a medida que desciende la osmolaridad EC aparece un movimiento de agua del EC hacia el IC. El agua fluirá por gradiente osmótico, y determinará que el volumen IC aumente y el volumen EC disminuya. Este FLUJO NETO de agua cesará cuando las osmolaridades IC y EC sean iguales, llegándose al equilibrio. En ese caso, se puede calcular la **concentración de equilibrio**, como se hizo con los recipientes del Cap. 2, considerando al EC y al IC como un solo compartimiento.

La MASA osmolar contenida en el IC es:

$$\text{MASA } IC = 290 \text{ mOsm/L} \cdot 26 \text{ L} = 7540 \text{ mOsm}$$

Entonces: $\text{MASA Osm total} = \text{Masa EC} + \text{Masa IC}$

$$= 3770 \text{ mOsm} + 7540 \text{ mOsm} = 11310 \text{ mOsm}$$

Por su parte, el AGUA CORPORAL TOTAL será

$\text{AGUA corporal total} = \text{volumen EC} + \text{volumen IC} + \text{agua bebida}$

$$= 13 \text{ L} + 26 \text{ L} + 1,5 \text{ L} = 40,5 \text{ litros}$$

Como, en el equilibrio, la osmolaridad tanto el EC como el IC es la misma

$$C_{eq} = 11310 \text{ mOsm} / 40,5 \text{ L} = 279 \text{ mOsm/L}$$

Eso quiere decir que la osmolaridad EC e IC que era de 290 mOsm/L antes de beber el agua, bajó a 279 mOsm/L cuando se absorbieron los 1,5 L bebidos. Esto ocurrió pasando por una etapa, rápida y transitoria, en que la osmolaridad EC fue menor que el valor de equilibrio. El volumen del EC, que había aumentado por la bebida, vuelve a descender, mientras el volumen IC aumenta.

- Cálculo del cambio en los volúmenes EC e IC

Si tomamos ahora el IC por separado, podemos suponer, por el momento, que las células, durante este proceso, no han ganado ni perdido SOLUTOS. Por consiguiente, tanto antes de hincharse, como después, tienen la misma MASA de osmoles. Entonces, como se hizo en antes

$$\text{MASA } IC \text{ inicial} = \text{MASA } IC \text{ final}$$

$$V_i \cdot C_i = V_f \cdot C_f \quad \text{de donde: } V_f = V_i \cdot C_i / C_f$$

$$V_f = \frac{26 \text{ L} \cdot 290 \text{ mOsm/L}}{279 \text{ mOsm/L}} = 27,02 \text{ litros}$$

Si el volumen final del IC es de 27,02 litros y el volumen inicial era de 26 litros, quiere decir que han pasado, del EC al IC, 1,02 litros. De este modo, de los 1,5 litros que el sujeto bebió, 0,408 litros se "quedaron" en el EC y 1,02 se "fueron" al IC.

Si se quiere hacer una prueba para ver si este cálculo está bien realizado, se puede calcular la osmolaridad EC a partir de la masa inicial y el volumen de equilibrio,

$$C_{eq} = \frac{3770 \text{ mOsm}}{13 \text{ L} + 0,480 \text{ L}} = 279 \text{ mOsm/L}$$

- **Respuesta renal.** Este valor de 278 mOsm/ L es la osmolaridad que, en el equilibrio, tendrán TODOS los compartimientos, ya sea el plasma, el intersticial y el intracelular. Es una situación de una osmolaridad MENOR a la que individuo tenía antes de beber el agua. De acuerdo a lo que hemos visto en 3.3, la respuesta renal será producir ORINAS HIPOTONICAS. De ese modo, se eliminará, proporcionalmente, más agua que solutos y los compartimientos volverán a su condición inicial.

Nótese que todo este cálculo se hizo a partir de un sujeto sano y normohidratado. Por supuesto que si el individuo estaba en una condición de déficit de agua, esta respuesta renal de eliminar el agua bebida, no ocurrirá.

- **Representación de acuerdo al esquema de Darrow-Yannet**

El esquema de Darrow-Yannet es una **manera didáctica** de mostrar los cambios que ocurren en los espacio corporales cuando hay factores que los modifican. Básicamente consta de dos ejes (Fig. 3.9): en el eje X se representa el volumen EC y el volumen IC. En el eje Y se representa la osmolaridad de los compartimientos. El área de cada cada de los rectángulos (osmolaridad por volumen), será la masa osmolar, presente en cada una de los compartimientos.

En el panel a) de la Fig. 3.8 está representada la condición de los espacios corporales del sujeto ANTES de beber el agua. En el

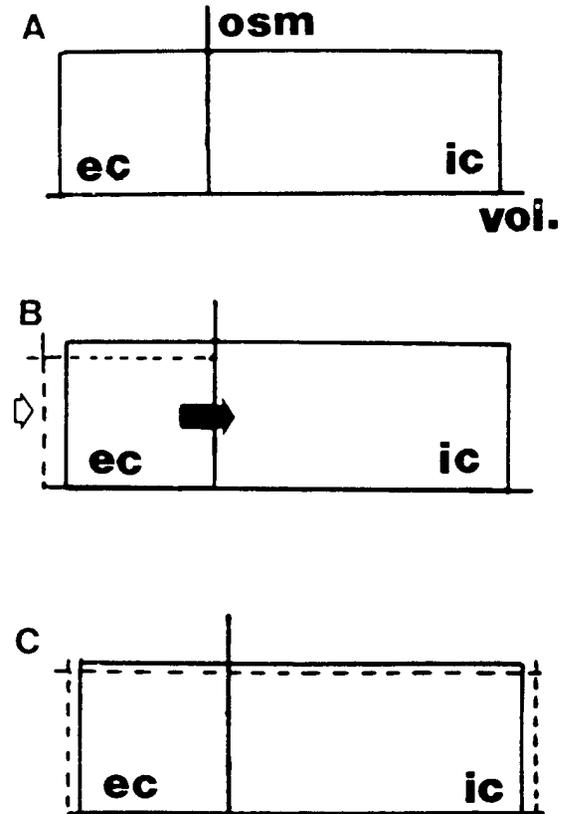


FIG 3.8 REPRESENTACION DE ACUERDO AL ESQUEMA DE DARROW-YANNET DE LOS COMPARTIMIENTOS CORPORALES DE UNA PERSONA QUE BEBE 1,5 LITROS DE AGUA. (La explicación en el texto)

panel b) se muestra cuando el EC se ha diluido: su volumen ha aumentado, su osmolaridad ha disminuido, hay un flujo de agua del EC al IC, pero las masas EC e IC se han mantenido constante. En el panel c), se ve que se llegó al equilibrio: las concentraciones son iguales, el volumen IC ha aumentado y el volumen EC es menor que en b), pero todavía mayor que en a). Una orina hipotónica determinará la salida de agua del EC, lo que determinará un aumento de su osmolaridad. Entonces, un volumen de agua pasará del IC al EC, la osmolaridad IC también aumentará y todo volverá a la condición que se mostró en a)

2) Un atleta que corre una carrera de media distancia y bebe agua al finalizar

Un atleta de 70 kg de peso interviene en la competencia de los 3000 metros y hace un tiempo de 15 minutos. Por el trabajo muscular y la temperatura ambiente, suda 1,2 litros, con una osmolaridad de 85 mOsm/ L. Cuando termina carrera tiene **sed** y bebe 2 litros de agua.

Para estudiar los cambios que ocurren en sus espacios corporales, lo primero es saber cuál es el volumen y la osmolaridad de sus compartimientos IC y EC al finalizar la carrera, sin todavía haber tomado el agua.

- Cálculo de la osmolaridad extracelular

Si pesaba antes de la carrera 70 kg, su volumen EC será:

$$V_{EC} = 70 \cdot 0,2 = 14 \text{ litros}$$

Si la osmolaridad plasmática y por lo tanto EC, era de 290 mOsm/L, la MASA osmolar extracelular será:

$$\text{MASA}_{EC} = 290 \text{ mOsm/ L} \cdot 14 \text{ L} = 4060 \text{ mOsm}$$

Sabemos que el corredor PERDIO agua y solutos por el sudor, pero también que debe haber perdido por orina, por respiración, por perspiración y por heces. Nadie puede decir que durante la carrera el atleta dejó de producir orina, pero supongamos que en el DIA hubiera tenido un volumen urinario de 1,2 litros. En los 15 minutos

MECANISMOS DE LA SED

La SENSACION de SED es por todos conocida y es la que nos induce a beber por necesidad. Tenemos sed principalmente cuando la osmolaridad de los fluidos corporales es mayor que la normal. Esta hiper-osmolaridad actúa sobre osmoreceptores ubicados en el hipotálamo. La sed también aparece cuando hay una disminución del volumen del líquido extracelular, aún cuando no haya cambios en la osmolaridad. A su vez, la sed puede ser transitoriamente calmada si se humedece la mucosa de la boca y faringe. Es interesante señalar que el mecanismo de la sed está íntimamente asociado al de la secreción de la hormona antidiurética, por lo que se puede afirmar que en todo individuo sano con sed hay una secreción aumentada de ADH.

que duró la carrera habrá producido 12,4 ml de orina. De los 800 ml diarios atribuibles a las pérdidas insensibles sólo habría eliminado 9,4 ml y el agua las heces, en ese corto período, es despreciable. Por eso, es posible, sin cometer grandes errores, decir que en este caso hubo un balance negativo de agua y solutos debido sólo al SUDOR.

Por lo tanto, como el sudor salió inicialmente del EC, se puede considerar que el VOLUMEN EC se ve reducido en 1.2 litros y que la MASA OSMOLAR EC estará reducida en:

$$\text{MASA}_{\text{EC perdida}} = \text{volumen}_{\text{sudor}} \cdot \text{Osmolaridad}_{\text{sudor}}$$

$$\text{MASA}_{\text{EC perdida}} = 1.2 \text{ litros} \cdot 85 \text{ mOsm/L} = 102 \text{ mOsm}$$

Entonces:

$$\begin{aligned} \text{MASA}_{\text{EC}} &= \text{Masa}_{\text{EC inicial}} - \text{Masa}_{\text{perdida}} \\ &= 4060 \text{ mOsm} - 102 \text{ mOsm} = 3958 \text{ mOsm} \end{aligned}$$

$$\text{El VOLUMEN EC será:} = 14 \text{ L} - 1,2 \text{ L} = 12,8 \text{ litros}$$

Ahora será fácil calcular la concentración osmolar del EC como:

$$\text{OSM} = \frac{\text{MASA}_{\text{EC}}}{\text{VOLUMEN}_{\text{EC}}} = \frac{3958 \text{ mOsm}}{12,8 \text{ L}} = 309 \text{ mOsm/L}$$

Como se ve, el atleta perdió una solución HIPOTONICA, como es el sudor y, en consecuencia, la osmolaridad de su EC aumentó de 290 mOsm/L a 309 mOsm/L.

