



Vol. 71 • Núm. 5
Septiembre-Octubre • 2017
pp 409-415

Recibido: 25/01/2017
Aceptado: 23/05/2017

Artículo de investigación

Análisis comparativo del agua extracelular medida por bioimpedanciometría y calculada por balance hídrico en pacientes críticos del Departamento de Medicina Intensiva del Hospital Central Militar

Miriam Seleste Ramírez Valdez,^{*} Irving Iván Morales Pogoda,[‡]
José Luis Hernández Perdomo,[§] Sergio Salazar Soto[¶]

^{*} Adscrita al Departamento de Medicina Intensiva. Escuela Militar de Graduados de Sanidad. Hospital Central Militar.

[‡] Jefe del Departamento de Medicina Intensiva. Escuela Militar de Graduados de Sanidad. Hospital Central Militar.

[§] Jefe del Gabinete de Nutrición Artificial. Escuela Militar de Graduados de Sanidad. Hospital Central Militar.

[¶] Maestro en Salud Pública.

RESUMEN

Introducción: En las unidades de cuidados intensivos, el estándar de la determinación del estado hídrico es el balance calculado. En el Hospital Central Militar, actualmente se cuenta con el recurso tecnológico de análisis de bioimpedanciometría, que ha probado su validez y reproducibilidad en pacientes ambulatorios; sin embargo, no existe literatura de su uso en pacientes críticamente enfermos. Se buscó verificar la concordancia entre el agua extracelular reportada por bioimpedanciometría y el balance hídrico; de haberla, se contaría con una guía de manejo del estado hídrico desde el ingreso del paciente, sin el inconveniente de la espera en horas para realizar un balance hídrico entre ingresos-egresos. **Objetivo:** Determinar la concordancia entre el reporte de agua extracelular medida con bioimpedanciometría tetrapolar y el cálculo del balance hídrico. **Material y métodos:** Se realizaron mediciones seriadas de bioimpedanciometría a los pacientes ingresados en la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital Central Militar durante el periodo de estudio; se comparó el reporte de agua extracelular del dispositivo con la medición pareada del cálculo del balance hídrico, se aplicó el índice de kappa y se realizó la prueba de Bland-Altman para determinar la concordancia entre las dos mediciones. **Resultados:** Existió coincidencia entre el balance hídrico y la bioimpedanciometría. El índice kappa calculado fue de 0.3366 ($z = 5.1235$ y $p < 0.05$), por lo

Comparative analysis of extracellular water measured by bioimpedance measurement and calculated by water balance in critical patients of the Intensive Medicine Department of the Central Military Hospital

ABSTRACT

Introduction: The standard in intensive care units is to compute the water balance. In the Central Military Hospital, we have bioimpedance, a technological resource that has proven reproducibility and validity in ambulatory patients; however, no literature has been published regarding critically ill patients. We aim to verify the concordance between extracellular water reported by bioimpedance and water balance; if there is such, it will be used as a guide to manage the hydration status without the inconvenience of waiting hours to compute a water balance. **Objectives:** To determine the concordance between the water balance report measured by bioimpedance and the calculated water balance. **Material and methods:** Serial bioimpedance measurements were performed on the patients admitted in the ICU of the Central Military Hospital during the study; we compared the calculated water balance report and the bioimpedance report, applied the kappa index and Bland-Altman proof to determine the concordance between the two measurements. **Results:** There is a coincidence between water balance and

que, estadísticamente y desde el punto de vista cualitativo, la bioimpedancia tuvo un grado de coincidencia moderadamente aceptable con respecto al balance hídrico. El valor del índice predictivo positivo fue de 83.21. El valor del índice predictivo negativo fue de 88.89. El método Bland-Altman nos indica que de cada 100 mediciones, en 97 hubo algún grado de coincidencia entre el balance hídrico y la bioimpedancia: en 66% fue alta, en 21% mediana y en 10% pobre. Conclusión: La bioimpedancia constituye un método validado, no invasivo y fácil de realizar que permite aportar importante y más exacta información sobre la composición corporal y el estado nutricional y de hidratación en poblaciones sanas, enfermas y enfermas en estado crítico; es económica, no observador-dependiente y de fácil uso.

