

Cirugía y Cirujanos

Volumen **73**
Volume

Número **4**
Number

Julio-Agosto **2005**
July-August

Artículo:

Estado de hidratación y capacidad
aeróbica: sus efectos sobre el volumen
plasmático durante el ejercicio físico
agudo

Derechos reservados, Copyright © 2005:
Academia Mexicana de Cirugía

Otras secciones de
este sitio:

- 👉 Índice de este número
- 👉 Más revistas
- 👉 Búsqueda

*Others sections in
this web site:*

- 👉 *Contents of this number*
- 👉 *More journals*
- 👉 *Search*



Medigraphic.com

Estado de hidratación y capacidad aeróbica: sus efectos sobre el volumen plasmático durante el ejercicio físico agudo

Acad. Dr. Jorge Manuel Sánchez-González,* Dr. Antonio Eugenio Rivera-Cisneros,** LCN María José Ramírez,*** LEF José de la Luz Tovar-García,*** Dr. Jorge Portillo-Gallo,⁺ Dr. Rafael Franco-Santillán⁺⁺

Resumen

Introducción: durante el ejercicio ocurre deshidratación, en consecuencia se presenta pérdida de agua en el compartimiento intracelular y descenso del volumen plasmático, con hemoconcentración de carácter secundario. La pérdida de volumen plasmático provoca disminución del flujo sanguíneo, afectando directamente la función cardiaca, disminución en el rendimiento físico y deterioro de la capacidad aeróbica.

Material y métodos: se realizó un estudio cuasiexperimental observacional, prospectivo, longitudinal y comparativo, para evaluar la influencia del sexo y nivel de la capacidad aeróbica sobre el estado de hidratación y el volumen plasmático producido por el ejercicio físico agudo. Participaron 24 sujetos entre 18 y 35 años, practicantes de actividad física de tipo aeróbico en quienes se evaluaron los cambios en hemoglobina, hematocrito, volumen plasmático y estado de hidratación.

Resultados: el sexo influyó significativamente en el volumen plasmático pero no en el estado de hidratación. La capacidad aeróbica presentó relación con el volumen plasmático, y éste último con el estado de hidratación. Las mujeres presentaron mayor pérdida de volumen plasmático que los hombres ($p < 0.05$). Los individuos que presentaron capacidad aeróbica adecuada tendieron a perder menos volumen plasmático durante el ejercicio.

Conclusiones: el ejercicio agudo de corta duración también induce pérdidas importantes de líquido, por lo que es muy importante que el ejercitante conozca sus pérdidas y se hidrate adecuadamente antes, durante y después del ejercicio.

Palabras clave: volumen plasmático, deshidratación, capacidad aeróbica, ejercicio físico agudo.

Summary

Introduction: During exercise, water loss frequently occurs in the intracellular spaces and there is a decrease in the plasmatic volume, with a blood concentration as a secondary characteristic. Plasmatic volume losses provoke a decrease in the blood flow, which directly affects cardiac function. Physical performance decreases and aerobic capacity deteriorates.

Material and methods: An observational, prospective, longitudinal, and comparative study was carried out to evaluate gender influence and the aerobic capacity level upon hydration and the plasmatic volume produced by maximal physical exercise. Twenty four individuals between 18 and 35 years old were included. All participated in aerobic physical exercise and changes in hemoglobin, hematocrit, plasmatic volume, and hydration state were evaluated.

Results: Gender showed a significant influence on plasmatic volume but not on the hydration state. The aerobic capacity presented a relationship with plasmatic volume, and the plasmatic volume with the hydration state. Women presented more plasmatic volume loss than men ($p < 0.05$). Individuals who have adequate aerobic capacity tend to lose less plasmatic volume during exercise.

Conclusions: Maximal physical exercise during a short period also leads to important liquid loss; therefore, it is important that people who engage in exercise understand their liquid losses and re-hydrate themselves appropriately before, during, and after exercise.

Key words: plasmatic volume, dehydration, aerobic capacity, high-physical exercise.

Introducción

La composición corporal es la suma del peso, de la masa ósea, muscular, visceral, adiposa y los líquidos. El agua constituye 45 a 70 % del peso corporal, es el elemento más variable y el estado de hidratación induce fluctuaciones hasta de algunos kilogramos. El líquido intravascular constituye 8 % del peso corporal y tiene una composición similar a la del líquido extracelular, salvo que presenta una concentración mayor de proteínas (7 versus 93 %). Como proporción del peso corporal, el agua varía entre los individuos, dependiendo de la proporción del músculo respecto al tejido adiposo, lo cual es evidente al comparar mujeres y hom-

* Director General de Difusión e Investigación, CONAMED.

** Director del Consejo Municipal del Deporte y Atención a la Juventud, León, Guanajuato.

*** Club Deportivo Punto Verde.

+ Laboratorio Internacional de Análisis Clínicos, LIACSA.

++ Núcleo de Investigación y Diagnóstico Clínico, NIDIAC.