- Cálculo de la osmolaridad de equilibrio

Como las células han mantenido su osmolaridad normal de 290 mOsm/L, habrá un flujo de agua desde el lugar donde el potencial químico de agua es mayor, las células, hacia donde es menor, el EC. Las células perderán volumen y el EC lo ganará.

Nuevamente podemos considerar, para el equilibrio, como si hubiera un solo compartimiento. La osmolaridad de equilibrio resulta de dividir la MASA osmolar EC e IC por el VOLUMEN EC:

$$\text{OSM}_{\text{eq}} = \frac{\text{Masa}_{\text{EC}} + \text{Masa}_{\text{IC}} - \text{Masa}_{\text{sudor}}}{\text{volumen}_{\text{EC}} + \text{volumen}_{\text{IC}} - \text{Volumen}_{\text{sudor}}}$$

$$\text{OSM}_{\text{eq}} = \frac{4060 \text{ mOsm} + 8120 \text{ mOsm} - 102 \text{ mOsm}}{14 \text{ L} + 28 \text{ L} - 1,2 \text{ L}} = 296 \text{ mOsm/L}$$

Esta división en pasos, en que primero aumenta la osmolaridad EC y luego se mueve agua, es sólo una manera de explicar por qué se llega a la concentración de equilibrio. En realidad, el aumento de osmolaridad y el flujo son simultáneos.

El resultado sería el mismo si se hiciera:

$$\text{OMS}_{\text{eq}} = \frac{(70 \cdot 0,6 \cdot 290) - 102}{70 \cdot 0,6 - 1,2} = \frac{12078 \text{ mOm}}{40,8 \text{ L}} = 296 \text{ mOm/L}$$

donde 70 es el peso del paciente, 60 el porcentaje del peso corporal ocupado por el agua corporal total (EC + IC), 290 la osmolaridad EC e IC antes de la carrera, 102 los osmoles perdidos, (70 · 0,6) el volumen de agua corporal total y 1,2 el volumen de agua perdido por sudor.

Por la osmolaridad de equilibrio de 296 mOsm/L sabemos que el atleta llegó a la meta con una osmolaridad aumentada y por lo tanto con SED (Ver Nota aparte: Mecanismos de la sed).

- Cálculo de los volúmenes EC e IC

El volumen de agua que sale de las células se puede calcular aceptando que, durante la carrera, las células no ganaron ni perdieron SOLUTOS y que, por lo tanto:

$$\text{MASA}_{\text{IC inicial}} = \text{MASA}_{\text{IC final}}$$

DARROW-YANNET Y LA REGULACION DE VOLUMEN CELULAR

El esquema de Darrow -Yannet y todos los cálculos que se hicieron acerca del volumen y composición de los compartimientos se basan en 2 principios: 1) las células se comportan como un osmómetro perfecto. Esto quiere decir que C.V = constante y si la osmolaridad EC disminuye a la mitad el volumen celular se va al doble; 2) una vez que, por un gradiente osmótico, las células se hinchan o encogen, permanecen en ese nuevo volumen mientras persista la hipo o hipertonicidad externa. Es esto es verdad hasta cierto punto, ya que no considero la capacidad de la célula, por mecanismos activos, de regular su volumen. Una célula tiene, en un momento dado, un cierto volumen y una osmolaridad que es igual adentro que afuera. Sin embargo, adentro, en el interior celular hay proteínas y otros aniones no difusibles. Por Donnan debería existir una tendencia a entrar agua y la célula debería aumentar de volumen. Esto no ocurre, como ya se señaló, por la existencia de un catión, el Na+, que permanece en el exterior celular y actúa como un mecanismo de "contra-Donnan". No interesa que el Na+ sea permeable ya que la bomba impide que la concentración intracelular de Na+ aumente y, por lo tanto, es COMO SI FUERA IMPERMEABLE. ¿Que ocurre si, bruscamente, se coloca a la célula en un medio no-isosmótico? En lo inmediato cambiará su volumen por entrada, o salida de agua, pero, más lentamente, TRATARA de recuperar su volumen. ¿Cómo? Si fue colocada en un medio hipotónico, hay una fase lenta con pérdida de K+, Cl- y agua debida, se piensa, a un aumento de la permeabilidad al K+. Si fue colocada en un medio hipertónico, al encogimiento inicial sigue una fase más lenta de recuperación del volumen por entrada de Na+, debido, se supone, a un aumento de la permeabilidad al Na+. Nada de esto es, evidentemente, tan claro y fácil de entender y los cambios en las permeabilidades son sólo algunos de los elementos ¿Que se quiso decir con que la célula TRATARA de recuperar su volumen? Pues simplemente, que deja de comportarse, en esa fase lenta, como un osmómetro perfecto ya que C.V = Cte. ya no se puede aplicar porque la célula ha ganado o perdido MASA.

$$C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f$$

de donde

$$V_f = \frac{290 \text{ mOsm/L} \cdot 28 \text{ L}}{296 \text{ mOsm/L}} = 27,432 \text{ L}$$

Como el V_{inicial} del IC era de 28 litros, hubo un pasaje de agua del IC al EC de $(28 \text{ L} - 27,432 \text{ L}) = 0,568 \text{ litros}$. Por lo tanto, el EC PERDIO 1,2 litros por el sudor pero GANO 0,567 litros que vinieron del IC. En consecuencia:

$$V_{\text{EC final}} = 14 \text{ L} - 1,2 \text{ L} + 0,567 \text{ L} = 13,367 \text{ L}$$

Como en el caso 1), podemos hacer la comprobación dividiendo la masa que quedó en el EC por este volumen. Nos debe dar un valor igual a la concentración de equilibrio.

$$\text{OSM}_{\text{eq}} = \frac{3958 \text{ mOsm}}{13,367 \text{ L}} = 296 \text{ mOsm/L}$$

Respuesta renal: Ante la pérdida de agua y solutos, pero con una osmolaridad EC e IC aumentada, el riñón iniciará mecanismos RAPIDOS destinados a conservar agua. Esto se logra con la producción de orinas HIPERTONICAS.

Representación de acuerdo al esquema de Darrow-Yannet

Inicialmente (Fig. 3.9 b) hay una disminución del área EC, representando una disminución de la masa EC, con disminución del volumen y aumento de la osmolaridad. Esta situación de desequilibrio de las osmolaridades EC e IC desaparece por efecto del flujo de agua del IC al EC. En el equilibrio (Fig. 3.9 c), el volumen EC e IC están disminuidos con respecto al valor inicial y la osmolaridad está aumentada

- Cálculo de los volúmenes y osmolaridades luego de beber el agua al final de la carrera.

Por la SED que tiene al finalizar la carrera, el corredor bebe 2 litros de agua. Esta es una actitud normal, pero veamos cómo se

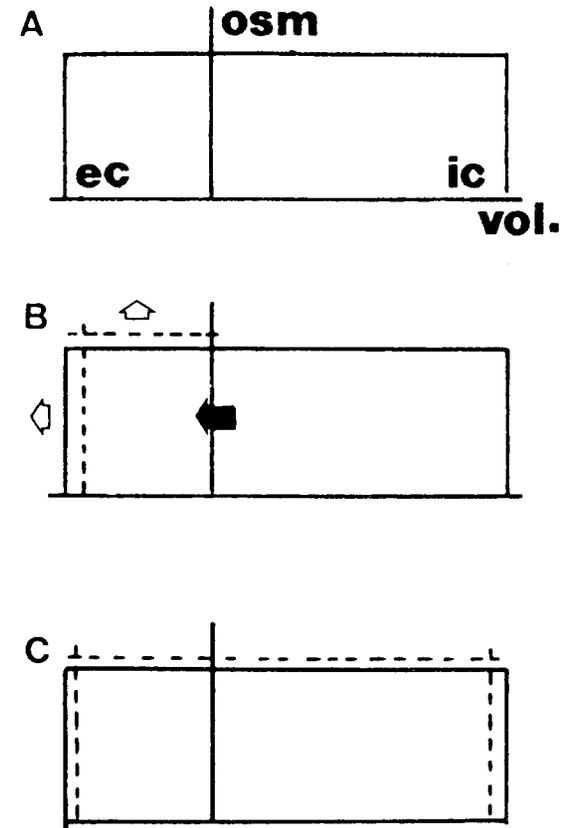


FIG 3.9 REPRESENTACION DE ACUERDO AL ESQUEMA DE DARROW-YANNET DE LOS COMPARTIMIENTOS CORPORALES DE UN ATLETA QUE CORRE 5000 METROS PLANOS. A) SITUACION INICIAL; B) PIERDE AGUA Y SOLUTOS POR EL SUDOR (FLECHAS CLARAS), PERO COMO EL SUDOR ES UNA SOLUCION HIPOTONICA, LA OSMOLARIDAD **ec** AUMENTA Y SU VOLUMEN DISMINUYE: HAY UN MOVIMIENTO DE AGUA DEL **ic** AL **ec** (FLECHA OSCURA); C) SITUACION DE EQUILIBRIO, CON OSMOLARIDADES AUMENTADAS Y VOLUMENES DISMINUIDOS.

modifican los valores del medio interno. Si tenía, como vimos, al finalizar la carrera un AGUA CORPORAL TOTAL de 40,8 litros, a ese volumen se le agregan ahora los 2 litros de bebida. Por lo tanto, **en el equilibrio**, la concentración osmolar es:

$$OSM_{eq} = \frac{12078 \text{ mOsm}}{40,8 \text{ L} + 2 \text{ L}} = 282 \text{ mOsm/L}$$

En conclusión, el atleta, que terminó su carrera algo deshidratado, al beber los 2 litros de agua recuperó su volumen perdido pero quedó con un plasma, un intersticio y un interior celular con una osmolaridad **menor** a la habitual. Como sabemos que el principal soluto del sudor es el Na⁺ podemos asegurar que el individuo ha quedado en una situación de discreta hiponatremia (bajo Na⁺ en sangre)

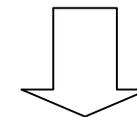
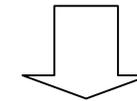
¿Debió nuestro atleta beber "Gatorade" o algunas de las bebidas similares en vez de agua? Vea la Nota Aparte: Las bebidas para los atletas: ¿verdad o propaganda? También podrá ver que hay muchos otros interesados en las hiponatremias. En la página siguiente, los buenos amigos Charly Brown y Linus tuvieron un problema parecido...¡ y trataron de solucionarlo !