Palabras clave: Biomedancia eléctrica, análisis de bioimpedanciometría, balance hídrico.

bioimpedance. The kappa index was 0.3366 ($Z = 5.1235$ and $p < 0.05$); therefore, statistically and qualitatively, bioimpedance has a moderate coincidence with water balance. The positive predictive index is 83.21. The negative predictive value is 88.89. The Bland-Altman method shows that in 100 measurements, 97 will have some coincidence between bioimpedance and calculated water balance: in 66%, it will be high; in 21%, medium; in 10%, poor. Conclusion: Bioimpedance is a non-invasive, validated method that is easy to perform and allows to obtain important and accurate information regarding body composition, nutritional state and the hydric state in healthy people, sick ones and critically-ill patients; it is low-cost and easy to use.

Key words: Electrical bioimpedance, bioimpedance analysis, calculated water balance.

Introducción

El análisis de bioimpedancia ha sido usado en múltiples y diferentes estudios para estimar y analizar los cambios y desórdenes en los distintos tipos de enfermedades.

En cuanto a las medidas de composición corporal, la exactitud y precisión de las mediciones son altamente dependientes de la habilidad del antropometrista; se trata de técnicas simples y baratas, pero requieren bastante habilidad y entrenamiento.¹ La medición a través de impedancia bioeléctrica requiere poco entrenamiento; dentro de sus ventajas podemos destacar su menor variabilidad interobservador que con la antropometría, es rápida (más que la antropometría), los equipos son fácilmente transportables, económicos y de manejo sencillo, además de no requerir instalación; no precisa de colaboración del paciente y es una técnica no invasiva.

La administración de líquidos es, con frecuencia, necesaria para la estabilización hemodinámica de pacientes con sepsis grave y choque séptico. El tratamiento de estas patologías es habitualmente dirigido con base en metas. En las primeras seis horas se administra más líquido; sin embargo, es de llamar la atención que quienes reciben una menor cantidad de líquido durante las horas siete a 72 requieren con menos frecuencia ventilación mecánica. Por otra parte, un balance hídrico positivo se ha implicado en el desarrollo de falla renal y como precipitante del mecanismo de descompensación aguda de la falla cardíaca, aunque son pocos los datos que se tienen sobre el balance hídrico en el síndrome cardiorenal. Se ha observado que en pacientes con choque séptico

reanimados de acuerdo con las directrices actuales, un balance de líquidos más positivo a las 24 horas se asocia con un aumento en el riesgo de mortalidad.^{2,3}

Material y métodos

Se trata de un estudio observacional, prospectivo, longitudinal, descriptivo. Se realizó un muestreo no aleatorio a conveniencia; se incluyeron todos los pacientes que ingresaron a la Unidad de Cuidados Intensivos de Adultos del Hospital Central Militar del 01 de octubre al 01 de noviembre de 2016. Se excluyeron los pacientes con cavidad abdominal abierta, quemados, portadores de implantes biomecánicos con generadores eléctricos, aquellos con ausencia de alguna extremidad y los provenientes de otra unidad de terapia intensiva.

A partir de la aprobación por parte del Comité de Bioética del Hospital Central Militar, se integró una muestra de 52 pacientes durante el periodo de estudio. Se obtuvo consentimiento válidamente informado, otorgado por los familiares de los pacientes al no encontrarse ellos mismos en condiciones de hacerlo. A los participantes se les realizaron estudios de bioimpedanciometría con el dispositivo In Body S10 en medición tetrapolar con electrodos tipo táctil, contando con los datos antropométricos del ingreso y el peso diario.

Somatometría

En relación con la somatometría, la medición de la talla se realizó a través de media envergadura (distancia desde la línea media del esternón hasta la punta del dedo medio) y se calculó con una fórmula estándar:

1. En mujeres: estatura en cm = $(1.35 \times \text{media envergadura del brazo en cm}) + 60.1$.
2. En hombres: estatura en cm = $(1.40 \times \text{media envergadura del brazo en cm}) + 57.8$.