Solicitud de sobretiros:

Acad. Dr. Jorge Manuel Sánchez-González,
Mitla 250, octavo piso, 03020 México, D. F.
Tel.: 5420 7103. E-mail: juevesm@yahoo.com

Recibido para publicación: 13-10-2004

Aceptado para publicación: 18-01-2005

bres, por lo que es importante considerar las diferencias al determinar un programa de acondicionamiento físico.¹⁻³

Durante el ejercicio y las primeras horas de privación de agua, los líquidos se pierden principalmente del compartimiento extracelular; si el déficit de agua continúa puede llegar a ocurrir pérdidas del compartimiento intracelular. Las contracciones musculares provocan la producción y acumulación de productos metabólicos. Como consecuencia, el líquido del espacio intersticial se vuelve hipertónico, propiciando flujo de líquido hacia la zona intersticial, con un consecuente descenso en el volumen plasmático de manera inmediata, alrededor de 10 % al comienzo de la práctica de ejercicio. Este descenso continúa de una manera pausada a un nivel más bajo (3 a 5 %), por lo que ocurre una hemoconcentración de carácter secundario. Durante el ejercicio la pérdida de líquido originadas por el sudor también provoca descenso en el volumen plasmático.⁴ La pérdida de líquidos durante el ejercicio depende de la intensidad del ejercicio físico, nivel de entrenamiento, condiciones climatológicas, así como del volumen corporal. La pérdida puede variar de pocos cientos de mililitros hasta más de 2 litros por hora.^{2,3}

Estudios relacionados han demostrado que la pérdida de peso corporal de 4 % inducida por el ejercicio propicia una disminución del volumen plasmático, incrementándose proporcionalmente con la intensidad del esfuerzo o también mediante otras medidas artificiales utilizadas por los atletas.⁴⁻⁶

La valoración del estado de hidratación se lleva a cabo mediante signos clínicos: pérdida de peso, disminución de la turgencia de la piel, disminución de la producción de sudor, hipotensión postural, xerostomía y dolor de cabeza, entre otros.⁷ Con la deshidratación ocurre hemoconcentración, y uno de los indicadores sensibles a dicho cambio es el aumento del hematocrito, parámetro muy constante y buen indicador de deshidratación.⁸ Otro indicador utilizado para inferir el estado de deshidratación es el porcentaje de pérdida de peso. Una pérdida de 1 % de peso corporal provoca una disminución de 2.5 % en el volumen plasmático y representa una deshidratación leve. Diferentes investigadores sugieren una ecuación ampliamente utilizada a partir del valor de la hemoglobina y el hematocrito, para estimar los cambios del volumen plasmático durante el ejercicio. La fórmula puede ser útil para periodos de ejercicio cortos, menores a dos horas.^{4,5,9,10}

El descenso en el volumen plasmático incide directamente en la corriente sanguínea, afectando el mantenimiento de la función cardíaca y la termorregulación. Pequeñas pérdidas de 2 a 3 % del peso corporal pueden causar deterioro en su control. Así mismo, puede ocurrir disminución de la capacidad de producción de energía y generar fatiga.^{2,11} Como consecuencia se presenta disminución en el rendimiento deportivo del atleta, debido al deterioro de su capacidad aeróbica. La resistencia cardiorespiratoria es el mejor índice de adecuación física aeróbica,^{6,9,12} estimándose a partir del consumo de oxígeno, el cual es normal de 41 a 40 ml/kg/minuto en los hombres, y de 38 a 43 ml/kg/

minutos en las mujeres.¹³ Numerosos estudios han realizado evaluaciones sobre los efectos de la deshidratación en el rendimiento físico. Los datos reportados incluyen variables bioquímicas y fisiológicas, así como la medida de la fuerza, rendimiento muscular y capacidad aeróbica. Los resultados dependen de la gravedad de la deshidratación. Una pérdida de 1 % de peso corporal provoca disminución de 3 % en el rendimiento.¹⁴

Si la deshidratación avanza puede ocurrir letargia, ansiedad e irritabilidad. Cuando ésta es severa, pueden presentarse alteraciones del estado de la conciencia y ausencia de la coordinación. La deshidratación puede ser causa de dos importantes alteraciones en el ejercitante: golpe de calor y agotamiento, ambas condiciones potencialmente serias que requieren atención y tratamiento inmediato.¹⁵ La sed se presenta cuando ya se instaló la deshidratación, por tanto, no es un signo adecuado como guía para la reposición de líquidos durante el ejercicio.^{14,16}

A pesar de todos los estudios realizados, no existen acuerdos sobre la influencia del ejercicio físico agudo en la hidratación de hombres y mujeres ejercitantes, ni estudios que relacionen la capacidad aeróbica y el estado de hidratación sobre los cambios en el volumen plasmático. Por lo anterior, es importante conocer el estado de hidratación previo al ejercicio, de lo contrario es muy probable que el rendimiento se vea afectado, o en casos más severos se presente alguna alteración por deshidratación.

Por lo tanto, el presente estudio pretende identificar la influencia del nivel de capacidad aeróbica y el estado de hidratación sobre el volumen plasmático durante la práctica de ejercicio físico agudo, especialmente en ejercitantes recreacionales con diferente nivel de desempeño aeróbico. Con base en ello, recomendar medidas para la adecuada hidratación en los ejercitantes, considerando las posibles diferencias por sexo.

Material y métodos

Se realizó un estudio cuasiexperimental, observacional, prospectivo, longitudinal y comparativo. Participaron 24 sujetos (12 hombres y 12 mujeres), ejercitantes sanos con edades entre 18 y 35 años, practicantes de actividad aeróbica por lo menos 3 días a la semana durante 30 minutos como mínimo, y con diferente nivel de capacidad aeróbica. La inclusión se efectuó por conveniencia de entre quienes acudieron voluntariamente a participar, respondiendo a una convocatoria abierta en un club deportivo. Posterior a explicarles los alcances, riesgos y beneficios del estudio, los participantes aceptaron firmar la carta de consentimiento informado, según lo dispuesto en la Ley General de Salud respecto a investigación en humanos, cuyo fundamento es la Declaración de Helsinki.