- Respuesta renal

La respuesta renal será, inicialmente, PERDER agua, para restablecer la osmolaridad, produciendo orinas hipotónicas. luego, el riñón comenzará a reabsorber un poco más de Na⁺. El pequeño déficit de Na⁺ será corregido al ingerir sal con los alimentos ¿o con "Gatorade"? (ver la Nota Aparte: Las bebidas para los atletas: ¿verdad o propaganda?)

3) Una persona que se pierde en el desierto y no tiene agua para beber.

Esta es una situación que estamos habituados a ver en el cine y televisión: el héroe abandona su jeep dañado y emprende la marcha través del desierto. No tiene agua porque los bidones han sido perforados por las balas, y camina y camina bajo un sol



terrible para, luego de VARIOS DIAS de marcha, llegar al soñado oasis. Estamos en condiciones de calcular las modificaciones, en volumen y osmolaridad, que sufrieron los espacios corporales del sujeto tras, por ejemplo, 5 horas de marcha y decidir si hizo bien en emprender esa caminata. Supongamos que nuestro héroe pesaba, al comenzar a caminar, 80 kg y que la composición de sus fluidos corporales era, hasta ese momento, normal. Tiene, entonces:

$$V_{EC} = 80 \cdot 0,2 = 16 \text{ litros} \quad V_{IC} = 80 \cdot 0,4 = 32 \text{ litros}$$

$$\text{AGUA CORPORAL}_{\text{total}} = 48 \text{ litros}$$

$$\text{MASA osmolar}_{EC} = 80 \cdot 0,2 \cdot 290 = 4640 \text{ mOsm}$$

$$\text{MASA osmolar}_{IC} = 80 \cdot 0,4 \cdot 290 = 9280 \text{ mOsm}$$

$$\text{MASA osmolar}_{\text{total}} = 13920 \text{ mOsm}$$

Asignémosle, ahora, valores a los EGRESOS de agua y osmoles y aceptemos que los INGRESOS son sólo los del agua metabólica.

INGRESOS

$$\text{Agua metabólica} : (300 \text{ ml} / 24 \text{ horas}) \cdot 5 \text{ horas} = 62,5 \text{ ml}$$

EGRESOS

1) Orina: Como el sujeto tiene, al principio, una buena hidratación, supongamos que pierde, en los 5 horas de marcha, 200 ml de orina con una osmolaridad de 500 mOsm/L. Entonces:

$$V_{\text{orina}} = 200 \text{ ml} \quad \text{MASA}_{\text{orina}} = 500 \text{ mOsm/L} \cdot 0,2 \text{ L} = 100 \text{ mOsm}$$

2) Pérdida insensible. Suponiendo una pérdida habitual:

$$\text{Agua}_{\text{respiración}} + \text{Agua}_{\text{perspiración}} = 900 \text{ ml} / 24 \text{ horas} = 188 \text{ ml} / 5 \text{ horas}$$

3) Heces: $\text{AGUA}_{\text{heces}} = 200 \text{ ml} / 24 \text{ horas} = 42 \text{ ml} / 5 \text{ horas}$



Reproducido cde Schultz, C. 'Carlitos en Apuros'
BURULAND, S. A. de Editores, España, 1977

LA BEBIDA PARA LOS ATLETAS: ¿VERDAD O PROPAGANDA? El "Gatorade", la más conocida de estas bebida destinadas, según los anuncios, a reponer agua, sales y energía, tiene una concentración de Na⁺ de 45 mg/100 ml (≈ 20 mmol/L), K⁺ 10 mg/100 ml (≈ 2,5 mmol/L) y glucosa 6 g/100 ml (≈ 333 mmol/L). Si se observa nuevamente la Fig 3.8 se verá que, salvo por la glucosa, se parece al sudor de una persona no aclimatada que suda moderadamente. Como "sudor embotellado", ¿para qué servirá? Esta pensado para evitar la hiponatremia dilucional, la que ocurre en los atletas que sudan, pierden electrolitos y toman agua al finalizar la actividad, como nuestro atleta de la carrera de media distancia. ¿Cuánto "Gatorade" o bebida similar debió beber para compensar las perdidas de agua y electrolitos? Entre 1 y 2 litros. Bien, en esta caso la bebida es útil. ¿Es imprescindible? No, ya que el agua-agua es más económica y hay muchos alimentos que aportan tanto o más sales. ¿Corre peligro de deshidratación o hiponatremia un pesado jugador que corre de home a primera? Por supuesto que no y es allí donde está la propaganda y las ganancias

4) Sudor. Supongamos que no está aclimatado y que, de acuerdo a la Fig. 3.7, está sudando 1 litro por hora, con una concentración Na⁺ de 60 mEq/ L, que corresponde, aproximadamente, a una osmolaridad de 120 mosm/ L. Entonces:

$$V_{\text{sudor}} = 5 \text{ litros} / 5 \text{ horas}$$

$$\text{MASA}_{\text{sudor}} = 120 \text{ mOsm} / \text{L} \cdot 5 \text{ L} = 600 \text{ mOm}$$

En base a esos datos, construimos una tabla de BALANCE

	INGRESOS		EGRESOS	
	Agua (ml)	Osmoles (mOsm)	agua (mOsm)	Osmoles
Agua metabólica	63	0	Orina 200	100
			P. in 188	0
			Heces 42	0
			Sudor 5000	600
	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	63	0	5430	700

BALANCE DE SOLUTOS: - 700 mOsm

BALANCE DE AGUA: 63 - 5430 ml = - 5367 ml

MIEDO EN UN PUÑADO DE POLVO

Un buen y divertido relato sobre la supervivencia en el desierto se puede encontrar en la novela de John Ives "*Miedo en un puñado de polvo*" (Ed. Pomaire, Barcelona, 1979) Allí, el indio Calvin Duggani se venga de Sam Mackenzie y sus amigos dejándolos abandonados en el desierto de Arizona y, entonces...

Calculo del **cambio de volumen y de la osmolaridad EC e IC**

Nuevamente calcularemos los cambios en los volúmenes y composición de los compartimientos **suponiendo** que primero hubo una modificación en el EC y luego un cambio en el IC. Así, AL CABO DE 5 HORAS EN EL DESIERTO

$$V_{EC} = 16 \text{ L} - 5,367 \text{ L} = 10,633 \text{ L}$$

$$MASA_{EC} = 4640 \text{ mOsm} - 700 \text{ mOsm} = 3940 \text{ mOsm}$$

Por lo tanto, la osmolaridad en este compartimiento será:

$$OSM_{EC} = 3940 \text{ mOsm} / 10,633 \text{ L} = 370,5 \approx 371 \text{ mOsm} / \text{L}$$

Quede claro que este valor de osmolaridad extracelular **nunca** se alcanza ya que, al mismo tiempo, se mueve agua desde el IC al EC, pero da una idea del sentido y la magnitud del movimiento.

El volumen del IC disminuirá y su osmolaridad aumentará con respecto al valor original de 290 mosm/ L.

En el equilibrio, imaginando un solo compartimiento, la **OSMOLARIDAD DE EQUILIBRIO** será:

$$OSM_{eq} = \frac{MASA_{EC} + MASA_{IC} - MASA_{perdida}}{V_{EC} + V_{IC} - V_{perdido}}$$

$$OSM_{eq} = \frac{4640 \text{ mOsm} + 9280 \text{ mOsm} - 700 \text{ mOsm}}{16 \text{ L} + 32 \text{ L} - 5,367 \text{ L}} = 310 \text{ Osm/L}$$

En el equilibrio, los volúmenes serán:

VOLUMEN INTRACELULAR

$$MASA_{IC \text{ inicial}} = MASA_{IC \text{ final}} \quad \text{y} \quad V_i \cdot C_i = V_f \cdot C_f$$

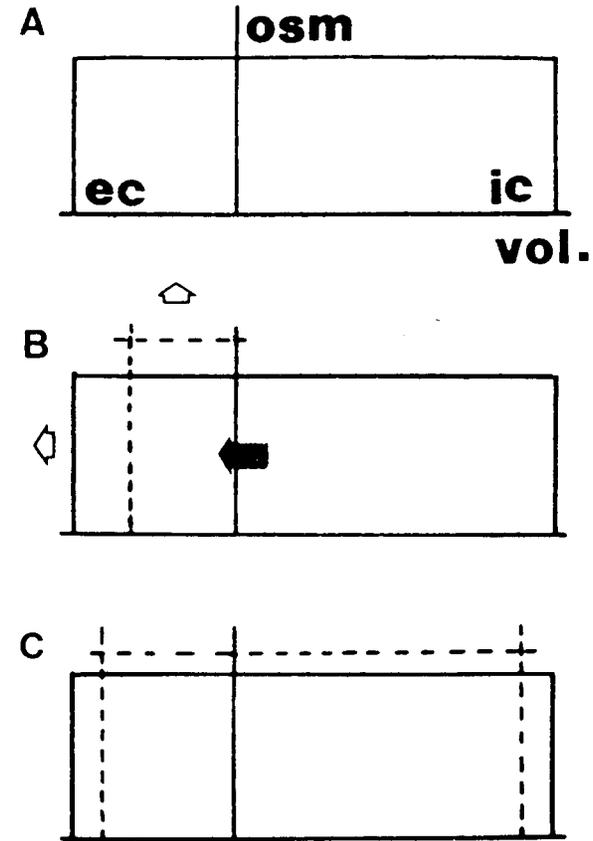


FIG 3.10 REPRESENTACION DE ACUERDO AL ESQUEMA DE DARROW-YANNET DE LOS COMPARTIMIENTOS CORPORALES DE UNA PERSONA QUE SE PIERDE, SIN AGUA, EN EL DESIERTO. A) SITUACION INICIAL; B) PIERDE AGUA Y SOLUTOS (FLECHAS CLARAS) LA OSMOLARIDAD **ec** AUMENTA, EL VOLUMEN **ec** DISMINUYE Y HAY MOVIMIENTO DE AGUA DEL **ic** AL **ec** (FLECHA OSCURA); C) SITUACION DE EQUILIBRIO, CON OSMOLARIDADES AUMENTADAS Y VOLUMENES DISMINUIDOS

EN ESTE MOMENTO USTDE DEBE RESOLVER EL PROBLEMA 2, CON SUS 2 PARTES, PLANTEADO AL FINAL DE CAPITULO

$$V_f = \frac{290 \text{ mOsm/L} \cdot 32 \text{ L}}{310 \text{ mOsm}} = 29,935 \text{ L}$$

