

## PERFILES HEMATOLÓGICOS E HIDROELECTROLÍTICOS EN SUJETOS SEDENTARIOS DURANTE EJERCICIO DE RESISTENCIA: EFECTO DE LA HIDRATACIÓN

DIANA MARCELA RAMOS C.<sup>1,2\*</sup>, ERICA MABEL MANCERA S.<sup>2</sup> Y OSCAR GARCÍA-VEGA<sup>3</sup>

### Resumen

Prevenir la deshidratación durante el ejercicio, ingiriendo regularmente fluidos, es indispensable para asegurar un bienestar físico y mental en los sujetos; los estudios referentes al tema se centran en deportistas, dejando de lado la población sedentaria. El objetivo de este trabajo fue determinar los cambios en variables hematimétricas e hidroelectrolíticas en sujetos sedentarios a 2.600 metros sobre el nivel del mar, ante la ingesta de dos tipos de hidratación durante noventa minutos de ejercicio en bicicleta al 50%-60% del consumo pico de oxígeno ( $VO_{2pico}$ ). En el estudio participaron treinta voluntarios sanos de ambos sexos, con edades entre los veinte y cuarenta años, que se distribuyeron en tres grupos; todos fueron sometidos a ejercicio en bicicleta, proporcionándoles, según protocolo de la *American College of Sports Medicine* (ACSM), hidratación con agua a un grupo, con bebida con contenido en carbohidratos a otro y ningún tipo de hidratación al tercero. Se les tomó muestras de sangre antes, durante y después del ejercicio, para hacer mediciones de hemoglobina, hematocrito, cambios de volumen plasmático, osmolaridad plasmática y concentración de sodio y potasio. Se pudo observar que el ejercicio físico con las características planteadas no produjo estrés orgánico suficiente como para llevar a estados de deshidratación y, que a pesar de producir descensos leves en el peso corporal, no se afectó el balance electrolítico del organismo. La hidratación con agua generó cambios leves en la concentración de sodio, hecho que no se observó con la hidratación con bebida que contiene carbohidratos más electrolitos. Se puede concluir que ejercicio físico en bicicleta realizado durante noventa minutos a una intensidad del 50% al 60% del  $VO_{2pico}$  en sujetos sedentarios se tolera adecuadamente, generando descensos leves en el peso corporal y que el protocolo de hidratación recomendado por la ACSM es adecuado para sujetos sedentarios.

**Palabras clave:** sedentarios, ejercicio, deshidratación, hemoglobina, hematocrito, electrolitos.

## HEMATOLOGICAL AND HYDROELECTROLYTICAL PROFILES OF SEDENTARY SUBJECTS DURING ENDURANCE EXERCISE: EFFECT OF THE HYDRATION

### Abstract

To prevent dehydration during exercise, consuming fluids regularly is indispensable to assure physical and mental well-being in people; the studies regarding the topic centre on sportsmen, stopping of side the sedentary population. To determine changes in hematological and

<sup>1</sup> Facultad de Rehabilitación y Desarrollo Humano; Universidad del Rosario, Bogotá, D.C.

<sup>2</sup> Facultad de Medicina; Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C.

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias Fisiológicas, División de Fisiología, Facultad de Medicina; Universidad Nacional de Colombia.

\* Dirección electrónica: [ftdianamrc@yahoo.com](mailto:ftdianamrc@yahoo.com), [oagarciav@unal.edu.co](mailto:oagarciav@unal.edu.co)

Dirección postal: Facultad de Medicina, Oficina 321, Universidad Nacional de Colombia, Ciudad Universitaria, Bogotá, D.C.

Recibido: Noviembre 17 de 2006. Aceptado: Diciembre 26 de 2006.

hydroelectrolitical variables in sedentary subjects to 2.600 m.u.s.l., before ingestion of two types of hydration, during ninety minutes of exercise in bicycle to 50-60 % VO<sub>2</sub>peak. Thirty healthy volunteers of both sexes took part, between 20 and 40 years distributed in three groups, to each of which there was assigned a type of hydration (not hydration, water or sports drink). It was measured hemoglobin, hematocrit, plasmatic volume changes, osmolarity and plasmatic sodium and potassium concentration. The subjects surrendered the exercise in bicycle, providing to them hydration like American College of Sports Medicine (ACSM), and taking blood samples earlier, during and after the test. The physical exercise with the raised characteristics does not produce sufficient organic stress to take dehydration states, which in spite of producing light descents in the corporal weight, don't affect electrolytic balance of the organism. The hydration with water generated light changes in the concentration of sodium which didn't happen when It hydrate with a sports drink. Static bicycle exercise surrendered by sedentary people during ninety minutes to an intensity of 50-60% VO<sub>2</sub>peak, is well tolerated with minimum reduce in body Weight, The protocol of hydration recommended by the ACSM is adapted to use in sedentary subjects.

**Key words:** hydration, hemoglobin, hematocrit, electrolytes, exercise.

## Introducción

En la actualidad existe evidencia precisa sobre el impacto negativo de la deshidratación sobre las funciones fisiológicas, el rendimiento físico y la salud (1-3). Como en diferentes investigaciones se ha demostrado que la prevención de la deshidratación mediante la ingestión regular de fluidos es indispensable para asegurar un mejor rendimiento en los sujetos que realizan actividad física, se reconoce ampliamente el valor de la hidratación, principalmente en ambientes deportivos y en competencias de alto rendimiento (2,4-8), de tal manera que los cuadros de golpe de calor y la frecuencia de muerte se han reducido drásticamente con el reemplazo adecuado de los fluidos perdidos (4).

Como consecuencia directa de la deshidratación el ejercicio prolongado provoca cambios a nivel de fluidos y electrolitos (2,9,10). En el sistema vascular estos cambios se caracterizan, principalmente, por pérdida del volumen plasmático, por alteraciones en las concentraciones plasmáticas de electrolitos y por incremento en la osmolaridad (1,11). Se ha observado que la ingesta de bebidas con contenido de glucosa y electrolitos puede mejorar el desempeño durante el ejercicio, contrarrestar los cambios sufridos en las variables fisiológicas mencionadas, aún con concentraciones variables de glucosa y electrolitos y que el desempeño se puede mejorar, aunque en un menor grado, con

la ingesta de agua pura, evidenciándose también un retraso en el tiempo de aparición de la fatiga en ejercicios prolongados, especialmente en el calor (3,10,12-16).

Casi la totalidad de los estudios mencionados y de otros relacionados han centrado sus protocolos experimentales en sujetos deportistas bien entrenados y en condiciones ambientales cálidas, dejando en segundo plano a los sujetos que practican actividad física esporádicamente y llamados "deportistas de fin de semana", quienes no tienen un nivel de entrenamiento elevado y que residen y se ejercitan en ambientes fríos. La importancia de estudiar este tipo de población radica en que actualmente se viene evidenciado un incremento en la práctica de algún tipo de actividad física y son muy pocas las precauciones o medidas que adoptan esas personas, ya sea para optimizar su actividad, o para prevenir las complicaciones resultantes de un ejercicio físico practicado bajo condiciones inadecuadas.

Teniendo en cuenta que los estudios reportados en la literatura se dirigen principalmente a deportistas de alto rendimiento y son escasos los informes acerca de personas sedentarias que realizan ejercicio moderado esporádicamente y que requieren algún tipo de bebida que les ayude al mantenimiento de la homeostasis hidroelectrolítica del organismo, el objetivo de este trabajo fue el evaluar

los cambios hidroelectrolíticos y hematológicos en sujetos sedentarios que realizan ejercicio moderado de 90 minutos de duración, con tres tipos de intervención.