Se consideraron como criterios de exclusión: pacientes cuyo estado clínico cursara con deshidratación (diarrea, enfermedad metabólica, fiebre), sujetos con anemia o policitemia, personas que estuviesen tomando algún medicamento o diurético que afec-

Cuadro I. Descripción de las variables del estudio

Variable	Tipo	Escala de medición	Indicador
Sexo	Cualitativa	Nominal	Femenino o masculino
Capacidad aeróbica	Cualitativa	Nominal	Adecuada o inadecuada
Estado de hidratación	Cualitativa	Nominal	Deshidratado o hidratado
Volumen plasmático	Cuantitativa	De razón	Porcentaje de cambio

te la función renal, sujetos con enfermedades crónicas o agudas que impidan la realización del ejercicio, con enfermedad febril aguda, alteraciones durante el electrocardiograma en reposo o sugestivos de isquemia miocárdica aguda, insuficiencia cardíaca no controlada, edema pulmonar, angina inestable, miocarditis o pericarditis aguda, hipertensión arterial sistémica no controlada, que presentarán presión sistólica > 250 mm Hg y diastólica > 120 mm Hg, asma no controlada, infarto de miocardio reciente (> 4 semanas), enfermedad valvular aórtica, taquicardia en reposo (> 120 latidos/minuto), alteraciones electrolíticas, enfermedad tromboembólica reciente, diabetes mellitus mal controlada, epilepsia, enfermedad vascular cerebral e insuficiencia respiratoria.¹⁵

Con el propósito de homogeneizar a los participantes, se exploraron diversas categorías de variables (cuadro I). Complementariamente se obtuvieron los siguientes datos:^{2,13,16-18}

- Valoración clínica.
- Determinación de hemoglobina basal (g/l).
- Hematócrito basal (%).
- Nivel de actividad física, que consideró la práctica de ejercicio en términos de su frecuencia, duración e intensidad, solicitando a los participantes no variarla.
- Historia dietética, mediante recordatorio de siete días, orientado particularmente a establecer el balance de líquidos. Se solicitó a los participantes no afectar su estado de hidratación hasta el término del estudio.
- Antropometría, para determinar su masa corporal.

El procedimiento central del estudio fue valorar los cambios en el volumen plasmático producidos por el ejercicio físico máximo. Los cambios en el volumen plasmático fueron calculados a

partir de la determinación de hemoglobina y hematócrito antes y después de una prueba de ejercicio físico máximo de acuerdo a Costill.⁴

Se efectuaron dos pruebas de ejercicio físico máximo. La primera con el objetivo de establecer el VO₂ máximo y de esta manera identificar con precisión el momento adecuado para la obtención de la muestra sanguínea en el ejercicio físico máximo al momento de realizar la segunda prueba, la cual fue considerada para los datos presentados en este estudio. Ambas se efectuaron en una banda sinfín Q65 serie 90, conforme criterios estandarizados del *American Collage of Sports Medicine*, *American Collage of Cardiology* y *American Heart Association*.^{19,20} Los criterios definidos para considerar que los individuos alcanzaron su máximo desempeño aeróbico fueron:

- Alcanzar al menos 90 % de la frecuencia cardíaca máxima predicha para su edad.
- Ningún cambio en la frecuencia cardíaca a pesar de aumentos en la carga de trabajo sobre la banda.
- La percepción del individuo.
- La corroboración del esfuerzo físico máximo mediante dos pruebas con una diferencia de una semana (cuadros II y III).

Los estudios se realizaron en un laboratorio de medicina deportiva a 1800 m sobre el nivel del mar. Se registró una humedad relativa de 45 %, 22 °C de temperatura ambiental y 630 ± 3 mm Hg de presión barométrica.

Antes de las pruebas de ejercicio, se verificó el estado de hidratación mediante valoración clínica,^{2,3,21-23} con base en los signos que se describen en el cuadro IV.

Para evitar variaciones por extravasación del líquido intravascular,²⁴ cada sujeto permaneció de pie durante 10 minutos con

Cuadro II. Resultados de pruebas de ejercicio en varones

Características metabólicas	Prueba de esfuerzo máximo	Prueba de desempeño aeróbico máximo
FCM	193 ± 8	193 ± 8
90 % FCM	174 ± 8	173 ± 6
VO ₂ máximo predicho	54.1 ± 3.5	54.1 ± 3.5
VO ₂ máximo observado	49.1 ± 1.45	47.7 ± 3.6

FCM = frecuencia cardíaca máxima, VO₂ = consumo de oxígeno en ml/kg/minuto.

Cuadro III. Resultados de pruebas de ejercicio en mujeres

Características metabólicas	Prueba de esfuerzo máximo	Prueba de desempeño aeróbico máximo
FCM	194 ± 7	194 ± 7
90 % FCM	178 ± 7	175 ± 5
VO ₂ máximo predicho	35.1 ± 1.1	35.1 ± 1.1
VO ₂ máximo observado	44.1 ± 2.8	39.7 ± 4

FCM = frecuencia cardiaca máxima, VO₂ = consumo de oxígeno en ml/kg/minuto

mínimos movimientos. Al término se tomó la primera muestra sanguínea. Posteriormente cada sujeto inició la prueba de desempeño aeróbico, la cual se realizó bajo los criterios antes mencionados. Terminada la prueba se registró el peso, y cada individuo permaneció sin movimientos por 10 minutos, entonces se tomó la segunda muestra sanguínea. Las muestras de sangre se obtuvieron mediante venopunción y anticoaguladas con EDTA, manteniéndose entre 4 y 6 °C hasta su estudio en un contador celular electrónico Celdyn 1500. En todo momento se efectuaron pruebas de control y verificación de la exactitud y reproducibilidad por repetición del análisis de muestras seleccionadas aleatoriamente, ensayo de controles en cada corrida y control de calidad en tres niveles: alto, medio y bajo 4C de Coulter, inter e intra ensayo. El coeficiente de variación máximo se fijó a 3 %.²⁵⁻²⁷