Entonces, el intracelular ha perdido $(32 \text{ L} - 29,985 \text{ L}) = 2,064 \text{ L}$

VOLUMEN EXTRACELULAR

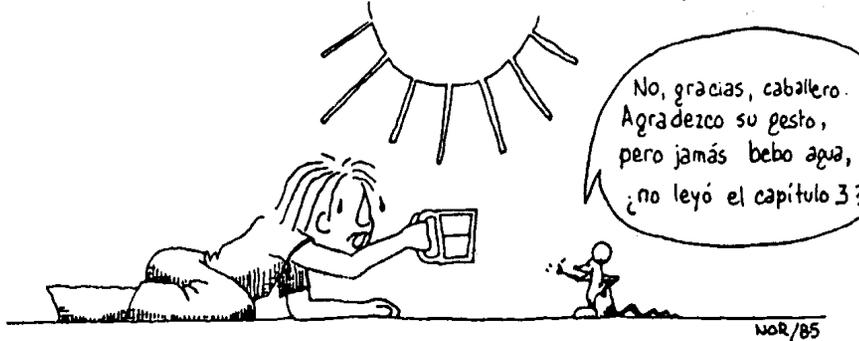
Estos 2,062 litros han pasado del IC al EC, por lo que éste tiene ahora:

$$V_{EC \text{ final}} = V_{EC \text{ inicial}} - V_{EC \text{ perdido}} + V_{\text{ganado del IC}}$$

$$V_{EC \text{ final}} = 16 \text{ L} - 5,392 \text{ L} + 2,064 \text{ L} = 12,672 \text{ L}$$

Por lo tanto, el EC ha tenido una **pérdida neta** de 3,328 litros.

- **Condiciones del héroe al cabo de 5 horas caminando en el desierto.** Nuestro hombre ha perdido más de 5 kg de peso, tiene una osmolaridad plasmática de 310 mosm/L, tiene sed y su deshidratación es del 10%. Esto último quiere decir que ha perdido un volumen de agua que es equivalente a, aproximadamente, el 10 % del agua corporal total (48 litros). Su condición es, obviamente, MALA y de seguir así, no llegará a ningún oasis. ¿Cuál ha sido su error? Claramente la mayor pérdida de agua la tuvo por sudor. ¿Por qué sudó? Pues porque caminó y al caminar hizo trabajo muscular y, además, recibió calor desde el exterior debido a la alta temperatura



LA VIDA DE DOS ANIMALES DEL DESIERTO, LA RATA CANGURO Y EL CAMELLO

La RATA CANGURO es un roedor que vive en el desierto de Arizona y que, como el *Psammomys*, JAMAS bebe agua, alimentándose incluso con semillas secas. Es un ejemplo claro de adaptación anatómica, fisiológica y de comportamiento a las condiciones extremas. Analizando su actividad diaria se podría concluir que la naturaleza es, en este caso, más "sabia" que los productores de Hollywood, lo que no es mucho decir. Este animalito produce orinas con una concentración que puede ser hasta 15 veces superior a la del plasma (en una sola gota elimina todos los solutos) y no suda. ¿De dónde saca el agua? Pues del agua metabólica, que le produce, como a todos, 0,556 ml de agua por cada gramo de carbohidratos, 0,396 ml de agua por cada gramo de proteínas y 1,07 ml de agua por cada gramo de grasa. Esa pequeña cantidad le alcanza para mantener su balance, siempre que no pierda agua por su peor enemigo: la pérdida insensible por respiración. ¿Cómo se las arregla, entonces? Durante el día prepara una cueva a unos 30 cm debajo de la superficie del desierto. Si arriba la temperatura del suelo puede llegar a pasar de los 80 °C, abajo no es superior a los 37 °C. Luego de fabricada la cueva, el animal cierra la entrada y espera. Su respiración, en ese ambiente cerrado, va haciendo que el aire se cargue de vapor de agua. Su pérdida de agua por la respiración disminuye muchísimo, no absorbe calor del medio y pierde muy poca agua por orina. Al llegar la noche sale de su cueva, la temperatura es baja y puede buscar sus semillas. El CAMELLO, por su parte, puede sobrevivir en el desierto gracias a cuatro condiciones: a un buen mecanismo de concentración renal, a su capacidad de vivir con volúmenes bajos de agua corporal y temperatura corporal alta y... sus jorobas. Si bien la osmolaridad máxima de la orina del camello es superior a la del hombre, está lejos de la osmolaridad de la orina del *Psammomys* o la rata canguro. No puede decirse, entonces, que el camello no pierde agua por orina. Lo que sí puede hacer es irse deshidratando, perdiendo incluso hasta el 25% de su peso corporal y su temperatura corporal ser superior a los 40 °C. En esas condiciones, un hombre hubiera muerto hace rato. Pero, ATENCION, en sus jorobas no hay agua, como mucha gente piensa. Lo que hay allí son 50 kg de grasa que, al irse consumiendo, proveen, como agua metabólica, 50 litros y también calorías. Así, un camello camina días y días, se va deshidratando y consumiendo sus jorobas hasta llegar al oasis. Allí, ¡CUIDADO!: puede llegar a beber 100 litros de agua en 5 minutos.

ambiente. ¿Qué tendría que haber hecho? Quedarse quieto y protegerse del sol. En nuestra aventura, quedarse a la sombra del jeep hasta la noche. Cuando la temperatura baje, y siempre que piense que no lo van a rescatar o supone que hay ayuda cerca, caminar. Sino, esperar ayuda en el lugar. ¿Qué pasa si camina toda la noche y no encuentra auxilio? Antes de que el sol caliente de nuevo tiene que cavar un hueco en la arena, lo suficientemente profundo como para no recibir luz solar, salvo en las horas del mediodía y ... esperar.

- Representación de acuerdo al esquema de Darrow - Yannet

La evolución de los espacios corporales del hombre perdido en el desierto puede ser seguida en los esquemas de la Fig. 3.10

- Respuesta renal

El hecho clave para entender la respuesta renal es la osmolaridad plasmática. Esta comienza a aumentar y a situarse por encima de 290 mOsm/ L desde el mismo momento en que la persona no recibe agua, está al sol y comienza a caminar y sudar. Desde ese momento, las orinas que se produzcan serán progresivamente más hipertónicas. De ese modo se intentará, por vía renal, ahorrar toda el agua el posible. Es cierto que también se perdió Na^+ , pero la lucha inmediata es contra la deshidratación.

3.5 BALANCE DE SODIO EN EL HOMBRE: ANALISIS DE LAS VIAS DE ENTRADA Y SALIDA

El hecho fundamental en el balance de Na^+ en el hombre es que, en la inmensa mayoría de los casos, la ingesta supera las necesidades básicas. El hombre come sal más por hábito que por necesidad y el balance se logra ajustando muy cuidadosamente las salidas, los egresos, de modo que sean iguales a los ingresos.

Ingresos de sodio:

1) **Sodio en los alimentos** : El aporte más importante de Na^+ que recibe el hombre es el que ingiere con los alimentos. ya sea que estos lo CONTENGAN o que la persona les AGREGUE NaCl como sal de cocina. Sobre esto último hay que distinguir la sal que

UN NAUFRAGO EN EL MAR

La situación de un naufrago en el mar es, curiosamente, muy parecida a la del hombre en el desierto que mostramos en las páginas anteriores. Solo, en la balsa, está al sol, suda, se deshidrata y no tiene agua para beber. Quizás su situación sea tan grave ya que no camina y puede bajar su temperatura corporal mojándose con agua de mar. La pregunta clásica es: ¿puede beber agua de mar? La respuesta es NO. La razón es que el agua de mar tiene una osmolaridad de alrededor de 1000 mOsm/L, por lo que al beber, por ejemplo 1 L, incorpora 1000 mOsm que debe ser eliminados junto con los miliosmoles que haya producido. Aun cuando no haya comido sabemos que su cuerpo produce unos 300 mOsm/día y que la concentración máxima es de 1200 mOsm/L y muy probablemente deba usar su agua corporal para eliminar los solutos, aumentando la deshidratación. Otra idea es beberse la orina. Si esta está al máximo de concentración, no puede haber ganancia de agua, que es lo que se necesita.



se agrega al cocinar los alimentos y la sal que se agrega, con el salero, en la mesa.

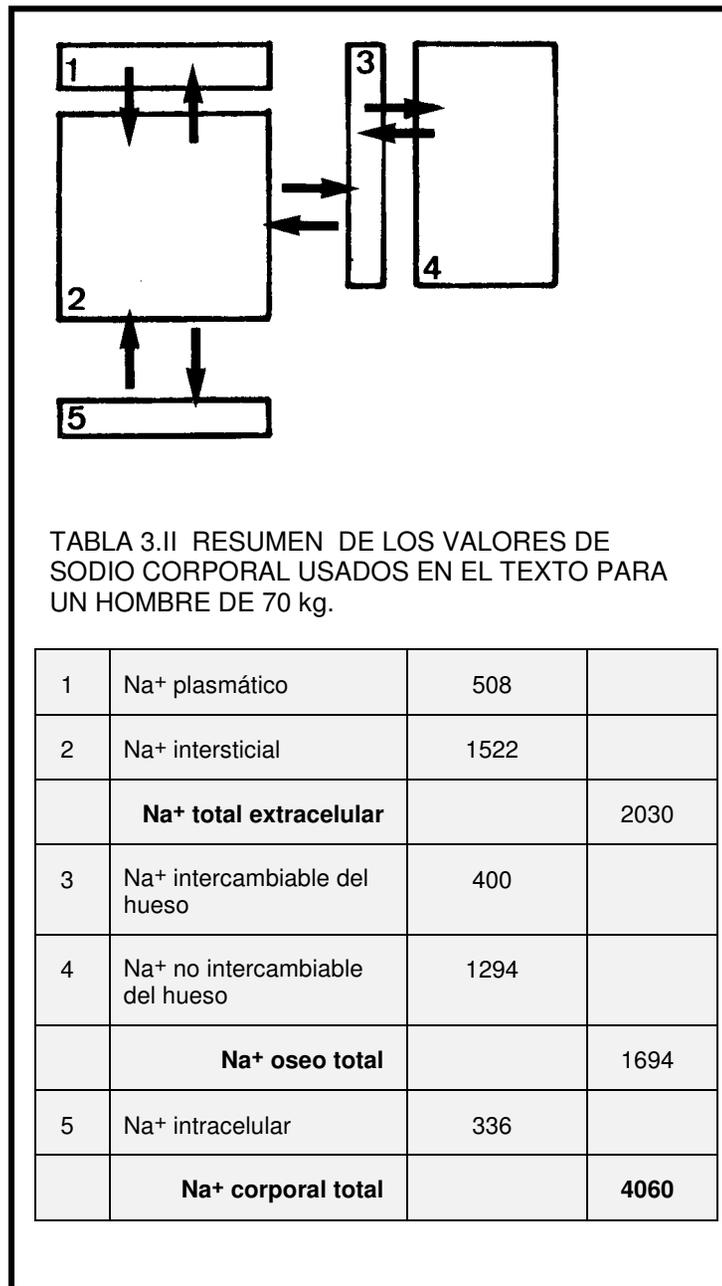
Se suele considerar que una persona que come una dieta mixta, con carbohidratos, proteínas y grasas y cocinada a la manera tradicional de Europa y América, recibe, en promedio, unos 100 a 200 mEq de Na^+ por día. Es muy importante el HABITO en la mesa: si la persona **nunca agrega sal** en la mesa, su ingesta permanecerá por debajo 120 mEq/ día de Na^+ ; si **algunas veces agrega sal** en la mesa, su ingesta estará alrededor de los 150 - 180 mEq/ día de Na^+ y si **siempre agrega sal**, sin ni siquiera haber probado la comida, tendrá una ingesta superior a los 200 mEq/ día de Na^+ .