Las camas de la unidad cuantifican el peso en cualquier momento y se calibran entre paciente y paciente; el peso se anotó diariamente.

Análisis de bioimpedanciometría

Para mejorar la precisión, se realizó la medición después del baño de todos los días de estancia del paciente; para ello, se retiraron metales y conductores de electricidad y se detuvieron infusiones intravenosas de soluciones no imprescindibles y que pudieran ser suspendidas durante el tiempo de la medición. Todas las mediciones fueron hechas en posición decúbito supino; el observador se aseguró de que el paciente permaneciera en la misma posición por espacio de 10 minutos; antes de la medición, el observador verificó que los brazos no tocaran el tórax, colocándoles en abducción con ángulo de 15 grados; las extremidades inferiores también permanecieron separadas; los electrodos táctiles se colocaron en los dedos anular y medio bilateralmente acorde a las marcas y en los tobillos, buscando la mayor área de contacto; si el tobillo era muy delgado, se posicionó en el empeine, acorde a las marcas. La piel se preparó antes de colocar los electrodos con solución electrolítica del kit del fabricante.

Se anotó el nombre en el dispositivo In Body, se seleccionó el tipo de electrodos, que en la totalidad de los casos fue «touch type», y su posición, «lying posture»; se procedió al análisis segmental oprimiendo el botón de impedancia «Z» en tres ocasiones diferentes, con espacio de dos minutos entre cada una de ellas. Se imprimió la hoja de reporte y se calculó la media entre las tres mediciones. Cuando el paciente hubiera presentado algún movimiento, el reporte se descartó y la medición se realizó nuevamente. El reporte de la bioimpedanciometría incluyó masa magra y masa grasa; de los requerimientos metabólicos, se tomó en cuenta sólo el análisis de agua corporal.

Balance hídrico

Para el balance hídrico, se utilizaron las medidas antropométricas anotadas.

De la hoja de registro de enfermería de la Unidad de Cuidados Intensivos, se tomó la totalidad de los

ingresos del paciente (líquidos de base, soluciones para dilución de medicamentos, inotrópicos, sedantes, nutrición parenteral total, dieta enteral) y se realizó la suma; se anotaron los egresos (uresis cuantificada por sonda urinaria, deposiciones, gasto por drenajes y sondas) y las pérdidas insensibles, calculadas a 0.4 cm^3 por kilogramo de peso real, y se realizó la suma; luego, se efectuó la diferencia entre ingresos y egresos y se obtuvo el reporte del balance hídrico de las horas transcurridas. Se hizo, además, el balance hídrico acumulado en mililitros, que es la diferencia entre los reportes de balance de los días de estancia. El personal de enfermería llevó a cabo cuantificaciones estrictas de los ingresos y egresos; el observador verificó que las sumas horarias de las cuantificaciones registradas y sus totales fueran correctos; de no serlo, fueron corregidos basados en estudios para la disminución de errores en el registro de balances hídricos.

El registro final se realizó en la hoja de recolección de datos, de donde se tomó la edad del paciente, su género, sus antecedentes cronicodegenerativos y los valores en mililitros del balance hídrico acumulado y del reporte de agua extracelular. Se realizó el estimado esperable de acuerdo al peso y lo obtenido en la medición en mililitros.

Análisis estadístico

Se llevó a cabo la descripción estadística de la muestra. Se verificó gráficamente la coincidencia de los resultados del balance hídrico (BH) y la bioimpedanciometría (BIO), comprobando las tendencias de los respectivos gráficos. Se procedió al análisis cualitativo de los resultados por medio del índice kappa y se efectuó el análisis cuantitativo de los mismos a través de Bland-Altman, utilizando el programa «EPIDAT»® para el análisis de los datos.

Los recursos para la realización del trabajo provinieron del autor y los dispositivos de medición son propiedad de la Secretaría de la Defensa Nacional, a cargo de la Sección de Nutrición Artificial del Departamento de Terapia Intensiva.