Con el objeto de mantener controlado el estado de hidratación, se instruyó a los participantes para que una semana antes del estudio siguieran las recomendaciones del *American Collage of Sports Medicine*, consistentes en ingerir 400 a 600 ml agua antes del ejercicio; durante el ejercicio 125 a 250 ml por cada 15 a 20 minutos de práctica; y después del ejercicio, 600 a 1200 ml. Se les sugirió como bebida de hidratación el agua natural, y en sujetos cuya actividad era de larga duración (más de una hora) se recomendó una bebida comercial hidratante.²³

La evaluación antropométrica consideró las siguientes mediciones: peso, estatura, circunferencias y pliegues. Posteriormente

se calculó el índice de masa corporal (IMC) y el índice abdomen-cadera, aplicando la ecuación de Jackson y Pollock, así como el porcentaje de grasa mediante la ecuación de Siri.¹⁸

El número de participantes se obtuvo a partir de la varianza en los cambios de volumen plasmático descritos en estudios previos.^{4,5,8,9,17,27-31} Se obtuvieron medidas descriptivas de los datos (media y desviación estándar); se aplicó χ^2 para evaluar el efecto del sexo sobre el estado de hidratación, el estado de hidratación sobre los cambios en el volumen plasmático y la capacidad aeróbica sobre el estado de hidratación. Se aplicó *t* de Student para evaluar la diferencia en los cambios del volumen plasmático observadas entre los hombres y mujeres participantes. Se aplicó coeficiente de Pearson para establecer la relación entre la capacidad aeróbica y los cambios en el volumen plasmático. El nivel de significancia estadística se fijó en $p < 0.05$.²⁶

Resultados

Las características descriptivas encontradas en los sujetos participantes se consignan en el cuadro V. La composición corporal marcó diferencias importantes en hombres y mujeres. Cabe destacar que en ambos sexos el porcentaje de grasa se encontró alto y con valores del índice de masa corporal mayor al parámetro de normalidad en hombres (IMC = 24).

La intensidad de la práctica de la actividad física habitual de los sujetos fue la siguiente: 9 % llevó a cabo actividad intensa,

Cuadro IV. Valoración clínica inicial del estado de hidratación

Signos	A	B	C
Estado general	Alerta	Inquieto, irritable	Somnoliento o inconsciente, flácido
Ojos	Normal	Hundidos	Muy hundidos y secos
Boca y lengua	Húmeda	Seca	Muy seca
Piel (signo del paño húmedo)	Retracción rápida	Retracción lenta	Retracción muy lenta
	Hidratado	2 o más indican deshidratación leve	2 o más signos indican deshidratación grave

Fuente: referencia 3

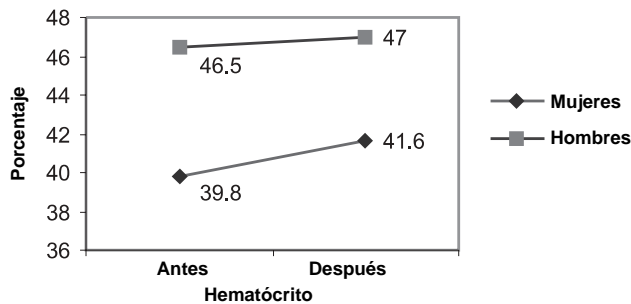


Figura 1. Cambios del hematocrito antes y después del ejercicio.

73 % moderada y 18 % ligera. En general los hombres realizaron actividad de intensa a moderada, y las mujeres de moderada a ligera. Los resultados de las pruebas de ejercicio se presentan en los cuadros II y III, respectivamente. Como era de esperarse, las mujeres tuvieron un consumo de oxígeno significativamente menor al de los hombres en ambas pruebas.

Las mujeres presentaron mayor porcentaje de variación tanto para el hematocrito como para la hemoglobina; cabe destacar que el hematocrito presentó una variación significativa como se aprecia en el cuadro VI y las figuras 1 y 2. Con los valores de hemoglobina y hematocrito se calculó el porcentaje de cambio en el volumen plasmático, resultando para los hombres de -1.7 ± 0.8 y en las mujeres de -3.6 ± 2.2 (cuadro VII). Los valores de los índices eritrocitarios considerados en el estudio se encontraron dentro del rango normal de referencia para la muestra estudiada en ambos sexos, conforme a datos reportados previamente en sujetos con características socioculturales y geográficas similares.^{17,27}

En las mujeres hubo mayor variación en los índices eritrocitarios (hematocrito y hemoglobina), mientras que en los hombres hubo mayor pérdida de peso (cuadro VII).

El estado de hidratación se clasificó con base en los indicadores referidos en el cuadro IV, el porcentaje de deshidratación se consigna en el cuadro VIII para uno y otro sexo. Al

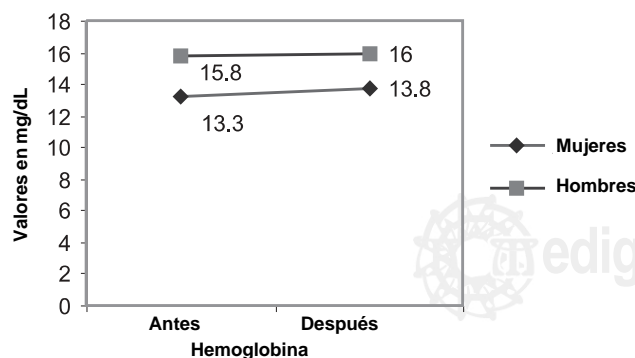


Figura 2. Cambios en la hemoglobina antes y después del ejercicio.