Estas cifras son promedios, destinadas a servir sólo de guía. No hay que olvidar que las papas fritas, los tostones, el maní salado, etc., que constituyen el alimento predilecto de los estudiantes, son una fuente fenomenal de sal. Una bolsa de papas fritas puede aportar 60 mEq de Na^+ . Otra fuente de sal son los embutidos, quesos y alimentos enlatados o conservados. Mientras que 100 g de carne vacuna, cocinada sin sal contienen 3 mEq de Na^+ , 100 g de salami contienen 35 mEq de Na^+ ; 100 g de espinaca fresca contienen 2 mEq de Na^+ y esa misma cantidad, pero en lata, tiene 13 mEq; 100 g de sardinas en lata tienen 37 mEq de Na^+ , mientras que en 100 g de pescado crudo hay solo 2 mEq.

De este modo, después de una fiesta, por ejemplo, con muchas comidas, aperitivos, entremeses o pasapalos salados, será necesario, para mantener el balance, excretar 100 ó 200 mEq de Na^+ MAS que el día anterior.

2) Sodio en el agua de bebida

Por lo general el agua que se bebe tiene una relativamente baja concentración de Na^+ que no excede los 10-15 mEq de Na^+ por litro. Sin embargo, en algunas zonas esta concentración de sal puede llegar hasta los 50 mEq/ L. Salvo en esas condiciones extremas, el agua de bebida no necesita ser tomada en cuenta, como fuente de Na^+ , en los estudios de balance.



- Distribución del sodio corporal

El Na^+ ingerido es absorbido a nivel intestinal, pasando al plasma y a la totalidad del espacio extracelular. Su concentración allí es del orden de los 140 mEq/ litro de plasma y de 145 mEq/ litro de agua plasmática. De ese modo, el Na^+ DISUELTO en el agua EC será , para un hombre de 70 kg:

$$\text{MASA}_{\text{Na}^+ \text{ en agua EC}} = 70 \cdot 0,2 \cdot 145 = 2030 \text{ mEq}$$

La concentración de Na^+ en el interior celular es mucho más baja, de alrededor de 12 mEq/ L y. por lo tanto:

$$\text{MASA}_{\text{Na}^+ \text{ en agua IC}} = 70 \cdot 0,4 \cdot 12 = 336 \text{ mEq}$$

Esto da un total de 2366 mEq, pero la MASA TOTAL de Na^+ (sodio corporal total) es mayor que la suma de estas masas de sodio disueltas en el EC y en el IC. El análisis de las cenizas de un cadaver indica que hay alrededor de 58 mEq de Na^+ por cada kilogramo de peso corporal (peso húmedo). Esto, para un hombre de 70 kg, da un Na^+ TOTAL de:

$$\text{MASA}_{\text{Na}^+ \text{ total}} = 58 \text{ mEq/ kg} \cdot 70 \text{ kg} = 4060 \text{ mEq}$$

Por lo tanto, hay una masa de Na^+ que está en el cuerpo, pero que no se encuentra formando una SOLUCION LIBRE en el EC o en el IC. Esta masa de Na^+ es de 4060 mEq - (2030 mEq + 336 mEq) = 694 mEq de Na^+ y se encuentra, en su mayor parte, formando parte de la matriz de los huesos, en el cristal de hidroxiapatita. Este SODIO OSEO no se encuentra disponible para, por ejemplo, cubrir el déficit de Na^+ en una hiponatremia brusca. Si bien es una reserva de Na^+ , es un sodio que es llamado SODIO NO INTERCAMBIABLE, ya que no se mezcla, no se intercambia, al menos rápidamente, con el sodio extracelular. Hay otra fracción del sodio de los huesos que está sólo adherida a la superficie de la matriz ósea y que sí se intercambia, aunque lentamente, con el Na^+ y se llama SODIO INTERCAMBIABLE. La Tabla 3.II resume estas masas de sodio corporal. Cuando hay un desbalance entre las entradas y las salidas de Na^+ al compartimiento corporal, se afectará muy rápidamente el Na^+ extracelular y luego el Na^+ intercambiable del hueso. Muy difícilmente se afectará el Na^+

INGESTA DE SAL E HIPERTENSION ARTERIAL

Desde hace ya muchos años hay una preocupación generalizada acerca de cuánta sal come una persona. Si se piensa que el riñón tiene la capacidad de mantener el balance de Na^+ en un estudiante, atiborrado de papas fritas y en un yanomami, que ingiere menos de 10 mEq de Na^+ por día, parecería que no fuera muy importante, desde el punto de vista médico, saber con exactitud la ingesta. Sin embargo, en la historia de la Medicina hay, a este respecto, dos hechos claves: Primero, en 1948 Kempner mostraron que era posible tratar a los enfermos hipertensos con una dieta de arroz y frutas, SIN SAL. Luego, en 1954, Dahl y Love descubrieron que los esquimales, que comen menos de 3 g de NaCl por día, son un pueblo sin hipertensos, mientras los habitantes del norte de Japón, que ingieren más de 25 g de sal el día, tienen una altísima incidencia de hipertensión. Los yanomamis del sur de Venezuela y el norte de Brasil fueron calificados como una cultura sin sal... y sin hipertensos. Se siguió también a los miembros de los pueblos "desalados" que migraban hacia la civilización Occidental y se encontró que el número de hipertensos aumentaba. La sal se convirtió, quizás antes que el "stress" y el colesterol, en una de las ABERRACIONES de la vida civilizada. Lo cierto es que hoy, muchos años más tarde, las evidencias de una causa-efecto entre la sal y la hipertensión son mucho más débiles y pocos aceptan que la diferencias se deban SOLO a la sal que comemos. Queda en pie que, por lo general, los pacientes hipertensos se benefician con una dieta POBRE en sal, aunque se sabe que, por el hábito alimenticio, es prácticamente imposible que un paciente mantenga una dieta hiposódica estricta por más de un par de semanas. En 1980, Sir George Pickering decía: "Las admoniciones para evitar el salero parecen ser bastante tontas ..." Sus drásticas conclusiones no son compartidas por todos los que investigan la hipertensión arterial como un problema de salud pública. No parece haber ninguna razón valedera para aceptar la enorme cantidad de sal que los fabricantes de comidas enlatadas le agregan a sus productos y su reducción, en una población en su conjunto, junto con la disminución del consumo de grasas animales, parece haber significado, el menos en los Estados Unidos, una disminución de la incidencia de las enfermedades cardiovasculares. La ingesta de comidas supersaladas, por otra parte, disminuye la capacidad gustativa para apreciar el sabor de los alimentos correctamente sazonados, lo que, sí es imperdonable.

intracelular, ya que está mantenido en esa concentración por la bomba de sodio, o el sodio no intercambiable, fijado al hueso.

Egresos de sodio:

- 1) La principal vía de egreso del Na^+ es la **orina** y la regulación de la salida, para ajustarla a los ingresos, se hace por vía renal.
- 2) Por el **sudor** se pueden eliminar, como vimos, cantidades considerables de Na^+ . Sin embargo, insistimos en eso, no se trata de un mecanismo de **regulación** sino, más bien, un EFECTO COLATERAL a la pérdida de agua que es necesaria para perder CALOR.
- 3) Por las **heces** se pierden cantidades variables de Na^+ , por lo general no mayores de 5 mEq/día. En condiciones patológicas, como en las diarreas, la excreción puede aumentar considerablemente.

Por eso:

EN UN HOMBRE SANO, QUE NO ESTE SUDANDO, LA CANTIDAD DE SODIO QUE EXCRETA POR DÍA EN LA ORINA ES IGUAL A LA CANTIDAD INGERIDA.

- Reabsorción y excreción de sodio por el riñón

Nuevamente, como hicimos con el caso del agua, podemos describir un MECANISMO GENERAL para la regulación de la cantidad de Na^+ que aparece en la orina por día. Una descripción más detallada se podrá encontrar en el capítulo 6.

A nivel de los GLOMERULOS se filtran, desde el plasma sanguíneo, agua, sustancias electrolíticas y no electrolíticas que están normalmente en el plasma, pero no glóbulos rojos o proteínas. El Na^+ tiene, en consecuencia, aproximadamente la misma concentración en el líquido filtrado que en el plasma y la cantidad que, por minuto entra los túbulos es (SODIO FILTRADO u OFERTA TUBULAR DE SODIO):

$$\begin{aligned}\text{Na}^+_{\text{filtrado}} &= \text{Volumen}_{\text{filtrado}} \cdot \text{Na}^+_{\text{en plasma}} \\ &= 0,120 \text{ L/ min} \cdot 140 \text{ mEq/L} = 16,8 \text{ mEq/ min}\end{aligned}$$

y en 24 horas:

$$\text{Na}^+_{\text{filtrado}} = 16,8 \text{ mEq/min} \cdot 1440 \text{ min} = 24192 \text{ mEq/día}$$

¿Cuánto de esa enorme cantidad de Na^+ filtrado aparece en la orina?