Resultados

A partir de la aprobación del estudio, se integró una muestra de 52 pacientes que fueron atendidos en la Unidad de Terapia Intensiva del Hospital Central Militar y cumplieron con los criterios dentro del periodo de estudio; 27 fueron del género masculino y 25 del femenino. De los 52, 30 presentaron algún antecedente de

enfermedad crónica y 22 carecían de él. La edad promedio de la muestra fue 54.5 años, con una desviación estándar de 20.52, una edad mínima de 16 y máxima de 88, por lo que se obtuvo un rango de 72 años.

A partir de esta muestra de 52 pacientes, se realizaron 292 observaciones pareadas, a razón de 146 con BH y 146 con BIO; todos los pares de observaciones fueron estudiados y analizados tanto cualitativa como cuantitativamente.

Desde el punto de vista cualitativo, se pueden agrupar las observaciones en función de resultados dicotómicos (en este caso, exceso o deficiencia de agua en los pacientes en estudio). Bajo este concepto, el índice kappa es una metodología estadística que permite conocer el grado y la intensidad de la coincidencia entre observadores; de ellos, uno se considera como referencia (estándar de oro) y el otro como prueba (o sujeto a verificación). A partir de una matriz donde se plasman las coincidencias y discrepancias entre las observaciones, se establece la intensidad con que coinciden. Se destaca que para efectos de este estudio, se consideró al BH como la prueba de referencia.

Otro de los objetivos de este análisis cualitativo fue conocer los valores de los índices predictivos positivos y negativos de la BIO, siempre tomando como referencia al BH.

A partir de los resultados obtenidos, se generó la matriz de cálculo que aparece en el *cuadro 1*.

De los 146 pares de observaciones, en 114 (78%) tanto el BH como la BIO coincidieron en que el paciente presentaba un exceso de agua (para efecto del índice kappa, no importó la magnitud de este exceso). En ocho eventos (5.47%), tanto el BH como la BIO coincidieron en que los pacientes tenían deficiencia de agua. En 23 observaciones (15.75%), se presentó la discrepancia de que el BH indicaba déficit de agua

y la BIO lo contrario (exceso de agua); sólo en un caso (< 1%), la BIO indicó déficit de agua cuando el BH midió exceso.

El índice kappa calculado en nuestro estudio fue de 0.3366 ($z = 5.1235$ y $p < 0.05$), por lo que, estadísticamente y desde el punto de vista cualitativo, la BIO tuvo un grado de coincidencia moderadamente aceptable con respecto al BH.

El valor del índice predictivo positivo fue de 83.21.

El valor del índice predictivo negativo fue de 88.89.

El método Bland-Altman establece unos límites de decisión a partir de la desviación estándar de las observaciones obtenidas del método de referencia (en nuestro caso, el BH). Se hizo la diferencia numérica de las mediciones pareadas (medición del BH menos la medición de la BIO) y este valor se comparó con la magnitud de la desviación estándar.

Se procedió así con las 292 mediciones agrupadas en 146 pares y se generó el gráfico Bland-Altman correspondiente (*Figura 1*).

La desviación estándar de las mediciones del BH fue de 1,834. Bajo este contexto, se elaboraron los límites de decisión y se incluyeron en el gráfico Bland-Altman (*Figura 2*). Los límites verdes indican la franja de alta coincidencia; las franjas amarillas, media coincidencia; las rojas, pobre coincidencia. Todo valor por arriba o debajo de las líneas rojas se consideró no coincidente.

Con los límites establecidos, se pudo observar y cuantificar el grado de coincidencia a partir de las magnitudes de la manera como se muestra en el *cuadro 2*.