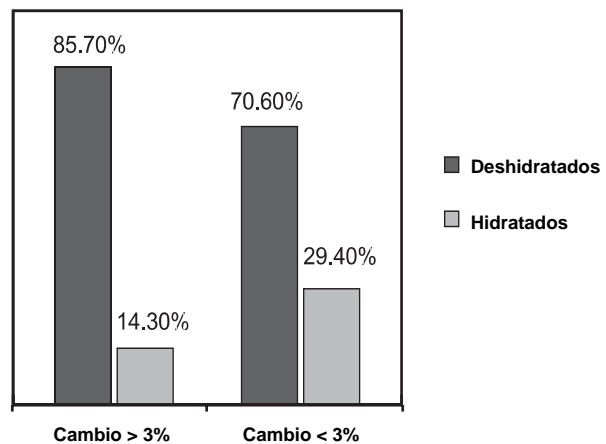


Figura 3. Volumen plasmático y estado de hidratación.

analizar el estado de hidratación, se valoró la posible influencia del sexo. No se encontró diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$), sin embargo, se observó mayor tendencia a la deshidratación en las mujeres, como se muestra en el cuadro VIII.

La figura 3 muestra que 85.75 % de los sujetos que tuvieron pérdidas significativas (≥ 3 %) de volumen plasmático están deshidratados, mientras que sólo 70.6 % de los que tuvieron cambios no significativos (< 3 %) estaban deshidratados. Al evaluar la relación de la capacidad aeróbica con el estado de hidratación se encontró que 80 % de los sujetos con volumen adecuado y 66.7 % de los sujetos con volumen inadecuado presentaron deshidratación. Por otro lado, 20 % de los sujetos con volumen adecuado y 33.3 % con volumen inadecuado se mantuvieron hidratados. Por último, la capacidad aeróbica presentó una correlación media ($r = -0.35$) respecto al volumen plasmático, puesto que a mayor consumo de oxígeno ocurre menor pérdida en el volumen plasmático (figura 4).

El volumen plasmático disminuyó en uno y otro sexo después del ejercicio: hombres -1.7 ± 0.8 , y mujeres -3.6 ± 2.2 (cuadro VII y figura 3), estas cifras presentaron diferencia estadística

Cuadro V. Características descriptivas

Variables	Hombres	Mujeres
Edad (años)	25 ± 7	25 ± 4
Peso (kg)	72.6 ± 7.8	55.2 ± 9.3
Estatura (m)	1.72 ± 5.8	1.60 ± 6.5
IAC (cm/cm)	0.89 ± 0.1	0.77 ± 0.2
IMC (kg/m ²)	24.5 ± 2.4	21.4 ± 2.7
Grasa (%)	11.8 ± 5.6	19.7 ± 5.5
Masa grasa (kg)	8.9 ± 5	11.2 ± 4.4
Masa magra (kg)	63.6 ± 5.2	43.9 ± 5.6

* IAC = índice abdomen-cadera, IMC = índice de masa corporal.

Cuadro VI. Cambios en parámetros bioquímicos

	Antes de la prueba de ejercicio	Después de la prueba de ejercicio	Porcentaje de variación
Hombres			
Hemoglobina (g/dl)	15.8 ± 0.55	16 ± 0.49	1.2 ± 1.8
Hematócrito (%)	46.5 ± 1.5	47 ± 1.2	0.39 ± 3.3
Mujeres			
Hemoglobina (g/dl)	13.3 ± 0.93	13.8 ± 0.94	3.7 ± 2.5
Hematócrito (%)	39.8 ± 1.8	41.6 ± 1.9	4.6 ± 3.3

ticamente significativa ($p < 0.05$). Estos cambios en el volumen plasmático también están relacionados con el estado de hidratación, dado que la mayor variación en el volumen plasmático condicionó mayor deshidratación, como lo muestra la figura 3.

Discusión

Se observó que la frecuencia cardiaca en los hombres fue menor a la de las mujeres debido a la influencia del grado de entrenamiento físico, de tal forma, para una misma intensidad de ejercicio la frecuencia cardiaca de un sujeto entrenado será menor que en una persona menos entrenada físicamente.²⁸ Esto indica que las mujeres tienen menor nivel de entrenamiento físico, lo cual se puede corroborar con la intensidad de su práctica de actividad física, que en general fue de moderada a ligera, mientras que la de los hombres fue de moderada a intensa.

El consumo de oxígeno es un parámetro fisiológico que expresa la cantidad de oxígeno que consume o utiliza el organismo. Éste aumenta o se estabiliza dependiendo de la intensidad del ejercicio. Durante el ejercicio físico máximo graduado, el consumo de oxígeno mantiene una relación directamente proporcional, es decir, a mayor intensidad de trabajo, mayor el consumo. Mientras que durante el ejercicio de intensidad constante, como la prueba de desempeño aeróbico máximo, el consumo de oxígeno sufre una fase de adaptación hasta que la curva se estabiliza para un determinado parámetro y alcanza una fase de estabilización, por tanto, el consumo de oxígeno para esta prueba fue menor en uno y otro sexo.²⁷

La diferencia en el VO_2 máximo entre hombres y mujeres se explica por la mayor masa corporal magra y la musculatura res-

piratoria. En general, esta última razón suele ser la limitante del esfuerzo, por lo que habitualmente el ascenso gradual del consumo de oxígeno se interrumpe bruscamente, en especial en sujetos no entrenados adecuadamente, como sucedió en las mujeres.^{26,27}