Como dijimos, la misma cantidad que el sujeto COMIO. Si comió 150 mEq de Na^+ en un día, excretará, por orina, 150 mEq de Na^+ .

$$\text{Na}^+_{\text{excretado en orina}} = 150 \text{ mEq/día}$$

$$\text{Na}^+_{\text{filtrado}} = 24192 \text{ mEq}$$

$$\text{Na}^+_{\text{reabsorbido}} = \text{Na}^+_{\text{filtrado}} - \text{Na}^+_{\text{excretado}} = 24042 \text{ mEq/ día}$$

Este cálculo indica que en este hombre se ha reabsorbido el 99,3% de todo el sodio que se ha filtrado.

¿Cómo se **regula**, entonces, la excreción de Na^+ ? Pues, como en el caso del agua, REABSORBIENDO: reabsorbiendo más o reabsorbiendo menos, pero SIEMPRE reabsorbiendo.

Supongamos que nuestro hombre come pasapalos, queso y salami y su ingesta de Na^+ pasa de 150 mEq/día a 300 mEq/día. ¿Qué pasará con el Na^+ en la orina? Aumentará, por supuesto, para mantener el balance, lo que se logra disminuyendo la reabsorción.

En ese caso:

$$\text{Na}^+_{\text{excretado en la orina}} = \text{Na}^+_{\text{filtrado}} - \text{Na}^+_{\text{reabsorbido}}$$

$$\text{Na}^+_{\text{reabsorbido}} = 24192 \text{ mEq/ día} - 300 \text{ mEq/día} = 23892 \text{ mEq/ día}$$

Esto significa que la reabsorción de Na^+ ha pasado del 99,3% de lo filtrado, cuando comía 150 mEq/día, a ser el 98,7% de lo filtrado, cuando come 300 mEq/ día de Na^+ .

3.6 SITUACIONES QUE DETERMINAN CAMBIOS EN EL BALANCE DE SODIO

En el curso de un día de una persona sana, aun haciendo una vida absolutamente normal, hay cambios en el balance de Na^+ , en especial por modificaciones en la ingesta, que obligarán a los mecanismos homeostáticos renales a "arreglar" la situación. El "objetivo" del mecanismo de regulación será, antes que nada, mantener constante la concentración en el *mar interior*, el extracelular. Para ello se pondrán en juego sistemas que tienen que ver no sólo con el Na^+ sino también con el agua.

Ante un aumento de la concentración de Na^+ EC (hipernatremia), lo más rápido será RETENER agua a nivel renal, aumentando la reabsorción. Luego vendrá, de ser necesario, el mecanismo que se encargará de excretar el Na^+ que se encuentre en exceso.

Aparte de las situaciones cotidianas de cambios en la ingesta de la Na^+ , asociadas, como se dijo, a los hábitos alimenticios, hay situaciones que son bastante comunes en nuestro medio, como puede ser la toma de un diurético por recomendación de un amigo o vecino. Por último, ya en el campo estrictamente médico, es frecuente encontrar, en las salas de medicina o cirugía, pacientes que están recibiendo inyecciones endovenosas de soluciones acuosas. Esto introducirá modificaciones en el balance de Na^+ que debemos conocer.

En consecuencia, a modo de ejemplo, veremos 3 casos sencillos de modificaciones del balance de sodio, todos en personas sanas:

- 1) Una persona que come 200 g de queso "llanero".
- 2) Una persona que toma un comprimido de "furosemida", un poderoso diurético.

EL BALANCE DE SODIO Y EL SODIO EN LA ORINA

El hecho cierto que la casi totalidad del Na^+ ingerido aparece en la orina de un hombre que no esté sudando, facilita enormemente los estudios de balance de Na^+ . No hay necesidad de MEDIR el Na^+ que una persona come, lo que puede ser complicado, sino simplemente medir la MASA de Na^+ que en 1 día aparece en orina. Sin embargo, esto, en la práctica diaria, puede resultar algo no tan fácil de realizar. Lo primero que se debe hacer es instruir al paciente sobre cómo recoger la orina de 24 horas. Deberá levantarse a la hora acostumbrada (supongamos a las 6:00 a.m.) y, entonces, vaciar a fondo su vejiga, descartando la orina. A partir de ese momento, juntará TODA la orina en un recipiente. Este recolección continuará hasta el DI. siguiente, a las 6:00, momento en que nuevamente orinará a fondo, pero en el recipiente. Para evitar la descomposición bacteriana de la orina (y el olor desagradable que puede producir) se puede agregar el frasco de recolección un antiséptico, como el TIMOL. Aun cuando el paciente haya sido bien instruido, habrá dos hechos que pueden arruinar la recolección: la orina: que en paciente, no tenga el cuidado de recoger la orina cuando evacua su intestino y, si está hospitalizado... las enfermeras, auxiliares y visitas!. Estas pocas veces pueden ver un recipiente lleno de orina sin dejarse llevar por la tentación de vaciarlo. Suponiendo que la recolección haya sido exitosa, se debe medir el VOLUMEN TOTAL emitido en 24 horas en una probeta y, de allí tornar una muestra de unos pocos mililitros. En el laboratorio se medirá la CONCENTRACION de Na^+ en la muestra usando un FOTOMETRO DE LLAMA. Si la concentración de Na^+ en orina es, por ejemplo, de 94 mEq/ L el volumen de orina fue de 1,530 litros en 24 horas, la excreción urinaria de Na^+ (y posiblemente la ingesta) fue de $(1,530 \text{ L} \cdot 94 \text{ mEq/L}) = 144 \text{ mEq/día}$.

3) Una persona que recibe, por vía endovenosa rápida, 1,5 litros de una solución de Dextrosa al 5%.

En cada caso se hará un análisis detallado de los cambios en los volúmenes y la composición de los fluidos corporales y de la respuesta renal. Otros ejemplos se pueden encontrar en los problemas del final del capítulo.

1) Una persona que come 200 g de queso "llanero".

Todos los tipos de QUESO tienen sal, aunque en cantidades variables. Así, por ejemplo, el queso "requesón" tiene unos 60 mg de NaCl por cada 100 g de sustancia mientras que el queso de Roquefort (Blue cheese) o el queso llanero de Venezuela puede tener más de 1000 mg por cada 100 g. Supongamos, en nuestro ejemplo, que una mujer de 50 kg de peso que come 200 gramos de esta última variedad de queso. Un análisis de una muestra del queso que comió indica que contenía 1,42 g de NaCl por cada 100 g.

- Análisis del cambio de concentración de Na⁺ y la osmolaridad en el EC

El queso es digerido a nivel del tracto digestivo y su Na⁺ es absorbido, junto con las otras sustancias que lo componen, a nivel del intestino. Dado que el volumen de queso que esta persona comió es relativamente pequeño, podemos despreocuparnos del agua contenida en él y suponer que, simplemente, comió NaCl y que éste pasó al EC, donde se distribuyó uniformemente. Si el queso tenía 1,42 g de NaCl/ 100 g, Como comió 200 g y cada 58,5 g de NaCl representan 1000 mmol de NaCl:

INGESTA

58,5 g NaCl 1000 mmol NaCl

2,84 g NaCl x = 48,5 mmol NaCl

Esto corresponde a 48,5 mEq de Na⁺ y 48,5 mEq de Cl⁻ y , aproximadamente:

CONTROL HORMONAL DEL VOLUMEN Y COMPOSICION DE LA ORINA

La forma COMO el riñón puede, en un momento dado, excretar más o menos agua, más o menos solutos, retener o perder sodio, es algo que se comprenderá al estudiar el funcionamiento del riñón, en el Cap. 6. Sin embargo, podemos señalar, aquí, muy esquemáticamente, que estos procesos se encuentran bajo el control de dos hormonas: la HORMONA ANTIDIURETICA (ADH), que se secreta en el hipotálamo[no y se almacena en la hipófisis y la ALDOSTERONA, que es secretada por la corteza suprarrenal. A la ADH le corresponde el control de la reabsorción de agua a nivel de los túbulos colectores renales. Cuando la osmolaridad extracelular es superior a las 285-290 mOsm/L, la secreción de ADH aumenta en forma proporcional al aumento de la osmolaridad y la reabsorción de agua también aumenta, por lo que la diéresis disminuye. Por debajo de esos valores, la secreción de ADH disminuye, la reabsorción de agua también disminuye y la excreción de agua aumenta. A la ALDOSTERONA le corresponde el control de la reabsorción de Na⁺ en el túbulo distal. Frente a situaciones que determinan una disminución de la masa de Na⁺ extracelular habría un aumento de la secreción de aldosterona y la bomba de Na⁺ / K⁺ del túbulo distal bombearía más Na⁺ de la luz tubular a la sangre y más K⁺ desde la sangre a la luz. La mayor reabsorción de Na⁺ determina que se excrete menos Na⁺ y mas K⁺ por orina. Aunque las cosas no son tan negro y blanco como se lo acaba de pintar, esta división de funciones de cada hormona puede servir de guía para comprender algunos fenómenos. Un elemento clave es el tiempo que necesitan cada una de las hormonas para lograr su efecto máximo. La ADH logra su efecto en cuestión de minutos u horas, mientras que la aldosterona, frente a una exfoliación de Na⁺ necesita días para lograr el balance. Si se analiza con cuidado la Fig. 2.2 se podrá ver que allí, al comenzar la dieta hiposódica, se pierde más Na⁺ que el que se ingiere, hasta que sólo al cuarto o quinto día se llega al balance. Esto es debido a la aldosterona y sus mecanismos lentos para recuperar el Na⁺. Sin embargo, antes de alcanzar el balance de Na⁺, se pierde peso, indicando una pérdida de agua corporal, producto de la inhibición de la ADH. Así puede mantenerse la concentración de Na⁺ y la osmolaridad extracelular constantes.

$$\text{MASA}_{\text{Osm NaCl}} = 48,5 \text{ mmol} \cdot 2 = 97 \text{ mOsm}$$

Estos 48,5 mEq de Na^+ y los 97 mOsm se distribuirá en el EC de modo que si la persona tenía 50 kg de peso, su SODIO EXTRACELULAR TOTAL será de:

$$\begin{aligned} \text{MASA}_{\text{Na}^+ \text{ EC total}} &= \text{Na}^+_{\text{EC}} + \text{Na}^+_{\text{ingerido}} \\ &= (50 \cdot 0,2 \cdot 140) + 48,5 = 1448,5 \text{ mEq} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MASA}_{\text{Osm EC total}} &= \text{MASA}_{\text{Osm EC}} + \text{MASA}_{\text{Osm ingerida}} \\ &= (50 \cdot 0,2 \cdot 290) + 97 = 2997 \text{ mOsm} \end{aligned}$$

Si aceptamos, no habiendo la persona tomado agua, que el VOLUMEN del extracelular no se modificó, la concentración de Na^+ extracelular será de:

$$\text{Na}^+_{\text{EC}} = \frac{1448,5 \text{ mEq}}{10 \text{ L}} = 144,85 \text{ mEq/L} \approx 145 \text{ mEq}$$

y la osmolaridad extracelular será de:

$$\text{OSM}_{\text{EC}} = \frac{2997 \text{ mOsm}}{10 \text{ L}} \approx 300 \text{ mOsm/L}$$

- Movimiento de agua entre los compartimientos

Por el aumento de la osmolaridad EC, hay un flujo de agua del IC al EC, hasta igualar las osmolaridades. La osmolaridad de equilibrio se puede calcular como si hubiera un solo compartimiento, sin divisiones en EC e IC. Así:

$$\text{Osm}_{\text{eq}} = \frac{\text{MASA}_{\text{Osm EC + IC}}}{\text{Volumen}_{\text{EC + IC}}}$$

$$\text{Osm}_{\text{eq}} = \frac{(50 \text{ kg} \cdot 0,6 \cdot 290 \text{ mOsm/L}) + 97 \text{ mOsm}}{(50 \text{ kg} \cdot 0,6)} \approx 293 \text{ mOsm/L}$$

La llegada de NaCl al EC aumentó la osmolaridad EC lo que, inmediatamente, al crear un gradiente osmótico, determinó un flujo de agua del IC al EC. La osmolaridad EC, que hubiera llegado a 300 mOsm/L de no haber existido flujo de agua del IC al EC, se estabiliza en 293 mOsm/L.