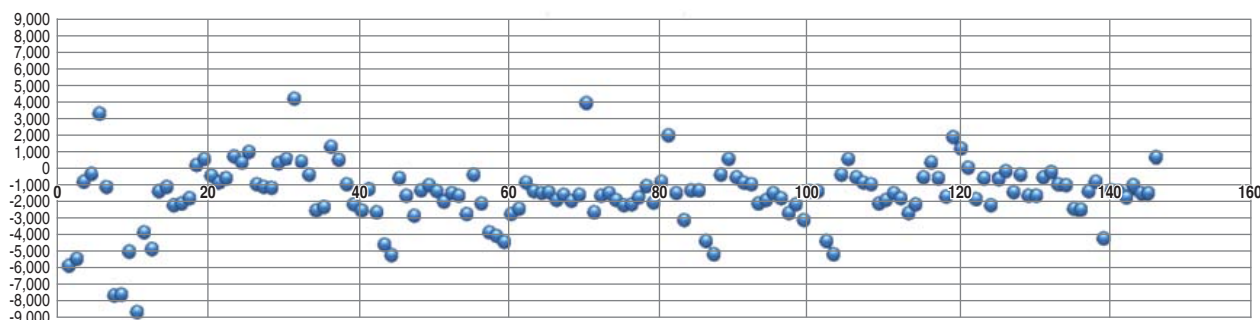
De lo anterior, se desprenden las siguientes aseveraciones:

1. De cada 100 mediciones, en 66 hubo una alta coincidencia entre los valores registrados (magnitud) con el BH y la BIO.

Cuadro 1. Análisis cualitativo mediante matriz de resultados cruzando las observaciones del BH y la BIO como exceso o déficit de agua.

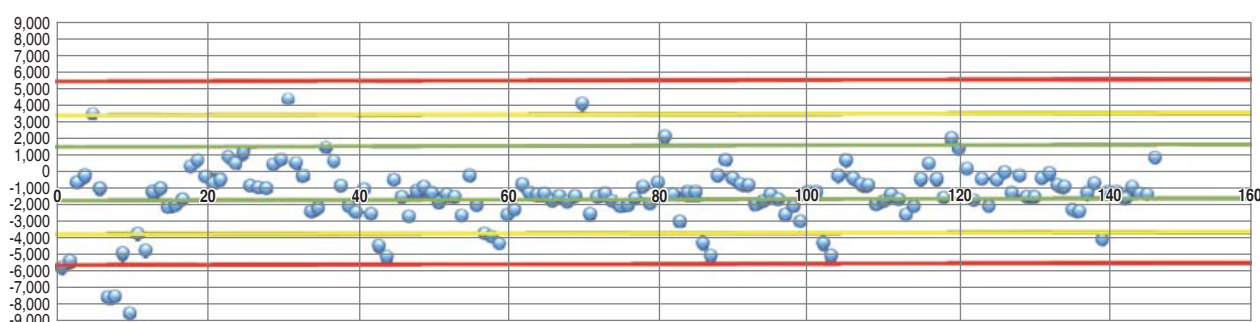
		Observaciones con BH		Totales
		Exceso de H ₂ O	Deficiencia de H ₂ O	
Observaciones con BIO	Exceso de H ₂ O	114	23	137
	Deficiencia de H ₂ O	1	8	9
	Totales	115	31	146

Fuente: Directa.



Fuente: Directa.

Figura 1. Gráfica de distribución; se realiza la diferencia de las dos observaciones pareadas entre el BH y la BIO.



Fuente: Directa.

Figura 2. La distribución de Bland-Altman con límites de decisión; la mayor parte está entre las franjas verdes y amarillas.

Cuadro 2. Reporte numérico de Bland-Altman; 97 (66%) de las observaciones y 31 (21%), es decir 87%, son alta y medianamente coincidentes.

	Número de observaciones	%
Mediciones altamente coincidentes	97	66.43
Mediciones medianamente coincidentes	31	21.23
Mediciones escasamente coincidentes	14	9.58
Mediciones sin coincidencia	4	2.76

Fuente: Directa.

- De cada 100 mediciones, en 21 existió una coincidencia mediana entre los valores registrados (magnitud) con el BH y la BIO.
- De cada 100 mediciones, en 10 hubo una muy pobre coincidencia entre los valores registrados (magnitud) con el BH y la BIO.