La pérdida de volumen plasmático observado en este estudio se debe a los cambios que se presentan en la respuesta aguda al ejercicio físico, donde los volúmenes plasmático y sanguíneo disminuyen por la pérdida de líquidos en el espacio vascular; la presión hidrostática capilar aumenta como consecuencia del aumento de la presión arterial media y la compresión que sufren las vénulas por la contracción muscular. Por lo tanto, hay pérdida de líquido proveniente del plasma a través del sudor. Inmediatamente después del ejercicio ocurre hemoconcentración y pérdida de volumen plasmático.^{26,28}

La hemoconcentración y la disminución de volumen plasmático fueron mayores en las mujeres. Fortney y Beckett efectuaron un estudio en mujeres para investigar los cambios del volumen plasmático durante el ciclo menstrual. Encontraron que existe una tendencia a la disminución en el volumen plasmático durante diferentes estadios del ciclo. Concluyeron que la producción de diferentes hormonas durante el ciclo menstrual parece tener ligeros efectos en las pérdidas de volumen plasmático.²⁹

Stephenson y Kolka realizaron otro estudio en cinco mujeres para determinar los efectos del ciclo menstrual en la dinámica del volumen plasmático. Sometieron a los sujetos a la realización de ejercicio y encontraron mayor disminución del volumen plasmático durante la fase folicular que durante la luteínica. Concluyeron que efectivamente el ciclo menstrual influye en la dinámica del volumen plasmático.³⁰ La vasopresina u hormona

Cuadro VII. Indicadores del estado de hidratación

	Hombres	Mujeres
Variación del hematócrito (%)	0.39 ± 3.3	4.6 ± 3.3
Cambio en el volumen plasmático (%)	-1.7 ± 0.8	-3.6 ± 2.2
Porcentaje de pérdida de peso (%)	1.3 ± 0.71	0.47 ± 0.31

Cuadro VIII. Sexo y estado de hidratación

Estado de hidratación	Hombres	Mujeres
Deshidratados	66.7 %	83.3 %
Hidratados	33.3 %	16.7 %

antidiurética también desempeña un papel fundamental en la regulación de líquidos, y se ha encontrado que la liberación de esta hormona depende de los cambios hormonales durante el ciclo menstrual.³¹

Para clasificar el estado de hidratación se tomaron en cuenta tres parámetros: hematócrito, volumen plasmático y pérdida de peso. En las mujeres hubo mayor variación en hematócrito, este último experimenta cambios muy semejantes a los de la hemoglobina, justificándose igualmente los resultados encontrados por la mayor variación en el volumen plasmático.³⁰

En los hombres se observó mayor pérdida de líquidos a través de la sudoración. Dentro de los factores que influyen en las respuestas al estrés por calor se encuentra la condición física, la aclimatación y el sexo. Una de las adaptaciones fisiológicas que desarrolla un buen deportista como parte de su habilidad para tolerar y ejercitarse en el calor es el incremento en la tasa de sudoración. Además, ésta se relaciona con la superficie corporal, el VO₂ máximo y el nivel de actividad física, como lo demuestra el estudio realizado por Havenith y Viktor en el cual investigaron si factores como el sexo, la superficie corporal y el nivel de actividad física, eran posibles determinantes en las respuestas de un individuo al estrés por calor. Encontraron lo siguiente: que el sexo es un factor influyente. La pérdida de peso corporal durante el ejercicio está relacionada con la intensidad del ejercicio y con la superficie corporal del individuo y la sudoración. La superficie corporal es mayor en hombres puesto que tener mayor cantidad de masa muscular aumenta su tasa metabólica y gasto energético. Concluyeron que los sujetos mejor entrenados y con mayor superficie corporal pierden mayor cantidad de líquido a través de la sudoración.³² Por tanto, la práctica

crónica de ejercicio en los hombres desarrolla mecanismos de adaptación al ejercicio.

La pérdida de líquidos en los hombres del presente estudio fue significativa (1.3 ± 0.71 kg), lo que coincide con el estudio realizado por Gore y Scroop, donde 10 triatlonistas realizaron una prueba de ejercicio en una banda sin fin durante 60 minutos trabajando a 65 % de su VO₂ máximo; hubo pérdidas de peso corporal de 1.66 ± 0.11 kg. Estas pérdidas fueron casi equivalentes a las reportadas en nuestro estudio, lo cual indica que efectivamente las pruebas de corta duración (20 a 30 minutos) y de mayor intensidad, como de desempeño aeróbico, también provocan deshidratación.³³

La pérdida de volumen plasmático después del ejercicio fue mayor en las mujeres. El dato concuerda con lo reportado por Senay y Fortney, quienes realizaron un estudio en mujeres para conocer los efectos del ejercicio en los líquidos corporales. Concluyeron que mujeres no entrenadas (con bajos niveles de VO₂ máximo) sufren una considerable reducción en el volumen plasmático en comparación con los hombres. Además, en mujeres no aclimatadas hubo mayor pérdida de proteínas plasmáticas del espacio vascular.³⁴ La presión hidrostática tiende a hacer que el líquido salga del capilar, mientras que la presión oncótica tiende a hacerlo entrar en el capilar. Al ocurrir mayor pérdida de proteínas, el líquido sale del espacio capilar hacia el intersticial. Éste es otro mecanismo que pudiera explicar la mayor pérdida de volumen plasmático en las mujeres.³⁵

En el estudio realizado por Hayes y colaboradores en siete hombres sanos que completaron una rutina de ejercicio continuo, trabajando a 65 % de su VO₂ máximo durante 60 minutos, presentaron una pérdida de volumen plasmático posejercicio de -13.7 ± 1.6 %.³⁶ Otros estudios son coincidentes con pérdidas de -4.2 % en el volumen plasmático.³⁷