## Metodología

El estudio fue un ensayo clínico controlado, con distribución aleatoria en tres grupos de tratamiento, en donde un primer grupo ingirió una bebida deportiva comercial con contenido de carbohidratos y electrolitos, un segundo grupo ingirió agua en botella de distribución comercial y el tercer grupo no recibió ningún tipo de hidratación.

Se seleccionaron 30 voluntarios (según cálculo del tamaño de muestra para detectar diferencias mínimas del 20%, con poder de 80% y un alfa de 0,05), de acuerdo con los siguientes criterios de inclusión: adultos, hombres y mujeres con edades comprendidas entre los 20 y 40 años de edad. Cada individuo dio su consentimiento de forma escrita de acuerdo a las recomendaciones de la normatividad nacional e internacional relacionada con este tipo de investigaciones. Las personas no habían realizado ejercicio físico regular de ningún tipo en los seis meses previos a la aplicación de la prueba (entendiéndose como ejercicio físico el de una duración mínima de 45 minutos y una frecuencia de mínimo tres veces por semana) y su lugar de residencia era Bogotá, D.C., situada a 2.600 metros de altura sobre el nivel del mar, por un tiempo no menor a seis meses; ninguno debía presentar alteraciones renales, gastrointestinales o hematológicas, descartadas por los perfiles de laboratorio y su índice de masa corporal estaba (IMC) entre 20 y 30.

Los participantes que cumplieron con los criterios de inclusión se distribuyeron al azar a través de una tabla de números aleatorios en tres tratamientos:

*Tratamiento A:* participantes que ejecutaron el protocolo sin la administración de ningún tipo de bebida hidratante.

*Tratamiento B:* hidratación con agua pura.

*Tratamiento C:* bebida deportiva con contenido de carbohidratos y electrolitos.

Las bebidas fueron adquiridas en un supermercado, del mismo lote de producción.

Para calcular el volumen de bebida administrada en los tratamientos B y C los voluntarios fueron hidratados de acuerdo a las recomendaciones del "American College of Sports Medicine" (ACSM) de la siguiente manera (3):

- a. Administración oral de 500 ml del fluido correspondiente dos horas antes de iniciar la prueba, para promover una hidratación adecuada y para dar tiempo de excretar el excedente. Durante las dos horas los sujetos debían permanecer en reposo en el lugar de las pruebas en posición sedente, sin permitir que se acostaran o se durmieran, pues estos factores podían afectar las variables de interés. Al completar este periodo, los voluntarios debían hacer un vaciamiento vesical.
- b. Durante la prueba y cada 20 minutos después de iniciada, se les administraba por vía oral una cantidad fija del fluido, calculada por superficie de masa corporal (110,5 ml por cada metro de superficie corporal).
- c. Finalmente, al terminar el ejercicio, se les suministraba hidratación correspondiente a tres cuartos de litro de fluido por cada medio kilo de peso perdido. Para verificar el cumplimiento, los voluntarios debían recibir la hidratación correspondiente en presencia del investigador.

Para determinar la carga de trabajo a realizar se hizo una valoración de la condición física y una estimación del consumo pico de oxígeno ( $VO_{2\text{pico}}$ ) de la siguiente manera:

**Prueba de esfuerzo:** La estimación del consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) se realizó a través de un método indirecto, midiendo la frecuencia cardiaca a través de un monitor de ritmo cardiaco POLAR serie a5. Se realizó una prueba de esfuerzo maximal de acuerdo al protocolo de Astrand en un cicloergómetro MONARK ref. 815E. A cada sujeto se le solicitó pedalear comenzando con una potencia de 25 vatios para mujeres y con una cadencia mayor o igual a 60 revoluciones por minuto para hombres.

Cada tres minutos se incrementó la potencia en 25 vatios hasta que el sujeto reportara fatiga, o cuando

no se evidenció incremento en la frecuencia cardíaca durante dos intervalos consecutivos, situación esta que no se presentó en ninguno de los sujetos del estudio. Se monitorizaron constantemente los valores de frecuencia cardíaca durante toda la prueba y se registraron los valores obtenidos en los últimos 30 segundos de cada intervalo a través del monitor Polar. Esto, basados en el hecho de que un sujeto alcanza el estado estable de  $VO_2$  después de pedalear por tres o cuatro minutos (17). La prueba se realizó en presencia de un médico con entrenamiento en reanimación cardíaca y no se presentó ningún evento adverso que requiriese de su intervención.

A través de la prueba se determinó el  $VO_{2pico}$  individual, lo que permitió verificar las características sedentarias de la población, aplicando la ecuación para prueba de esfuerzo en cicloergómetro, modificada por la ACSM (18).

Los tres grupos de voluntarios participaron en un protocolo de ejercicio en bicicleta durante 1 hora y 30 minutos a una intensidad del 50%–60% de su  $VO_{2pico}$ . Se valoró el peso y el agua corporal total antes y después de finalizada la prueba en bicicleta, a través de un bioimpedanciómetro TANITA TBF300.

Para la medición de las variables del estudio se tomaron muestras de sangre de la vena antecubital a través de la utilización de un catéter de teflón heparinizado (fijado en un brazo de cada sujeto desde el comienzo de la prueba). Se tomaron muestras de sangre de 6 ml en un tubo Vacutainer estéril con EDTA, justo antes de iniciar el protocolo en bicicleta (M0); durante la prueba se tomaron dos muestras, la primera a los 35 minutos (M35) después de iniciado el ejercicio y la otra, a los 70 minutos (M70). Una vez terminada la prueba se tomó una muestra más (M90) y luego otras tres a los 30, 60 y 90 minutos de finalizada la prueba de ejercicio (M120, M150 y M180, respectivamente).

Este estudio fue aprobado y avalado por el Comité de Ética de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia, por lo que los investigadores se acogieron estrictamente a lo dispuesto en el protocolo aprobado, complementando totalmente las hojas de recolección de datos.

Aproximadamente diez minutos después de tomadas las muestras de sangre se realizaron, en cada una, las siguientes mediciones: hematocrito, por micrométodo con tubos capilares por triplicado; hemoglobina, por la técnica de cianmetahemoglobina y para determinar los cambios en el volumen plasmático se tomó como base la primera muestra, calculando el porcentaje de cambio con la fórmula de Dill y Costill a partir de los resultados obtenidos en la hemoglobina y el hematocrito (19). Para obtener el plasma y hacer las determinaciones de electrolitos y osmolaridad plasmática, la sangre se centrifugó a 3.000 revoluciones por minuto durante cinco minutos en una centrífuga Clay Adams Compact. El plasma (aproximadamente 2 ml por muestra) se almacenó y se congeló a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta el momento en que se realizaron las mediciones correspondientes. La medición de electrolitos se realizó por medio de electrodos ión sensibles y la de osmolaridad con osmómetro de presión de vapor de agua Wescor Vapro pressure 5500.

Para las variables demográficas se realizó un análisis estadístico descriptivo y para los datos cualitativos se realizó prueba de normalidad mediante el Test de Shapiro Wilks. Posteriormente se aplicaron las pruebas no paramétricas de Kruskal Wallis (análisis intergrupar) y test de Friedman (análisis intragrupal). Para detectar diferencias entre el valor de reposo y los diferentes momentos de toma de muestra en los datos donde se encontró significancia, se aplicó la prueba de Mann-Whitney y para detectar diferencias entre los dos tipos de hidratación en cada momento, se aplicó el Test de Wilcoxon. El valor de significancia fue establecido con un valor  $p=0,05$ . Para todos los análisis estadísticos se utilizó el *software* estadístico SPSS 8.0.