- De cada 100 mediciones, solamente en tres no hubo coincidencia entre los valores registrados (magnitud) con el BH y la BIO.

En términos generales, el método Bland-Altman nos indica que de cada 100 mediciones, en 97 hubo algún grado de coincidencia entre el BH y la BIO: en 66% fue alta, en 21% mediana y en 10% pobre.

Discusión

La reanimación con fluidos para expandir el volumen intravascular y mantener la perfusión orgánica es un concepto básico en el manejo del paciente crítico. De hecho, el concepto de «las horas de oro» o «minutos» en el choque está muy extendido en la medicina de los cuidados críticos. Sin embargo, una importante consecuencia de la administración de líquidos es el riesgo de desarrollar una sobrecarga hídrica.⁴⁻⁶

La evidencia científica sugiere que la sobrecarga de líquidos se asocia con peores desenlaces clínicos en los pacientes graves; también se ha demostrado que la gravedad de la sobrecarga de líquidos se co-

relaciona con un peor curso clínico, ya que esta se vinculó con un incremento de la mortalidad.⁷

La muestra estudiada fue de 52 pacientes; en el Hospital Central Militar, los ingresos del año pasado (2015) fueron 768; aplicando la fórmula para el cálculo de muestra en poblaciones finitas, los pacientes necesarios para tener una seguridad de resultados con un intervalo de confianza de 90% y un margen de error de 10% eran 63 (Raosoft® sample size calculator). El mes con menor número de ingresos a la unidad tuvo 45; así, se consideró que en dos meses se obtendría la muestra necesaria. En el muestreo se toma en cuenta el tamaño de la muestra y el procedimiento de muestreo; en este caso, el tamaño de la muestra fue casi perfecto para el universo que estábamos estudiando; sin embargo, no todos los pacientes tuvieron la misma probabilidad de participar en el estudio, por lo que persistió la denominación de muestreo no aleatorio a conveniencia.

El «estándar de oro» de comparación para las mediciones de bioimpedancia es la absorciometría de energía dual de rayos X. Se trata de una técnica indirecta de análisis de la composición corporal basada en la absorciometría; a través de ella se detecta la diferencia de atenuación que sufren los fotones emitidos en relación con la composición y grosor del tejido que atraviesan. Como alternativa, está la hidrometría o medición del agua corporal total; con este método, se mide la concentración de isótopos del hidrógeno (deuterio y tritio) en fluidos biológicos (saliva, plasma y orina) después del equilibrio. Esta medición es usada para estimar el agua corporal total; asume que la distribución e intercambio de isótopos en el cuerpo son similares a la distribución e intercambio de agua. Estos métodos, desde el punto de vista clínico, son difíciles de realizar en el paciente crítico por la necesidad de transporte; además, no se llevan a cabo en el Hospital Central Militar. El método estándar y aceptado de estimación del déficit o exceso de agua es el cálculo del balance hídrico. Se aplicaron criterios establecidos para la disminución de errores en el registro de los balances hídricos de pacientes críticos ingresados en la Unidad de Cuidados Intensivos;⁸ por ello, fue el comparativo base de la bioimpedanciometría.

El análisis cualitativo nos indicó que la BIO fue coincidente con el BH desde la medición dicotómica «tiene exceso de agua» o «tiene deficiencia de agua». Ahora, el análisis cuantitativo, donde se determinaron las magnitudes obtenidas por ambos métodos, también fue objeto de coincidencias.

Cabe recordar que en este momento sólo estamos analizando la coincidencia cualitativa; las magnitudes

de carácter cuantitativo (qué tanta agua dijo cada prueba que había en exceso o déficit) se analizan en el bloque cuantitativo.

El método Bland-Altman es un procedimiento matemático empleado para verificar el grado de coincidencia entre mediciones de carácter cuantitativo (variables continuas); en este caso, comparamos las mediciones del BH y la BIO en los mililitros que cada uno cuantificó en sus respectivas observaciones.

Nuevamente, se partió del supuesto de que uno de los dos procedimientos era el de referencia (estándar de oro), por lo que el BH continuó siéndolo.