Los reportes anteriores concuerdan con los resultados del presente estudio en el que se observó tendencia a la disminución del volumen plasmático durante la práctica de ejercicio. La magnitud de la pérdida depende de la duración e intensidad del ejercicio. Estos cambios en el volumen plasmático presentaron relación con el estado de hidratación. La mayor variación en el vo-

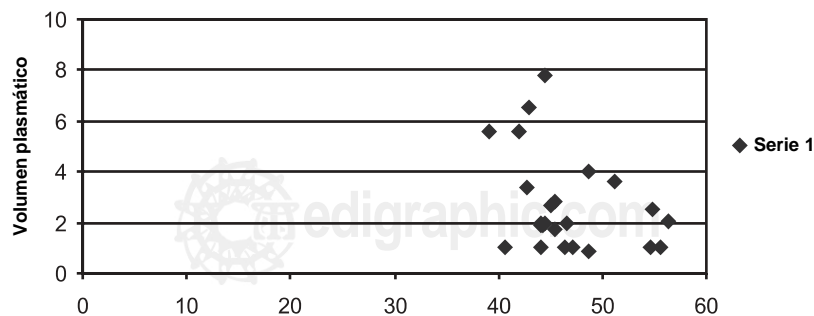


Figura 4. Relación de capacidad aeróbica y volumen plasmático.

lumen plasmático condicionó mayor deshidratación. En el estudio realizado por Gore se llegó a la conclusión de que gran parte del líquido secretado en el sudor proviene del plasma.³³

Sawka y colaboradores realizaron un estudio para investigar los efectos del estado de hidratación en el intercambio de líquidos corporales. El estudio examinó los efectos de la hipohidratación en el volumen plasmático y los glóbulos rojos. El estudio se realizó en 12 sujetos de uno y otro sexo. Encontraron que durante el ejercicio ocurre hemoconcentración y el volumen plasmático disminuye 4 % cuando el sujeto se encuentra hipohidratado y aumenta 4 % cuando se encuentra euhidratado. Concluyeron que el nivel de hidratación altera los fluidos vasculares.³⁷

En los estudios hasta ahora realizados no se ha investigado la posible influencia de la capacidad aeróbica y el estado de hidratación sobre los cambios en el volumen plasmático. En el presente estudio se tomaron tres indicadores para valorar el estado de hidratación: volumen plasmático, hematócrito y pérdida de peso. Se observó que debido al reducido tamaño de la muestra no hubo gran diferencia en cuanto a la proporción de sujetos deshidratados sobre la base de su capacidad aeróbica, puesto que se deshidrataron 80 % de los sujetos con consumo de oxígeno adecuado y 66.7 % de los sujetos con consumo de VO_2 máximo inadecuado, lo cual representa una diferencia no significativa.

Con base en los resultados de nuestra investigación es posible recomendar la reposición de líquidos durante el ejercicio de corta duración de acuerdo con el siguiente razonamiento: un individuo de 70 kg tiene aproximadamente 5 litros de sangre, de los cuales 55 % es plasma (2.2 litros); si este sujeto tiene una pérdida de 2 % de volumen plasmático durante el ejercicio, esta pérdida representa 0.04 litros de líquido, consecuentemente, el ejercitante debe ingerir 40 ml para reponer las pérdidas del volumen plasmático. Este valor corresponde al promedio de líquidos que se documentó en el presente estudio por pérdidas de volumen plasmático y que fue de 60 ml en mujeres y 40 ml en hombres.

Es interesante observar que hombres y mujeres tienen diferentes respuestas durante el ejercicio y, sin embargo, las recomendaciones sobre su hidratación en deportistas de diferente sexo son las mismas. Hasta ahora no hay suficientes estudios que investiguen concretamente la deshidratación en uno y otro sexo.

Los resultados del estudio dejan abierto el campo para continuar la investigación de la influencia que tiene la capacidad aeróbica y el estado de hidratación sobre el volumen plasmático.

Conclusiones

El sexo no demostró influir significativamente en el estado de hidratación. Sin embargo, existe mayor tendencia a la deshidratación en las mujeres, puesto que presentan mayor hemoconcentración y mayor pérdida de volumen plasmático.

La capacidad aeróbica no presentó relación con el estado de hidratación, pero sí con el volumen plasmático. Los individuos

que presentan mejor capacidad aeróbica tienden a perder menor volumen plasmático, debido al desarrollo de mecanismos de conservación de líquidos.

Aun en ejercicios de corta duración (20 a 30 minutos) existe pérdida importante de líquido, por lo que es indispensable que el ejercitante conozca sus requerimientos y se hidrate adecuadamente antes, durante y después del ejercicio. Todo esto con la finalidad de mejorar su rendimiento, tanto en una competencia como en la práctica de su actividad física cotidiana y evitar desde pequeños malestares hasta severos padecimientos consecuentes a una inadecuada hidratación.

Conforme a nuestros resultados, durante la realización de ejercicio físico de tipo agudo (por un periodo de tiempo menor a 30 minutos) debe considerarse que la reposición de líquidos debe ser acorde a las pérdidas por volumen plasmático.