## Resultados

### Datos demográficos

Los datos demográficos de los 30 voluntarios participantes, 10 por grupo de tratamiento con idéntica distribución por género (5 hombres y 5 mujeres), se presentan en la Tabla 1, expresados como medias ( $\pm$  desviación estándar). La edad en los tres grupos fue de 25,5 ( $\pm 4,97$ ) años, 25,3

( $\pm 4,72$ ) años y 27,2( $\pm 4,76$ ) años para los tratamientos de no hidratación (grupo A), hidratación con agua (grupo B), e hidratación con bebida con contenido de carbohidratos y electrolitos (grupo C), respectivamente. Se presentó un comportamiento similar en la talla de los sujetos.

En la Tabla 2 se muestran las medias de  $VO_{2pico}$  calculada a través de la prueba de esfuerzo en cicloergómetro. También se observa la media de frecuencia cardiaca máxima (FCM) obtenida en la misma prueba y el respectivo cálculo a partir de ésta, para obtener la frecuencia cardiaca de trabajo durante el protocolo experimental, correspondien-

te a rangos entre el 60% y el 72% de la FCM. Los datos que se presentan son medias, correspondientes a cada grupo de tratamiento.

#### Peso corporal y agua corporal total

Los cambios en composición corporal valorados antes y después de realizar la prueba de resistencia en bicicleta se observan en la Tabla 3, en términos de promedios de peso corporal y agua corporal total obtenidos en el momento inicial (peso antes de iniciar el protocolo de ejercicio) y al final del protocolo de ejercicio.

**TABLA 1.** Datos demográficos de los voluntarios. Medias (SD).

TRATAMIENTO A	TRATAMIENTO B	TRATAMIENTO C	TRATAMIENTO D
<b>EDAD (años) (SD)</b> IC (95%)	25,5 (4,97) (21,94 -29,06)	25,3 (4,72) (21,93 -28,67)	27,2 (4,76) (23,8-30,6)
<b>TALLA (mts) (SD)</b> IC (95%)	1,65 ( $\pm 0,09$ ) (1,59-1,73)	1,64 ( $\pm 0,096$ ) (1,57-1,71)	1,67 ( $\pm 0,079$ ) (1,61-1,72)
<b>PESO (kg) (SD)</b> IC (95%)	67,05 ( $\pm 13,18$ ) (57,62-76,47)	63,45 ( $\pm 12,43$ ) (54,66-72,34)	64,31 ( $\pm 11,95$ ) (55,76-72,86)
<b>IMC (SD)</b> IC (95%)	24,2 ( $\pm 2,81$ ) (22,27-26,30)	23,44 ( $\pm 3,31$ ) (21,08-25,81)	22,96 ( $\pm 2,54$ ) (21,14-24,78)
<b>SC (m<sup>2</sup>) (SD)</b> IC (95%)	1,72 ( $\pm 0,21$ ) (1,57-1,88)	1,69 ( $\pm 0,18$ ) (1,57-1,82)	1,71 ( $\pm 0,18$ ) (1,59-1,85)

IMC: índice de masa corporal; SC superficie corporal; IC: intervalo de confianza (95%) SD: desviación estándar; análisis entre los grupos = n.s.

**TABLA 2.**  $VO_{2pico}$  y frecuencias cardiacas. Medias ( $\pm$  desviación estándar).

	TRATAMIENTO A	TRATAMIENTO B	TRATAMIENTO C
<b><math>VO_{2pico}</math> (ml Kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>)</b>	25,31 (4,15)	25,89 (4,19)	26,39 (3,7)
<b>FCM (l.p.m.)</b>	178,2 (9,01)	181,6 (9,43)	178,2 (7,8)
<b>FCT</b>	<b>60% FCM</b>	106,92 (5,4)	109,02 (4,68)
	<b>72% FCM</b>	128,3 (6,48)	130,82 (5,61)

$VO_{2pico}$ : consumo pico de oxígeno; FCM: frecuencia cardiaca máxima; FCT: frecuencia cardiaca de trabajo.

**TABLA 3.** *Peso corporal (kg) y agua corporal (kg) total antes (inicial) y después (final) del protocolo en bicicleta. Medias(SD)*

	TRATAMIENTO A		TRATAMIENTO B		TRATAMIENTO C	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
<b>PESO (<math>\pm</math>SD)</b> IC (95%)	*65,68 (1,98) (56,4-74,96)	*65,33(12,89) (56,11-74,55)	62,41(11,63) (54,09-70,73)	62,28(11,34) (54,17-70,93)	64,72(11,99) (56,14-73,3)	64,79(11,95) (56,24-73,34)
<b>ACT (SD)</b> IC (95%)	36,86 (7,03) (31,83-41,89)	36,54 (6,81) (31,67-41,41)	35,76 (6,73) (30,95-40,57)	35,94 (6,64) (31,19-40,69)	36,96 (7,87) (31,33-42,59)	37,24 (7,85) (31,62-4,86)

ACT: agua corporal total; SD: desviación estándar; IC: intervalo de confianza (95%); \* $p < 0,05$  análisis del grupo.

La media de peso inicial para el grupo A fue de 65,68( $\pm$ 12,98) kg, mientras que el peso final fue de 65,33( $\pm$ 12,89) kg; se presentó una disminución promedio de pérdida de peso de 350 gramos con un rango entre 200 y 700 gramos, diferencia estadísticamente significativa para este grupo, al cual no se le administró ningún tipo de bebida hidratante ( $p < 0,05$ ). La media de la diferencia de peso inicial y final (130g, de pérdida de peso al final) no fue estadísticamente significativa en el grupo B, con resultados similares para el grupo C. Al realizar el análisis para los tres grupos se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre los grupos A y B y entre los grupos A y C ( $p < 0,05$ ). En el grupo A se presentó una disminución media de 320 gramos, en el grupo B se presentó un incremento medio de 180 gramos y en el grupo C, un incremento de 280 gramos.

### Resultados hematimétricos

En la Tabla 4 aparecen las medias (SD) e intervalo de confianza del 95% para las variables hematológicas correspondientes a los siete diferentes momentos de toma de muestras.

**Hemoglobina y hematocrito:** Para la hemoglobina, el análisis estadístico aplicado a cada grupo y entre los grupos, no demostró diferencias significativas. Para el hematocrito, en el grupo A los promedios de hematocrito se encontraron dentro de los valores esperados, sin que existieran diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tiempos de muestreo. En el grupo B se encontraron diferencias estadísticamente significa-

tivas entre los siguientes tiempos de comparación ( $p < 0,05$ ): tiempo 0 vs.35; 0 vs. 70; 0 vs.90; 0 vs. 120; 0 vs.150. Los valores encontrados fueron los siguientes: 0 minutos 47,45( $\pm$ 2,98)%; 35 minutos 46,57( $\pm$ 2,99)%; 70 minutos 46,77( $\pm$ 3,18)%; 90 minutos 46,21( $\pm$ 2,83)%; 120 minutos 46,31 ( $\pm$ 2,85)%. En el grupo C el promedio de hematocrito antes de iniciar la prueba de resistencia en bicicleta fue de 47,03( $\pm$ 4,18)% con cambios leves a través de toda la prueba y con reducciones estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) dentro del grupo entre los siguientes tiempos de comparación: tiempo 0 vs. 120; tiempo 0 vs. 150.

Los promedios del cambio de volumen plasmático ( $\pm$ SD) se pueden observar en la Tabla 5. Los valores del cambio de volumen plasmático se realizaron asumiendo como valor del reposo un 100%, frente al valor calculado en cada uno de los tiempos de muestreo, a partir de los parámetros de hemoglobina y hematocrito según la fórmula de Dill y Costill. Al realizar el análisis estadístico a nivel del grupo y entre los grupos no se encontraron diferencias significativas.