La desviación estándar de las mediciones del BH fue de 1,834 mililitros.

Si la diferencia se encontraba dentro de $\pm$ una desviación, se dijo que eran altamente coincidentes las observaciones. Si la diferencia era superior al punto anterior, pero dentro de la franja de $\pm$ dos desviaciones, se dijo que eran medianamente coincidentes. Si la diferencia era superior al punto anterior, pero dentro de la franja de $\pm$ tres desviaciones, se dijo que era muy pobre la coincidencia. En toda diferencia superior a $\pm$ tres desviaciones, no hubo coincidencias.

En nuestro estudio, la mayoría de las diferencias de las mediciones fueron negativas, por lo que las magnitudes de la BIO en general fueron mayores que las del BH, aunque ambos estuvieran de acuerdo en que había un exceso o deficiencia de agua. Esto podría explicarse por la precisión que tiene la BIO, ya que esta prueba indica si el agua es extra- o intracelular y el segmento del cuerpo donde se encuentra, situación que el BH no puede determinar.

El método Bland-Altman nos indicó que de cada 100 mediciones, en 97 hubo algún grado (ya sea alto, mediano o escaso) de coincidencia entre el BH y la BIO, y que en el 66% existió alta coincidencia.

Conclusión

Existió coincidencia entre el balance hídrico y la bioimpedanciometría. La bioimpedancia constituye un método validado, no invasivo, fácil de realizar y económico que permite aportar importante y más exacta información sobre la composición corporal y el estado nutricional y de hidratación de poblaciones sanas, enfermas y enfermas en estado crítico; es no observador-dependiente y de fácil uso.

Conflicto de intereses

Los autores declaran ausencia de conflicto de intereses.

REFERENCIAS

1. Yong J. Introduction to bioelectricity. Springer Science and Bussines Media. 2011; 4 (2): 65-97. doi: 10.1007/978-1-4419-6597-4_2.
2. Khalil SF, Mohktar MS, Ibrahim F. The theory and fundaments of bioimpedance analysis in clinical status monitoring and diagnosis of diseases. Sensors (Basel). 2014; 14 (6): 10895-10928.
3. Tomasset MA. Bioelectric properties of tissue. Impedance measurement in clinical medicine. Significance of curves obtained. Lyon Med. 1962; 207: 107-118.
4. Sadaka F, Juarez M, Naydenov S, O'Brien J. Fluid resuscitation in septic shock: the effect of increasing fluid balance on mortality. J Intensive Care Med. 2014; 29 (4): 213-217.
5. Henríquez PF, Antón PG, Marrero RS, González CF, Rodríguez PJ. La sobrecarga hídrica como biomarcador de insuficiencia cardíaca y fracaso renal agudo. Nefrología. 2013; 33 (2): 256-265.
6. Murphy CV, Schramm GE, Doherty JA, Reichley RM, Gajic O, Afessa B et al. The importance of fluid management in acute lung injury secondary to septic shock. Chest. 2009; 136: 102-109.
7. Carrillo ER, Peña PC. Alteraciones biomoleculares secundarias a la sobrecarga hídrica. Revista Mexicana de Anestesiología. 2015; 38 (1): 216-217.
8. Gutiérrez A, Calvo A. Estudio para la disminución de errores en el registro de balances hídricos de pacientes ingresados en una unidad de cuidados intensivos. Enferm Intensiva. 2005; 16 (3): 100-109.

Dirección para correspondencia:

Miriam Selesté Ramírez Valdez

Cda. de Palomas S/N. Lomas de San Isidro.

Miguel Hidalgo. México, DF. 11620.

E-mail: blancotu@hotmail.com

Fe de errata

En la Revista de Sanidad Militar Méx. en el volumen 46 número 2; marzo-abril 1992 en las páginas 45-48, fue publicado el artículo «Hipertensión arterial pulmonar secundaria del neonato», por error se publicó el nombre del autor como Arturo de la O Vizcarra, debe decir Mauro de la O Vizcarra.