Referencias

1. Mahan KL, Escott-Stump S. Nutrición y dietoterapia. 9ª ed. Philadelphia: McGraw-Hill Interamericana; 1999. pp. 466-468.
2. Brouns F. Necesidades nutricionales de los atletas. 2ª ed. Paidotribo: Barcelona; 1997.
3. Guyton AC. Fisiología humana. 6ª ed. México: Interamericana; 1987. pp. 83-95.
4. Costill DL, Fink WJ. Plasma volume changes following exercise and thermal dehydration. *J Appl Physiol* 1974;37(4):521-525.
5. Convertino VA, Keil LC, Bernaver EM, Greenleaf JE. Plasma volume, osmolality, vasopressin, and renin activity during graded exercise in man. *J Appl Physiol* 1981;50(1):123-128.
6. Kenefick RK, Mahood N, Mattern C, Kertzer R, Quinn T. Hypohydration adversely affects lactate threshold in endurance athletes. *J Strength Conditioning Res* 2002;16(1):730-738.
7. Shils ME, Young VR. Modern in health nutrition; and disease. Baltimore: Williams and Wilkins; 1998. pp. 646-650.
8. Ruiz-Argüelles GJ, Liorente-Petters A. Predictive equations for normal red cell values at altitudes from sea level to 2,679 meters. *Rev Invest Clin* 1981;33:191-195.
9. Wilmore JA, Costill DL. Exercise in hypobaric and microgravity environments. In: *Physiology of sport and exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics; 1994.
10. Greenleaf JE, Convertino VA, Mangseth GR. Plasma volume during stress in man: osmolality and red cell volume. *J Appl Physiol* 1979;47(5):1031-1038.
11. Maughan RJ. Impact of mild dehydration on wellness and on exercise performance. *Eur J Clin Nutr* 2003;57(Suppl 2):S19-S23.
12. Stephenson LA, Kolka MA. Plasma volume during heat stress and exercise in women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1988;57(4):373-381.
13. Fox EL, Mathews DK. The physiological basis of physical education and athletics. 3ª ed. USA: Holt-Saunders International Editions; 1981. pp. 124-140.
14. Shirreffs SM, Maughan RJ. Urine osmolality and conductivity as indices of hydration status in athletes in the heat. *Med Sci Sports Exer* 1998;30(11):1598-1602.
15. Welsh RP, Shephard RJ. Current therapy in sports medicine. St. Louis: Mosby; 1985. pp. 90-96.
16. Shirreffs S, Maughan RJ. Urine osmolality and conductivity as indices of hydration status in athletes in the heat. *Med Sci Sports Exer* 1998;30(11):1598-1601. (Duplicate of Ref. 14).

17. Tietz NW. Clinical Guide to laboratory tests. Philadelphia: WB Saunders; 1983.
18. Heyward VH, Stolarczyk LM. Applied body composition assessment. Champaign, IL: Human Kinetics; 1996. pp. 28-39.
19. American College of Sports Medicine. Guidelines for exercise testing and prescription. 4th ed. Philadelphia: Lea and Febiger; 1994.
20. Gibbons RJ, et al. ACC/AHA 2002 Guideline Update for Exercise Testing. <http://www.americanheart.org/downloadable/heart/1032279013658exercise.pdf>. (Accessed December 2004).
21. Lewix A, Barness R. Manual de nutrición en pediatría. Buenos Aires: Médica Panamericana; 1994. pp. 470-510.
22. Flores-Samayoa MA. Manual de medicina deportiva. 2^a ed. México: Quinto Sol; 1999. pp. 65-68.
23. Convertino VA, Armstrong L, Coyle E, Mack G, Sawka M, et al. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28(10):445-450.
24. Rivera CA, Díaz Cisneros FJ, Guerrero H, Negrete MC. Efecto de la postura corporal sobre la concentración de los lípidos séricos. *Arch Inst Cardiol* 1989;56(2):29-34.
25. Altman DG. Practical statistics for medical research. London: Chapman and Hall; 1991.
26. Hernández-Sampieri R, Fernández-Collado C, Baptista L. Metodología de la investigación. 2^a ed. Mexico: McGraw Hill; 1998. pp. 341-426.
27. Rivera-Cisneros A, Sánchez-González JM, Joffre G, Pérez I, Morales M, Andrade QM. Índices eritrocitarios en habitantes de una zona hipobárica moderada y valores de referencia. *Laborat Acta* 1996;8(1):19-28.
28. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine clarifies indicators for fluid replacement. News Release, Indianapolis, IN. February 12, 2004.
29. Fortney SM. Changes in plasma volume during bed rest: effects of menstrual cycle and estrogen administration. *J Appl Physiol* 1988;65(2):525-533.
30. Stephenson LA, Kolka MA. Plasma volume during heat stress and exercise in women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1988;57(4):373-381.
31. Forsling ML, Akerlund M, Stromberg P. Variations in plasma concentrations of vasopressin during the menstrual cycle. *J Endocrinol* 1981; 89(2):263-266.
32. Havenit G. The relative influence of body characteristics on humid heat stress response. *Eur J Appl Physiol* 1995;70:270-279.
33. Gore CJ, et al. Plasma volume, osmolality, total protein and electrolytes during treadmill running and cycle ergometer exercise. *Eur J Appl Physiol* 1992;65:302-310.
34. Senay LC Jr, Fortney S. Untrained females: effects of submaximal exercise and heat on body fluids. *J Appl Physiol* 1975;39:643-647.
35. Hayes PM, Lucas JC, Shi X. Importance of post-exercise hypotension in plasma volume restoration. *Acta Physiol Scand* 2000;169(2):115-124.
36. Jiménez C. Plasma volume changes during and after acute variations of body hydration level in humans. *Eur J Appl Physiol* 1999;80(1):1-8.
37. Sawka MN, Francesconi RP, Pimental NA, Pandolf KB. Hydration and vascular fluid shifts during exercise in the heat. *J Appl Physiol* 1984; 56(1):91- 96.