### Resultados de los electrolitos y osmolaridad

#### Concentración plasmática de sodio

La Tabla 6 muestra las medias de la concentración plasmática de sodio, correspondiente a los siete diferentes momentos. Para el grupo A la media ( $\pm$ desviación estándar) encontrada para la concentración de sodio antes de iniciar el protocolo de ejercicio fue de 145,78 ( $\pm$ 5,01) mEq/l; las con-

**TABLA 4.** Parámetros hematológicos: promedio concentraciones de hemoglobina y porcentaje de hematocrito

	MO	M35	M70	M90	M120	M150	M180
<b>Hemoglobina (g/dl)</b>							
<b>Tto A(±SD)</b> IC	17,92(2,43) (16,18-19,66)	17,84 (2,94) (15,74-19,94)	17,95 (3,15) (15,70-20,2)	17,65 (3,55) (15,11-20,19)	17,06 (3,17) (14,80-19,33)	16,97 (3,03) (14,81-19,14)	17,55 (3,29) (15,2-19,9)
<b>TtoB (±SD)</b> IC	17,73 (1,26) (16,82-18,63)	17,78 (2,05) (16,32-19,25)	17,52 (1,82) (16,22-18,82)	17,11 (1,99) (15,68-18m53)	17,66 (1,93) (16,27-19,05)	17,60 (2,44) (15,72-19,47)	17,67 (1,51) (16,59-18,74)
<b>TtoC (±SD)</b> IC	17,71 (1,88) (16,37-19,06)	17,95 (2,33) (16,27-19,62)	(16,42-19,61) 18,01 (2,23)	17,84 (1,79) (16,56-19,12)	17,61 (1,7) (16,39-18,83)	17,2 (1,81) (15,91-18,5)	17,62 (2,25) (16-19,23)
<b>Hematocrito (%)</b>							
<b>Tto A(±SD)</b> IC	45,06 (5,83) (40,57-49,54)	44,72 (5,85) (40,22-49,22)	45,36 (6,21) (40,59-50,13)	45,17 (6,28) (40,34-50)	44,40 (5,95) (39,82-48,97)	44,53 (5,73) (40,12-48,93)	45,09 (6,26) (40,27-49,9)
<b>TtoB (±SD)</b> IC	47,45(2,98) (45,31-49,58)	*46,57(2,99) (44,42-48,71)	*47,04 (3,25) (44,49-49,05)	*6,21 (2,83) (44,18-48,24)	*46,31 (2,84) (44,27-48,34)	*46,49 (2,59) (44,49-48,47)	46,74 (2,87) (44,69-48,8)
<b>TtoC (±SD)</b> IC	47,03 (4,18) (44,03-50m01)	46,57 (4,25) (43,53-49,61)	46,52 (4,73) (43,13-19,9)	45,75 (4,67) (42,41-49,09)	*45,29 (4,95) (41,74-48,82)	*45,09 (4,89) (41,58-48,59)	45,77 (4,63) (42,46-49,08)

Tto A: Tratamiento A, Tto B: tratamiento B, Tto C: tratamiento C; SD: desviación estándar; IC: intervalo de confianza (95%); los cambios significativos con respecto al valor de hematocrito en reposo (M0) son indicados  $p < 0,05$  análisis de grupo; análisis entre los grupos=n.s.

**TABLA 5.** Determinación del cambio de volumen plasmático.

	TRATAMIENTO A	TRATAMIENTO B	TRATAMIENTO C
<b>VOLP 35 (SD)</b>	102,56 (8,03)	101,97 (7,49)	100,44 (11,08)
<b>VOLP 70 (SD)</b>	100,88 (9,02)	102,99 (7,15)	100,19 (13,83)
<b>VOLP 90 (SD)</b>	103,84 (9,77)	106,94 (9,98)	102,16 (11,65)
<b>VOLP 120 (SD)</b>	108,33 (10,37)	103,26 (8,99)	104,56 (13,67)
<b>VOLP 150 (SD)</b>	108,29 (7,91)	105,33 (11,42)	106,95 (8,17)
<b>VOLP 180 (SD)</b>	103,99 (9,75)	101,99 (5,84)	103,69 (10,57)

VOLP: volumen plasmático; SD: desviación estándar; IC: intervalo de confianza (95%); análisis de grupo=n.s.; análisis entre los grupos=n.s.

centraciones en los diferentes momentos para este grupo se mantuvieron en rangos normales y no se encontraron diferencias estadísticamente significativas al análisis entre los grupos. Para el grupo B el

promedio(± desviación estándar) de concentración plasmática de sodio fue de 145,47(±5,91) mEq/l antes de comenzar la prueba de ejercicio de resistencia, con cambios en los minutos 90, 120 y 150

**TABLA 6.** Parámetros hidroelectrolíticos: promedio de concentraciones plasmáticas de sodio y potasio y osmolaridad plasmática.

	MO	M35	M70	M90	M120	M150	M180
<b>Sodio (mEq.l<sup>-1</sup>)</b>							
<b>Tto A(±SD)</b> IC	145,78(5,01) (142,12- 149,36)	146,41(5,58) (142,12- 150,70)	145,53(4,13) (142,58- 148,49)	144,40(3,40) (141,80- 147,02)	144,61(3,51) (141,91- 147,31)	144,17(3,22) (141,87- 146,48)	144,09(2,94) (141,99- 146,19)
<b>TtoB (±SD)</b> IC	145,47(5,91) (141,24- 147,74)	143,12(4,95) (139,31- 146,93)	143,11(4,04) (140,22- 146,01)	*141,68(3,74) (139,01- 146,92)	*142,05(4,34) (138,41- 145,68)	*141,76(3,84) (139,01- 144,51)	142,67(3,75) (139,80- 145,55)
<b>TtoC (±SD)</b> IC	145,82(2,67) (143,91- 147,74)	145,53(2,87) (143,48- 147,58)	*143,92(3,76) (141,23- 146,62)	143,93(4,18) (140,94- 146,92)	144,07(2,86) (142,02- 146,12)	144,82(4,09) (141,89- 147,75)	144,27(2,54) (142,45- 146,08)
<b>Potasio (mEq.l<sup>-1</sup>)</b>							
<b>Tto A(±SD)</b> IC	3,76(0,29) (3,55-3,97)	*4,26(0,49) (3,89-4,63)	*4,23(0,39) (3,94-4,51)	*4,01(0,35) (3,75-4,28)	3,80(0,29) (3,58-4,02)	3,71(0,31) (3,49-4,94)	3,72(0,28) (3,51-3,92)
<b>TtoB (±SD)</b> IC	4,07(0,33) (3,84-4,31)	*4,30(0,29) (4,09-4,51)	4,21(0,26) (4,03-4,40)	4,01(0,27) (3,81-4,19)	*3,66(0,23) (3,48-3,85)	*3,64(0,26) (3,45-3,82)	*3,63(0,20) (3,47-3,78)
<b>TtoC (±SD)</b> IC	4,23(0,54) (3,84-4,62)	4,34(0,38) (4,07-4,61)	4,22(0,35) (3,96-4,47)	*3,95(0,34) (3,71-4,19)	*3,63(0,32) (0,40-3,86)	*3,59(0,29) (3,38-3,80)	*3,58(0,26) (3,39-3,77)
<b>Osmolaridad (mOsm.l<sup>-1</sup>)</b>							
<b>Tto A(±SD)</b> IC	284,44(6,62) (279,36- 289,53)	287(8,77) (280,25- 293,74)	284,75(11,33) (275,27- 294,23)	291,33(6,71) (284,29- 298,38)	286,33(8,77) (279,59- 293,08)	288,50(4,30) (248,89- 292,1)	*288,22(5,49) (283,99- 292,45)
<b>TtoB (±SD)</b> IC	285,2(6,05) (280,87- 289,52)	286,4(7,97) (280,69- 292,1)	287,7(6,78) (282,85- 292,55)	285,8(7,22) (280,63- 290,97)	287,11(8,31) (280,72- 293,5)	283,2(5,07) (279,57- 286,82)	*280,89(4,23) (277,64- 284,14)
<b>TtoC (±SD)</b> IC	286,33(9,35) (279,14- 293,52)	289,2(5,14) (285,52- 292,87)	289,1(3,84) (286,35- 291,85)	285,9(6,08) (281,55- 290,25)	284,6(7,20) (279,45- 289,75)	286,6(5,87) (282,40- 290,8)	285,3(5,21) (281,57- 289,02)