Este flujo de agua determina que el volumen IC disminuya y el volumen EC aumente. El volumen IC se puede calcular asumiendo que, en todo este proceso, no ha habido ni ganancia ni pérdida de osmoles intracelulares. Entonces:

$$\text{MASA}_{\text{IC inicial}} = \text{MASA}_{\text{IC final}}$$

$$C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f$$

$$V_{\text{IC final}} = \frac{290 \text{ mOsm/L} \cdot 20 \text{ L}}{293 \text{ mOsm/L}} = 19,795 \text{ L}$$

Esto significa que el VOLUMEN INTRACELULAR, que era de 20 litros, ha perdido 0,205 L y el VOLUMEN EXTRACELULAR, que era de 10 litros, ha ganado ese volumen y ahora es de 10,205 litros.

- Representación de acuerdo al esquema de Darrow-Yannet

En la Fig. 3.11 se pueden seguir estos cambios en los compartimientos. Desde la condición inicial, mostrada en el panel a), hasta la condición de equilibrio, mostrada en c).

- Respuesta renal

En el equilibrio esta persona queda, después de haber ingerido 200 g de queso llanero, con un EC ligeramente expandido, un IC algo reducido y una osmolaridad tanto EC como IC aumentada. Esto último determina que sienta SED. El aumento de osmolaridad también

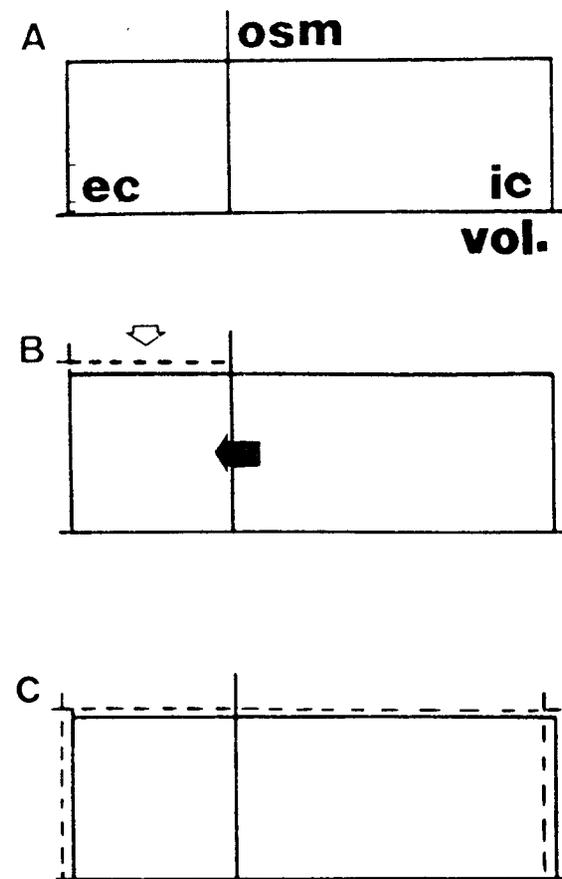


FIG 3.11 REPRESENTACION DE ACUERDO AL ESQUEMA DE DARROW-YANNET DE LOS CORPORALES DE UNA PERSONA QUE INGIERE UN ALIMENTO CON ALTO CONTENIDO DE SAL. A) SITUACION INICIAL; B) RECIBE (FLECHA CLARA) UNA MASA DE NaCl QUE LE AUMENTA LA MASA Y LA OSMOLARIDAD **ec**, SIN MODIFICAR EL VOLUMEN. ESO DETERMINA UN FLUJO (FLECHA NEGRA) DEL **ic** AL **ec**; C) SITUACION DE EQUILIBRIO, CON OSMOLARIDAD **ec** E **ic** AUMENTAD, VOLUMEN **ic** DISMINUIDO EL **ec** AUMENTADO

pondrá en marcha mecanismos renales que, en lo inmediato, tenderán a retener agua. Para ello se comenzarán a producir orinas hipertónicas.

Si, por efecto de la sed, la persona bebe una cantidad de agua (¡o de cerveza!) exactamente igual al volumen que necesita para que la osmolaridad vuelva a los 290 mOsm/ L, cesará de producir orinas hipertónicas, aunque persiste la necesidad de eliminar el Na⁺ ingerido. Si, por el contrario, y como es muy frecuente, la persona bebe más de lo estrictamente necesario para llevar la osmolaridad al valor normal, la sensación de sed desaparece, la osmolaridad es inferior a los 290 mOsm/ L, y se empiezan a producir orinas hipotónicas.

Eso le permitirá seguir comiendo queso... y ¡bebiendo cerveza!. Esta situación fisiológica es conocida por todos los dueños de bares del mundo, que siempre disponen de pasapalos y picadas saladas ... ¡cerveza y baños!

2) Una persona que toma "Furosemida", un potente diurético

Un diurético sería, por definición, cualquier sustancia que aumente el volumen urinario. Son usados en Medicina para inducir una disminución del volumen y la masa osmolar extracelular, a partir, sobre todo, de un aumento en la excreción renal de agua y sodio. La Furosemida, dentro de ellos, se caracteriza por tener un efecto rápido, alcanzando su máximo en alrededor de una hora, por lo que es muy útil en situaciones de emergencia, como el edema agudo de pulmón. Sin embargo, por su efecto espectacular, es un diurético muy usado entre los amantes de la automedicación. Sin la intervención de ningún médico, éste y otros diuréticos son usados para el hipotético tratamiento de la obesidad, la celulitis, la tensión premenstrual, las cefaleas, las ojeras. etc. Vale la pena, entonces, analizar cuáles son los cambios en los espacios corporales en una persona que ingiere, durante 2 días, 40 mg de Furosemida.

Para ilustrar mejor el ejemplo, tomaremos el balance de los ingresos y egresos de 3 días: 1 día ANTES de recibir el diurético (Día 0) y 2 días consecutivos DESPUES (Día 1 y Día 2)

DÍA 0: Peso corporal: 68 kg; diurético: no

BALANCE DE AGUA (ml/ día)				BALANCE DE SODIO (mEq / día)			
Ingresos		Egresos		Ingresos		Egresos	
Bebida	1200	Orina	1250	Dieta	130	Orina	130
Alimentos	850	P.Ins.	900				
Agua met.	300	Heces	200				
Total	2350		2350	130			130
BALANCE		0				0	

DÍA 1: Peso corporal: 68 kg; diurético: sí

BALANCE DE AGUA (ml/ día)				BALANCE DE SODIO (mEq / día)			
Ingresos		Egresos		Ingresos		Egresos	
Bebida	1100	Orina	2100	Dieta	120	Orina	220
Alimentos	910	P.Ins.	900				
Agua met.	300	Heces	200				
Total	2310		3200	120			220
BALANCE		- 890 ml				- 100 mEq	

DÍA 2: Peso corporal: 67 kg; diurético: sí					
BALANCE DE AGUA (ml/ día)			BALANCE DE SODIO (mEq / día)		
Ingresos		Egresos		Ingresos	
				Egresos	
Bebida	1450	Orina	1900	Dieta	145
Alimentos	900	P.Ins.	900	Orina	210
Agua met.	300	Heces	200		
Total	2650		2950	145	210
BALANCE	-300 ml			- 65 mEq	

Si ahora analizamos la situación de esta persona al final del día 2, veremos, basándonos en las pérdidas de los días anteriores:

Balance de agua: - (890 ml + 300 ml) = - 1190 ml

Balance de Na⁺ = - (100 mEq + 65 mEq) = - 165 mEq

Peso corporal = PESO inicial - AGUA perdida =

$$= 68 \text{ kg} - (0,890 \text{ kg} + 0,300 \text{ kg}) = 66,810 \text{ kg}$$

- Cálculo del cambio de volumen del EC e IC

Como lo hemos hecho antes, consideremos, **por un momento**, que este volumen y esta masa perdidos han salido SOLO del EC. Haremos el cálculo para el fin del día 2.

VOLUMEN_{EC fin día 2} = VOLUMEN_{EC día 0} - VOLUMEN perdido

$$= (68 \cdot 0,2) - 1,190 = 12,410 \text{ litros}$$

MASA_{Na⁺ EC fin día 2} = MASA_{Na⁺ EC día 0} - MASA_{Na⁺ perdida}

$$= (68 \cdot 0,2 \cdot 140) - 165 = 1739 \text{ mEq}$$

Entonces, la CONCENTRACION de Na⁺ EC sería de:

$$\text{Na}^+_{\text{EC}} = \frac{1739 \text{ mEq}}{12,410 \text{ L}} = 140 \text{ mEq/L}$$

Como se ve, la persona ha quedado, en este ejemplo, con un MASA de sodio EC disminuida, un VOLUMEN EC disminuido, pero con una concentración de Na⁺ normal. Esto hace suponer que no habrá movimiento de agua entre el EC y el IC, ya que no hay gradiente de osmolaridad.