Tto A: tratamiento A, Tto B: tratamiento B, Tto C: tratamiento C; SD: desviación estándar; IC: intervalo de confianza (95%); \* $p < 0,05$  análisis estadístico intragrupal con respecto a M0; <sup>TM</sup>  $p < 0,05$  análisis intergrupala.

posteriores al ejercicio, encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre el reposo y estos tiempos de comparación ( $p < 0,05$ ). Para el grupo C, al realizar el análisis estadístico entre los grupos se encontró diferencia estadísticamente significativa entre la concentración plasmática de sodio en el minuto 70 y el comienzo de la prueba (M0 vs. M70) ( $p < 0,05$ )

#### Concentración plasmática de potasio

En la Tabla 4 se observa que en el grupo A se presentaron cambios significativos en la concentración plasmática de potasio en los siguientes tiempos de comparación ( $p < 0,05$ ): tiempo 0 vs. 35; tiempo 0 vs. 70 y tiempo 0 vs. 90. Para el grupo B las diferencias se presentaron entre los tiempo 0 vs.



35; tiempo 0 vs. 120; tiempo 0 vs. 150; y tiempo 0 vs. 180 y para el grupo C las diferencias estadísticamente significativas se encontraron entre los tiempos de comparación ( $p < 0,05$ ): tiempo 0 vs. 90; tiempo 0 vs. 120; tiempo 0 vs. 150; y tiempo 0 vs. 180.

### Osmolaridad

La osmolaridad presentó diferencias en el análisis entre los grupos, con diferencias estadísticamente significativas entre la última osmolaridad medida (M180), entre los grupos de no hidratación (grupo A) y el grupo que se hidrató con agua (grupo B).

### Eventos adversos

Únicamente se registraron dos eventos adversos ocurridos durante la aplicación de la prueba de esfuerzo maximal, uno en un hombre y otro en una mujer, quienes reportaron mareo, palidez, debilidad e hipotensión al final de la prueba. La sintomatología fue transitoria y al cabo de quince minutos de reposo en decúbito supino desapareció completamente, pudiendo los voluntarios completar el estudio, sin que se volviera a presentar ninguna otra sintomatología. Por no requerir de tratamiento adicional, estos eventos se catalogaron como leves.

### Discusión

En la presente investigación se valoró el comportamiento de variables hidroelectrolíticas y la influencia del tipo de hidratación sobre las mismas durante la realización de un ejercicio prolongado (90 min) y de intensidad baja a moderada del 50% al 60 % del volumen máximo de oxígeno ( $VO_{2máx}$ ) en sujetos sedentarios. Como se ha descrito previamente, el ejercicio físico intenso y prolongado ocasiona pérdidas de peso corporal a expensas del agua corporal total, cuya magnitud puede variar de acuerdo al ambiente, a la intensidad del ejercicio, a la hidratación, a la ropa y a la aclimatación (8). Los adultos toleran un déficit de agua corporal de aproximadamente 1,5 litros sin una respuesta fisiológica alterada, aunque una pérdida de líquido equivalente al 1% del peso corporal se asocia con un aumento significativo en la temperatura rectal, comparado con el mismo ejercicio con una hidratación normal.

Claremont en 1975 realizó un estudio donde obtuvo una pérdida significativa de peso en promedio de 350 g, que correspondió a 0,53% del peso corporal en el grupo que no se hidrató. Esta pérdida se produjo principalmente a expensas de una disminución proporcional (320 g) de agua corporal total y el grupo sin hidratación fue tomado como grupo control, para verificar la importancia de las bebidas hidratantes en estudio. El porcentaje de pérdida fue muy inferior al encontrado en estudios previos, en donde los promedios oscilaron entre el 2% y el 4%, para ejercicio prolongado de 1 a 1½ horas de duración, con intensidades de ejercicio superiores al 60%  $VO_{2máx}$ . (15,18,20-24).

Este menor porcentaje de pérdida, que se acompañó a su vez de menor producción de sudor, está de acuerdo con hallazgos de estudios anteriores en los que se buscaba determinar y comparar la actividad secretora de las glándulas sudoríparas, en sujetos de ambos sexos entrenados vs. sujetos no entrenados, durante la realización de ejercicio físico en cicloergómetro, estableciendo que la tasa de sudoración es mayor para los sujetos entrenados y, que el inicio de la producción de sudor, ocurre más tardíamente en sedentarios (10).

A partir de estos hallazgos se podría establecer que serían varias las razones para la menor pérdida de peso encontrada en este estudio, comparada con las pérdidas reportadas en otros. En primer lugar, que los estudios previos se han realizado con sujetos entrenados, quienes por efectos del entrenamiento y de las cargas de trabajo que toleran desarrollan tasas de sudoración más elevadas, lo que ocasiona una mayor pérdida de agua a través de sudor y, por lo tanto, mayor cantidad de agua corporal total, ocasionando marcada hipohidratación en comparación con sujetos sedentarios. Un segundo factor sería el clima, pues la mayoría de estudios sobre hidratación se han desarrollado en climas cálidos, sitios en los que las pérdidas de agua a través del sudor son mayores con respecto a la deshidratación producida durante el ejercicio en climas fríos o templados, como es el de Bogotá. Finalmente, la aplicación es este estudio de una carga de trabajo moderada que favorecía pérdidas limitadas de agua corporal total, en comparación con las cargas de trabajo que se pueden desarrollar con poblaciones físicamente entrenadas, pues por tratarse de sujetos sedentarios, no era conveniente

someterlos a intensidades de ejercicio superiores al 60% del  $VO_{2m\acute{a}x}$ .

La culminación del protocolo de ejercicio en el presente estudio reafirmó que los sujetos tuvieron una carga de trabajo adecuada, sin que se presentara disminución de la capacidad de realizar el trabajo físico establecido en el protocolo, hallazgos que están en acuerdo con el estudio de Bachle *et al.* (24) y realizado en once sujetos físicamente activos, sometidos a ejercicio de intensidad moderada en bicicleta durante 60 minutos, comparando tres tipos de hidratación. Este autor encontró incrementos significativos de peso cuando se administraba hidratación (agua destilada o Gatorade®), comparado con el grupo que no recibió ningún tipo de hidratación. Sin embargo y a diferencia de esta investigación, en la mayoría de estudios, incluso con reemplazo de fluidos, se continúa observando una pérdida de peso, que aunque es significativamente menor con respecto de la observada en condiciones de no hidratación, en algunos casos puede alcanzar hasta un 2% de pérdida de peso corporal. Esta deshidratación puede generarse por la carga de trabajo físico (intensidad y duración elevadas), ambiente cálido, protocolo de hidratación y el tipo de ejercicio (2,8).

En un estudio realizado en Colombia por Caldas *et al* (22) en 1997 se encontraron pérdidas hasta del 4,3% sin hidratación y del 2,4% con hidratación, cuando se exponía a los sujetos a ejercicio intermitente en banda sin fin, durante 90 minutos al 80% de la FCM. Estos resultados sugieren la importancia de la hidratación, antes, durante y después del ejercicio y que seguir un protocolo de hidratación disminuye las pérdidas de peso, pérdidas que posiblemente sean a expensas del agua en el sudor y a pérdidas insensibles como son las respiratorias.

Uno de los primeros indicadores de hidratación es el peso corporal y con adecuados patrones de hidratación antes, durante y después del ejercicio, se debe observar mantenimiento del mismo, aún después de finalizada la actividad. Es así como en nuestro estudio, en los grupos de hidratación B y C se encontró que el peso no varió de forma significativa después de realizada la prueba de resistencia en bicicleta con respecto al inicio de la misma, lo que permite inferir que hubo una adecuada hidratación. Se esperaba, que al igual que en el grupo

sin hidratación, hubiese una relación directa entre el agua corporal total y el peso; sin embargo, en el grupo B se observó que el promedio de peso descendió, mientras que el promedio del agua corporal total subió. Es importante resaltar que las reacciones metabólicas para producción de energía pueden favorecer la producción agua generada a partir del ciclo de Krebs (25).

*Hemoglobina y hematocrito:* La hemoglobina, el hematocrito y recuento de glóbulos rojos juegan un papel importante en el transporte de oxígeno y por lo tanto pueden influenciar el desempeño en los deportes de resistencia, dependiendo de la capacidad aeróbica, como es el caso del ciclismo, las competencias de atletismo, etc. (26). En el transcurso de un ejercicio físico aeróbico prolongado el volumen de plasma se reduce y se produce una hemoconcentración, evidenciada en un incremento en los valores del hematocrito en ambientes cálidos (27); algunos autores establecen que el recuento de glóbulos rojos se aumenta con frecuencia durante los primeros momentos del ejercicio, debido a la hemoconcentración. En el grupo A de nuestro estudio de evidenció una tendencia a la hemoconcentración similar a la descrita en la literatura, siendo más explícita en los minutos 70 y 90 ( $p=n.s.$ ), finalizado el ejercicio. Los grupos B y C mostraron disminución del hematocrito de forma progresiva, más marcada en el minuto 120 ( $p<0,05$ ). Este resultado se debe posiblemente a que en el minuto 90 se realizó una nueva hidratación, correspondiente a la pérdida de peso. Los resultados de hemoglobinemia mostraron escasos cambios entre el minuto 0 y el minuto 35 y se mantuvieron hasta el minuto 70 en los tres grupos de tratamiento; en el minuto 150 el grupo A y el grupo C presentaron una disminución marcada, la cual se correlaciona con la tendencia del hematocrito ( $p=n.s.$ ).

Los cambios descritos en la literatura se basan principalmente en estudios realizados en deportistas y con intensidades de ejercicio que sobrepasan el 60% del  $VO_{2m\acute{a}x}$ ; los hallazgos encontrados en sedentarios son muy limitados y se centran en describir el comportamiento de estas variables en las condiciones habituales de cada uno de ellos, es decir, sin someterlos a ningún tipo de estrés físico adicional al de sus actividades cotidianas, como si se hizo en este estudio. Nuestros resultados evidencian que cuando sujetos sedentarios y sin recibir hidra-

tación trabajan a intensidades cercanas al 60% de su capacidad máxima, no se presentan alteraciones importantes en la concentración de hemoglobina y en los porcentajes de hematocrito y, que cuando la bebida elegida es el agua, la disminución del hematocrito en los tiempos posteriores a la hidratación es significativamente distinta en los diferentes tiempos hasta el minuto 120 ( $p < 0,05$ ), situación que se presentó de manera similar con la bebida con carbohidratos y electrolitos, pero sólo en el tiempo 120 y 150 minutos ( $p < 0,05$ ). Los escasos cambios en el grupo A pueden atribuirse a que la intensidad del ejercicio físico a que fueron sometidos no fue suficiente para generar un estado de deshidratación importante que se reflejara en una alteración.

Con relación al volumen plasmático, diversos estudios han demostrado que existen cambios considerables en el volumen del plasma durante y después de la exposición a diferentes ambientes o condiciones fisiológicas, cambios que se interpretan como producto de intercambios transitorios de fluido entre el espacio intersticial e intravascular, pues al iniciar el ejercicio hay un aumento casi inmediato de pérdida de volumen plasmático hacia el compartimiento fluido intersticial (10,28). Los resultados de este estudio en el grupo A mostraron incrementos leves: 2,56% en el minuto 35, 0,88% en el minuto 70 y 3,84% al finalizar la prueba. Estos resultados contradicen lo planteado por Wilmore (30), posiblemente porque el ejercicio que se realizó es isotónico y de intensidad baja y pudo generar escasos cambios a nivel de la permeabilidad capilar en la parte aguda del ejercicio.

Cuando los individuos del grupo A permanecieron en reposo (minutos 120, 150 y 180) se incrementó el volumen plasmático hasta un 8,33%, situación que se puede considerar normal y secundaria, por el leve incremento del hematocrito hasta el minuto 90 en este grupo y por el barrido de desechos que se produce en los músculos, favoreciendo el paso de agua desde el intersticio hasta el espacio intravascular. En los grupos B y C se observó tendencia similar a la del grupo A en los primeros momentos del estudio. El grupo B presentó además, un pico de volumen plasmático al minuto 90, posiblemente porque la hidratación con agua presentó una mejor absorción entre los tiempos 60 a 90 minutos. En cambio, en el grupo C, el incremento más marcado del volumen plasmático se presentó

en los minutos 120 y 150, resultados que pueden deberse a que la hidratación realizada con la bebida de carbohidratos más electrolitos (osmolaridad de 260 a 420 miliosmoles) presenta una absorción limitada y retardada en el tiempo.

Estos resultados están acordes con los demostrados como respuesta aguda al ejercicio, en donde se produce una hemoconcentración transitoria como producto de la reducción en el volumen plasmático inmediatamente después de una carrera de larga distancia, de pruebas en cicloergómetro, en natación y en pruebas máximas y submáximas sin hidratación. Los cambios son transitorios y al cabo de pocas horas se puede generar hemodilución a largo plazo, como respuesta aguda al ejercicio (28).

Los datos obtenidos en cada uno de los grupos evaluados mostraron también que la actividad física en ambiente frío (temperatura promedio de 20 grados), con intensidad moderada con o sin hidratación, favorecen incrementos del volumen plasmático sin que se generen cambios a nivel del desempeño físico en los sujetos sedentarios. Los reportes de Sproule (16) mostraron una reducción leve del volumen plasmático en sujetos que se ejercitaban en cicloergómetro durante una hora sin hidratación, mientras que cuando se les administraba una bebida con contenido de carbohidratos y electrolitos y una bebida placebo con las mismas características en cuanto a color y sabor, pero sin carbohidratos y sin electrolitos, se observaba una expansión leve, tal y como sucedió en la presente investigación.

*Concentraciones de electrolitos:* El sodio, cuyos niveles plasmáticos se encuentran entre 136 a 145 mmol/l es el catión extracelular primario y es por lo tanto el que se pierde en mayor cantidad durante el ejercicio (25). Es el responsable de mantener en gran proporción la presión osmótica de los fluidos intra y extracelulares y conjuntamente con el ión potasio, actúa sobre la membrana celular interviniendo en la transmisión del impulso electroquímico; adicionalmente, a nivel intracelular, participa en diferentes reacciones metabólicas y junto con el cloro, son los principales electrolitos componentes del sudor, con niveles de sodio entre 20 a 80 mmol/l (15).