- Representación de acuerdo al esquema de Darrow-Yannet

La situación de equilibrio está representada en el panel b) de la Fig. 3.12

- Respuesta renal

No se puede hablar de una respuesta renal fisiológica, ya que muchos de los mecanismos renales están alterados por el diurético. Lo que se puede decir es que, frente a la pérdida de agua y sodio, los sistemas funcionan TRATANDO de retener agua y sodio, aumentando la reabsorción. Hay un aumento de la concentración plasmática de ALDOSTERONA, una hormona que aumenta la reabsorción de Na⁺ en el túbulo distal, pero su ACCIÓN no se pondrá en evidencia mientras persista la acción del diurético. Una suspensión brusca de la toma del diurético puede provocar un **efecto rebote** y un brusco aumento de peso corporal. Esto lleva a muchos a seguir tomando, sin necesidad, el diurético, convirtiéndose en verdaderos adictos.

- Hiponatremia por el uso prolongado de diuréticos

En el caso que acabamos de ver no hay cambios en la concentración EC de sodio. Sin embargo, y dependiendo de la respuesta individual, hay pacientes que presentan hiponatremia, en especial si han usado diuréticos asociado a una dieta hiposódica.

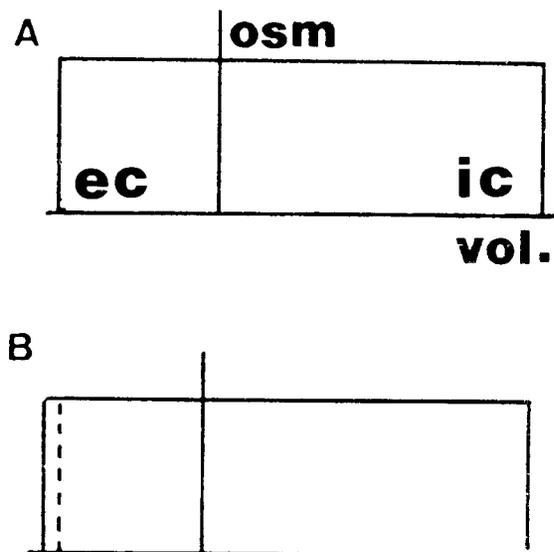


FIG 3.12 REPRESENTACION DE ACUERDO AL ESQUEMA DE DARROW-YANNET DE LOS COMPARTIMIENTOS CORPORALES DE UNA PERSONA QUE TOMA UN DIURETICO. A) CONDICION INICIAL; B) CONDICION DE EQUILIBRIO, CON MASA OSMOLAR *ec* DISMINUIDA, VOLUMEN EC DISMINUIDO Y OSMOLARIDAD *ic* NORMAL

Como hay una disminución de la MASA de sodio EC, todas las personas que toman diuréticos, al no poder manejar sus mecanismos renales, están más expuestas a desbalances serios. Es frecuente observar la aparición de calambres, debilidad, fatiga fácil e hipotensión. Cuando el que toma diurético va, por ejemplo, a la playa un día caluroso, la pérdida de Na⁺ por el sudor y la habitual ingesta de grandes volúmenes de agua o cerveza pueden determinar una hiponatremia bastante importante.

3) Una persona que recibe, por vía endovenosa rápida, 1,5 litros de la solución de "Dextrosa al 5%".

Esta solución tiene 50 g/ L de D-Glucosa (pm 180) y es una de las soluciones llamadas ISOTONICAS, ya que tiene:

$$160 \text{ g/ L Glucosa} \dots\dots\dots 1800 \text{ mmol/ L}$$

$$50 \text{ g/ L Glucosa} \dots\dots\dots x = 277, \text{g mmol/ L} \approx 278 \text{ mmol/ L}$$

Como es un solución no-electrolítica, la osmolaridad será igual a la molaridad, de donde:

$$\text{OSM}_{\text{glucosa 5\%}} = 278 \text{ mOsm/ L}$$

Esta solución se usa cuando se quiere dar **agua** por vía endovenosa, sin aportar sales. **No se puede inyectar agua sola**, ya que produciría una severa hipotonicidad plasmática y una hemólisis de los eritrocitos. La glucosa de la solución de glucosa al 5% rápidamente se metaboliza dando CALORIAS y AGUA. Como se sabe, 1 g de glucosa produce 4,3 kcal y 0,5 ml de agua. Por eso, al inyectar 1 litro de la solución lo que se consigue es inyectar 1,025 litros de agua.

Veamos, en una persona de 70 kg, qué cambios ocurren, a poco de inyectar 1,5 de la solución de glucosa al 5%:

$$\text{VOLUMEN}_{\text{inyectado}} = 1,5 \text{ L}$$

$$\text{MASA}_{\text{Na}^+ \text{ inyectada}} = 0$$

$$\text{MASA}_{\text{osmolar inyectada}} = 278 \text{ mOsm/ L} \cdot 1,5 \text{ L} = 417 \text{ mOsm}$$

EN ESTE MOMENTO USTED DEBE SER CAPAZ DE RESOLVER LA SITUACION DESCRIPTA EN EL PROBLEMA 3, QUE SE ENCUENTRA AL FINAL DEL CAPITULO . NO TRATE DE RECORDAR LAS CIFRAS O DATOS. RECURRA A LO ESCRITO EN ESTE CAPITULO Y LOS ANTERIORES

- Cálculo de la concentración de Na⁺ EC

Como este volumen de solución va directamente a la sangre y de allí a todo el EC, se puede esperar que la concentración de Na⁺ disminuya, ya que:

$$\begin{aligned} \text{CONC. Na}^+_{\text{EC}} &= \frac{\text{MASA Na}^+_{\text{EC}}}{\text{VOLUMEN EC} + \text{VOLUMEN inyectado}} \\ &= \frac{70 \cdot 0,2 \cdot 140 \text{ mEq}}{14 \text{ L} + 1,5 \text{ L}} = 126,4 \text{ mEq/ L} \end{aligned}$$

Pese a que hay, **inicialmente**, un descenso de la concentración EC de Na⁺, la OSMOLARIDAD EC no sigue, en este caso, a la concentración de Na⁺, ya que la glucosa aporta osmoles. Así:

$$\begin{aligned} \text{OSM}_{\text{EC}} &= \frac{\text{MASA Osm EC} + \text{MASA Osm inyectada}}{\text{VOLUMEN EC} + \text{VOLUMEN inyectado}} \\ \text{OSM}_{\text{EC}} &= \frac{(70 \cdot 0,2 \cdot 290 \text{ mOsm}) + 417 \text{ mOsm}}{14 \text{ L} + 1,5 \text{ L}} = 287 \text{ mOsm/ L} \end{aligned}$$

Al no haber **casí** cambios en la osmolaridad EC, se puede aceptar que no salió ni entró agua al IC, lo que se corresponde con el carácter isotónico de la solución de glucosa al 5%

- Representación de acuerdo al esquema de Darrow-Yannet

No habiendo cambios en la osmolaridad EC, sólo habrá un aumento del volumen EC. Al metabolizarse la glucosa, la solución inyectada deja de ser isotónica, lentamente se hace hipotónica y empieza a pasar agua al IC

APROVECHE LOS ESPACIOS EN BLANCO PARA REPRESENTAR EL ESQUEMA DE DARROW-YANNET EN CADA UNO DE LOS MOMENTOS SEÑALADOS

- Cálculo de la concentración EC de glucosa

Si se acepta que la inyección de esta solución de glucosa se hizo lo suficientemente rápido como para que, prácticamente, no hubiera tiempo para metabolizarla, la concentración EC de glucosa habrá aumentado. Se la puede calcular, sabiendo que su concentración normal es de 1 g/ L.

Así:

$$\text{CONC. glucosa EC} = \frac{\text{MASA glucosa EC} + \text{MASA glucosa inyectada}}{\text{VOLUMEN EC} + \text{VOLUMEN inyectado}}$$

$$\text{CONC. glucosa EC} = \frac{(70 \cdot 0,2 \cdot 1 \text{ g}) + 75 \text{ g}}{14 \text{ L} + 1,5 \text{ L}} = 5,74 \text{ g/ L}$$

Una muestra de sangre de esta persona, tomada INMEDIATAMENTE después de la inyección, mostrará una hiperglucemia y una hiponatremia. Tiempo después, la hiperglucemia desaparecerá, porque la glucosa se metaboliza en el interior celular. Para que la glucosa ENTRE a la célula se necesita de la presencia de INSULINA, una hormona pancreática. En los DIABETICOS la concentración extracelular de insulina es baja y la glucosa no puede metabolizarse adecuadamente, por lo que las cifras altas de glucosa persisten por más tiempo.

- Respuesta renal

Como respuesta renal a esta inyección de glucosa al 5% habrá un aumento de la diuresis. Esto es debido, en parte, a que, una vez metabolizada la glucosa, queda un EC hipotónico. También contribuye a este aumento de la diuresis la imposibilidad inicial de reabsorber, a nivel tubular, la glucosa ofertada: hay una saturación de los transportadores de la glucosa del túbulo proximal renal (ver Cap. 6). Mientras que en los sujetos normales no hay glucosa en orina, en los diabéticos y en los que están recibiendo soluciones glucosadas por vía endovenosa, sí la hay.

HIPONATREMIA DE LOS ENFERMOS DIABETICOS

Los enfermos diabéticos no tratados tienen cifras de glucosa en sangre que están, aún en ayunas, por encima de las cifras normales. Esta alta concentración de glucosa determinaría un aumento de la osmolaridad extracelular y un pasaje de agua del IC al EC. Las osmolaridades se equilibrarían, pero la concentración EC de Na⁺, principal catión en ese compartimiento, quedará disminuida. Es muy importante, en los diabéticos, saber si esa hiponatremia se debe SOLO al aumento de la glucosa o si está relacionada con otra causa. Basándose en las consideraciones hechas en este capítulo, se puede estimar que hay una DISMINUCION de 1,5 a 2 mEq/L de Na⁺ en plasma por cada gramo por litro de AUMENTO en la glucemia. Así, un paciente diabético con 5 g/L de glucosa (normal = 1 g/L), puede tener entre 132 y 134 mEq/L de Na⁺ en plasma, en vez de los 140 mEq/L habituales.

NOTA: ¿SABE USTED LLEGAR A CALCULAR ESTA CIFRA DE 1,5 A 2 mEq/L de Na⁺ POR GRAMO/ LITRO EN EXCESO DE GLUCOSA? INTENTELO. Si NO, RECURRA, EN ULTIMA INSTANCIA, AL PROBLEMA 4 AL FINAL DE ESTE CAPITULO.

**FIN DE LA
PARTE 2 DEL CAPITULO 3,
CONTINUA PARTE 3**