Como los electrolitos y en particular los niveles de sodio varían dramáticamente en el sudor, la actividad física puede afectar potencialmente el

balance de sodio y de cloruros, especialmente por incremento en la pérdida cuando existen tasas de sudoración elevadas, aunque también pueden decrecer cuando la persona se aclimata al calor, o cuando se adapta al entrenamiento. Todo esto puede justificar que no se hayan presentado cambios estadísticamente significativos en el grupo A de esta investigación en ninguno de los momentos de muestreo, teniendo en cuenta las condiciones del protocolo no fueron lo suficientemente exigentes como para ocasionar una deshidratación importante con sudoración excesiva (8,28-32).

En los grupos B y C se presentaron cambios con una reducción que fue estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) en los tiempos 90, 120 y 150 minutos con respecto a inicial en el grupo B y en el tiempo 70 minutos en el grupo C. En el grupo B los cambios se pudieron generar por el tipo de bebida hidratante que se utilizó, aunque los valores que se determinaron se encontraban dentro de parámetros de normalidad. Una caída precipitada en los niveles plasmáticos de sodio durante el ejercicio está asociada con un deterioro en el rendimiento físico (33) y, adicionalmente, un nivel de sodio de 136 mmol/l o menos (hiponatremia), está asociado con graves riesgos para la salud, situación que estuvo muy lejos de presentarse en este estudio, porque la hiponatremia se presenta más comúnmente en atletas de ultrarresistencia (más de tres horas de ejercicio) (8).

Es importante tener en cuenta que los estudios publicados acerca del ejercicio físico afirman que eventualmente se puede presentar hiponatremia, pero también hipernatremia, observándose un incremento en los niveles de sodio plasmático en situaciones asociadas a hemoconcentración, porque a pesar de las pérdidas netas de sodio y de agua, el sudor es extremadamente hipotónico con relación al plasma y se genera mayor pérdida de agua en comparación con la pérdida de sodio (8).

La discreta variabilidad en la concentración de sodio plasmático encontrada en este estudio puede atribuirse al hecho de que la intensidad del ejercicio físico y las condiciones climáticas produjeron un estrés insuficiente como para promover cambios significativos en esta variable, aunque cabe destacar el hecho de que aún bajo estas circunstancias, se pudieron apreciar diferencias discretas en los

grupos de hidratación frente a la no hidratación, con resultados favorables para el grupo que fue hidratado con bebida de carbohidratos más electrolitos. El grupo A de no hidratación presentó una homeostasis adecuada en la regulación de la concentración de sodio, puesto que por más que se perdió peso, no se presentaron cambios en la concentración de sodio plasmático.

Hay que recordar que la concentración de potasio intracelular tiene un efecto directo en las funciones musculares incluyendo la cardíaca, así como en la transmisión del impulso electroquímico y que durante el ejercicio los músculos liberan potasio, por lo cual su concentración plasmática se incrementa durante esta actividad (34). Los efectos del ejercicio sobre los cambios de potasio en plasma han sido estudiados por varios investigadores y se han reportado incrementos de hasta un 20% del valor de reposo, con cifras de 5,5 mEq/l hasta 6 mEq/l. En un estudio realizado por Ramírez (35) se encontraron valores hasta de 5,5 mEq/l con una media de 4,6 mEq/l, mientras que en nuestro estudio los resultados en la concentración plasmática de potasio no superaron los 5 mEq/l.

El leve incremento de potasio observado en los tres grupos tuvo diferencias estadísticamente significativas en los grupos A y B en el minuto 35 frente al minuto 0. El grupo A presentó incrementos en el minuto 70 y en el minuto 90, los cuales también presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ); los incrementos se pueden deber a movilización del potasio del músculo al plasma, por cambios en la permeabilidad de la membrana celular muscular (19). El potasio también puede ser difundido al fluido extracelular debido a la depleción de glicógeno, o a la lisis ocasionada en las células musculares, sanguíneas o hepáticas.

Probablemente el incremento de la concentración de potasio observada en este estudio se deba más a lisis celular, por tratarse de individuos sedentarios que no presentan adaptaciones de su línea eritroide al estrés de las membranas al pasar rápidamente por los capilares. La tendencia inicial de incrementos séricos de potasio en los grupos B y C se siguió por disminución en los tiempos 120, 150 y 180 minutos, diferencia que fue estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ). Estos valores se relacionan de manera directa con los valores obtenidos para el

ión sodio y se pueden explicar porque en el grupo B la bebida utilizada fue agua sin electrolitos, lo que pudo generar dilución y porque en el grupo C no se administró una dosis adicional de la bebida con carbohidratos más electrolitos, ante la ausencia de pérdida de peso al final de la prueba. En general se puede afirmar que el organismo de los sujetos generó mecanismos homeostáticos para la regulación del ión potasio de manera adecuada, lo que permitió que esos valores se encontraran dentro de límites normales, independiente de si el sujeto era hidratado o no, bajo el modelo de ejercicio impuesto en este estudio.

Se ha determinado que en el sistema vascular se pueden presentar cambios a nivel del volumen plasmático y en las concentraciones de electrolitos, que en algunos casos generan una osmolaridad plasmática incrementada, en proporción directa a la cantidad de fluidos perdidos (9). Este incremento en la osmolaridad se atribuye al hecho de que el volumen plasmático es el principal precursor de fluidos para el sudor y, normalmente, el sudor en individuos no entrenados (sujetos sedentarios) es hipotónico con respecto al plasma (6). Los resultados encontrados en la osmolaridad plasmática demuestran que esta variable se encuentra regulada de manera muy fina por el organismo, independiente de las situaciones a las cuales se encuentre enfrentado. Por ejemplo, cuando los individuos no fueron hidratados, la osmolaridad plasmática se incrementó desde 284,4 mOsm/l hasta 287 mOsm/l en la primera etapa, situación que se mantuvo en este rango de valores hasta casi finalizada la prueba y sin encontrar diferencias significativas dentro del grupo. Los valores límites encontrados en los grupos B y C también se encontraron en rangos similares, aunque la regulación en el grupo C fue mucho más precisa al parecer, porque se presentaron menores oscilaciones en la osmolaridad. En el minuto 180, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos A y B en el análisis entre los grupos, situación que puede deberse a que el grupo B, al ser hidratado solo con agua, generó una dilución más marcada que se apreció en ese momento. La homeostasis de la osmolaridad en el organismo demostró ser adecuada ante las tres intervenciones experimentales en el presente estudio.

Este trabajo se constituye en un primer acercamiento hacia el estudio de la fisiología hidroelectrolítica

en sujetos sedentarios, demostrando que esta población está en la capacidad de realizar ejercicio con las características propuestas y sin que presenten alteraciones clínicamente relevantes a nivel de fluidos y electrolitos que pudieran generar algún tipo de alteración o riesgo, pero generando cambios que aunque discretos, se presentaron principalmente a nivel de pérdida de peso. Ante el aumento de la intensidad o de la duración del ejercicio, estos cambios podrían ser más marcados, llegando incluso a niveles perjudiciales para el organismo del sujeto. Se evidencia así la necesidad de realizar más investigaciones al respecto, que permitan establecer pautas y parámetros que clarifiquen los primeros hallazgos realizados en este estudio.

Con base en lo descrito se puede concluir que un protocolo de ejercicio donde sujetos sedentarios realicen actividad a una intensidad del 60% del  $VO_{2\text{pico}}$  es tolerado adecuadamente, sin producir eventos secundarios como fatiga, que pueda interferir con el óptimo desempeño durante el mismo, generando una pérdida de peso con cambios proporcionales en agua corporal total, que es compensada cuando se administra algún tipo de hidratación.

Bajo las condiciones de ejercicio planteadas en esta investigación, el organismo posee mecanismos regulatorios óptimos, que responden adecuadamente ante el estrés impuesto, manteniendo una homeostasis hidroelectrolítica y de osmolaridad adecuada, independientemente del régimen de hidratación. Sin embargo, es más efectiva la reposición hídrica con bebidas con contenido de carbohidratos y electrolitos que con agua pura, pues esta última demostró inducir hemodilución, que puede alterar, aunque levemente, el equilibrio hidroelectrolítico.

Las recomendaciones planteadas por la ACSM (3) en su consenso sobre hidratación durante la realización de ejercicio físico son adecuadas para la población sedentaria, favoreciendo el mantenimiento del peso corporal durante la realización del mismo.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Centro de Medicina del Esfuerzo en las condiciones ambientales

del medio colombiano de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia, por el apoyo técnico y logístico para desarrollar este trabajo, financiado por la División Nacional de Investigación (DINAIN) de la Universidad Nacional de Colombia.

## Referencias

1. Ferguson MA. Exercise in a hot environment: comparison of two different fluid intake patterns. *J Sports Med Phys Fitness*. 2005;45(4):501-6.
2. Duvillar SP, Braun WA, Markofski MS, Beneke R, Leithäuser R. Fluids and Hydration in Prolonged Endurance Performance. *Nutrition*. 2004;20:651-656.
3. American College of Sports Medicine (ACSM). Position Stand on exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc*. 1996;28:i-vii.
4. Murray B. El reemplazo de fluidos: posición del colegio americano de medicina del deporte. *Sports Science Exchange*. 1996;9(4):1-10.
5. Marino FE, Kay E, Nathan S. Exercise time to fatigue and the critical limiting temperature: effect of hydration. *Journal of Thermal Biology*. 2004;29:21-29.
6. Sawka MN, Convertino VA, Eichner ER, Schnieder SM, Young AJ. Blood volume: importance and adaptations to exercise training, environmental stresses, and trauma/sickness. *Med Sci Sports Exerc*. 2000; 32(2):332-48.
7. Casa DJ, Maresh CM, Armstrong LE, Kavouras SA, Herrera JA, Hacker FT Jr, et al. Intravenous versus oral rehydration during a brief period: responses to subsequent exercise in the heat. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(1):124-33.
8. Rehrer NJ. Fluid and electrolyte balance in ultra-endurance sport. *Sports Med*. 2001;31(10):701-15.
9. Grant SM, Green HJ, Phillips SM, Enns DL, Sutton JR. Fluid and electrolyte hormonal responses to exercise and acute plasma volume expansion. *J Appl Physiol*. 1996;81(6):2386-92.
10. Leiper JB, Pitsiladis Y, Maughan RJ. Comparison of water turnover rates in men undertaking prolonged cycling exercise and sedentary men. *Int J Sports Med*. 2001;22(3):181-5.
11. Nadel ER, Fortney SM, Wenger CB. Effect of hydration state of circulatory and thermal regulations. *J Appl Physiol*. 1980;49(4):715-21.
12. Maughan RJ, Shirreffs SM, Leiper. Rehydration and recovery after exercise. *Sport Sci Exch*. 1996;9(92):1-5.
13. Montain SJ, Coyle EF. Fluid ingestion during exercise increases skin blood flow independent of increases in blood volume. *J Appl Physiol*. 1992;73(3):903-10.
14. Powers SK, Lawler J, Dodd S, Tulley R, Landry G, Wheeler K. Fluid replacement drinks during high intensity exercise: effects on minimizing exercise-induced disturbances in homeostasis. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1990;60(1):54-60.
15. Sawka MN, Montain SJ. Fluid and electrolyte supplementation for exercise heat stress. *Am J Clin Nutr*. 2000;72(2 Suppl6):S564-72.
16. Sproule J. The influence of either no fluid or carbohydrate-electrolyte fluid ingestion and the environment (thermo-neutral versus hot and humid) on running economy after prolonged, high-intensity exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1998;77(6):536-42.
17. American College of Sports Medicine (ACSM). ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription. 6 ed. New York: Lippincott Williams & Wilkins; 2000.
18. Saat M, Singh R, Sirisinghe RG, Nawawi M. Rehydration after exercise with fresh young coconut water, carbohydrate-electrolyte beverage and plain water. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*. 2002;21(2):93-104.
19. Dill DB, Costill DL. Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J Appl Physiol*. 1974;37(2):247-8.
20. Singh R, Sirisinghe RG. Haematological and plasma electrolyte changes after long distance running in high heat and humidity. *Singapore Med J*. 1999;40(2):84-7.
21. Webster S, Rutt R, Weltman A. Physiological effects of a weight loss regimen practiced by college wrestlers. *Med Sci Sports Exerc*. 1990;22:229-34.
22. Caldas R, Ortiz A, Jaramillo H. Influencia del estado de hidratación sobre la capacidad física de trabajo y sobre la recuperación en atletas corredores de fondo. *Acta Medica Colombiana*. 1997;22(3):132-139.
23. Claremont AD, Nagle F, Reddan WD, Brooks GA. Comparison of metabolic, temperature, heart rate and ventilatory responses to exercise at extreme ambient temperatures (0 degrees and 35 degrees C.). *Med Sci Sports*. 1975 Summer;7(2):150-4.
24. Bachle L, Eckerson J, Albertson L, Ebersole K, Goodwin J, Petzel D. The effect of fluid replacement on endurance performance. *J Strength Cond Res*. 200;15(2):217-220.
25. Institute of Medicine (IOM). Dietary Reference Intakes for water, potassium, sodium, chloride, and sulfate. Washington, DC: The National Academies Press. In press 2004.
26. Schumacher YO, Grathwohl D, Barturen JM, Wollenweber M, Heinrich L, Schmid A, et al. Haematocrit and red blood cell indices in elite cyclists. Are the control values for blood testing valid? *Int J Sports Med*. 2000;21(5):380-5.
27. Schmidt W, Rojas J, Boning D, Bernal H, García S, García O. Plasma-electrolytes in natives to hypoxia after marathon races at different altitudes. *Med Sci Sports Exerc*. 1999;31(10):1406-13.
28. Kargotich S, Goodman C, Keast D, Morton AR. The influence of exercise induced plasma volume changes on the interpretation of biochemical parameters used for monitoring exercise. *Training and sport. Sport Med*. 1998;26(2):101-117.
29. Allan JR, Wilson CG. Influence of acclimatization on sweat sodium concentration. *J Appl Physiol*. 1971;30:708-12.
30. Wilmore JH. Fisiología del esfuerzo y el deporte. 5ª ed. Barcelona: Paidotribo; 2004.
31. Almond CS, Shin AY, Fortescue EB, Mannix RC, Wypij D, Binstadt BA, et al. Hyponatremia among runners in the Boston Marathon. *N Engl J Med*. 2005;352(15):1550-6.
32. Costill DL. Sweating: its composition and effects on body fluids. *Ann N Y Acad Sci*. 1977;301:160-74.
33. Medbo JI, Sejersted OM. Plasma K<sup>+</sup> changes during intense exercise in endurance-trained and sprint-trained subjects. *Acta Physiol Scand*. 1994;151(3):363-71.
34. Vrijens DM, Rehrer NJ. Sodium-free fluid ingestion decreases plasma sodium during exercise in the heat. *J Appl Physiol*. 1999;86(6):1847-51.