

Ver artículos originales en *Nefrología* 2011;31(5):537-44 y en este mismo número en página 670

Aplicaciones futuras de la bioimpedancia vectorial (BIVA) en nefrología

S. Cigarrán Guldrís

Servicio de Nefrología. Hospital da Costa. Burela. Lugo

Nefrología 2011;31(6):635-43

doi:10.3265/Nefrologia.pre2011.Oct.11108

FUNDAMENTOS DE LA BIOIMPEDANCIA VECTORIAL

El conocimiento de la composición corporal (CC), por su implicación biológica, es de capital importancia tanto en la salud como en la enfermedad, y en las últimas décadas ha progresado permitiendo la cuantificación de los compartimentos corporales desde el modelo simple de dos compartimentos (magro frente a grasa), a los más sofisticados multicompartimentales (molecular, cuantificación como nitrógeno corporal, potasio, calcio, fósforo, etc.).

El análisis de la CC se ve limitado al contenido de agua corporal, masa magra, masa grasa y masa ósea mediante bioimpedancia eléctrica (BIA) y *dual energy X-ray absorptiometry* (DEXA), fundamentalmente porque otras tecnologías son todavía o bien demasiado complejas y caras o bien inexactas¹.

La bioimpedancia vectorial (BIA), en sus distintas técnicas, multifrecuencia (BIA-MF), espectroscópica (BIS) y vectorial (BIVA), tiene una enorme difusión en la comunidad científica como herramienta diagnóstica de los cambios de la CC. Descrita y validada por Kushner en 1986², sus grandes ventajas radican en que es una técnica no invasiva, económicamente rentable, validada y de fácil uso rutinario, comparada con las técnicas de referencia como densitometría ósea (DEXA) o utilización de isótopos³ como el deuterio o ⁴⁰K.

El fundamento de la BIVA se publicó en esta Revista en el año 2002, y establece la CC a través vectores gráficos derivados de la resistencia-reactancia (R/Xc) sin ecuaciones^{4,7}. Detecta cambios en la hidratación tisular menores de 500 ml y su error estándar es del 2%. Se considera adecuada cuando el vector se sitúa entre los percentiles 50 y 75%⁵ (figura 1).

Correspondencia: Secundino Cigarrán Guldrís

Servicio de Nefrología.
Hospital da Costa. Rafael Vior, s/n. 27880 Burela. Lugo.
cigarran@ctv.es

La Agencia Estatal de Evaluación Tecnológica (avalía-t) evaluó la BIVA, y se consideró como emergente, consolidada, sin impacto ético y una herramienta útil en la evaluación de la CC de los pacientes con enfermedad renal crónica (ERC)⁸.

Los tres parámetros de importancia clínica derivados de la BIVA son el ángulo de fase (AF), el intercambio celular Na-K y la masa celular (MC).

El AF (figura 2) evalúa la integridad de las membranas celulares y la relación entre el espacio extracelular e intracelular. Por definición, el AF tiene una relación positiva con la reactancia (AI) y negativa con la resistencia (AE)⁹. Su valor es pronóstico de supervivencia en diferentes patolo-

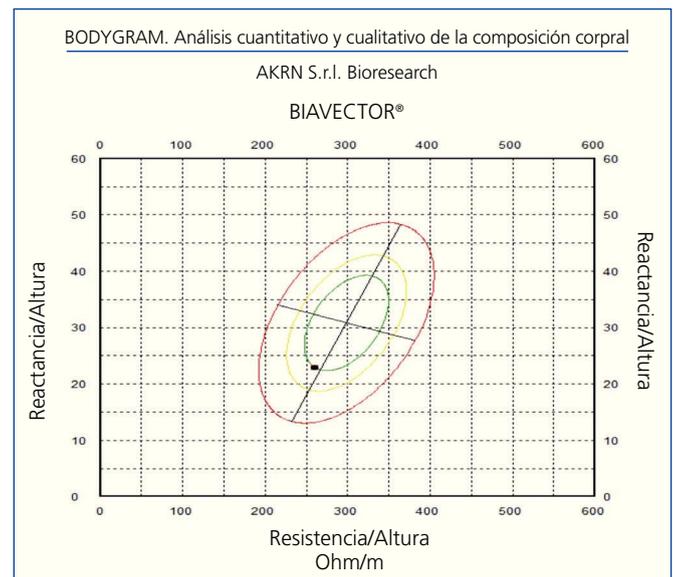


Figura 1. Nomograma de composición corporal normal entre percentiles 50 y 75%.

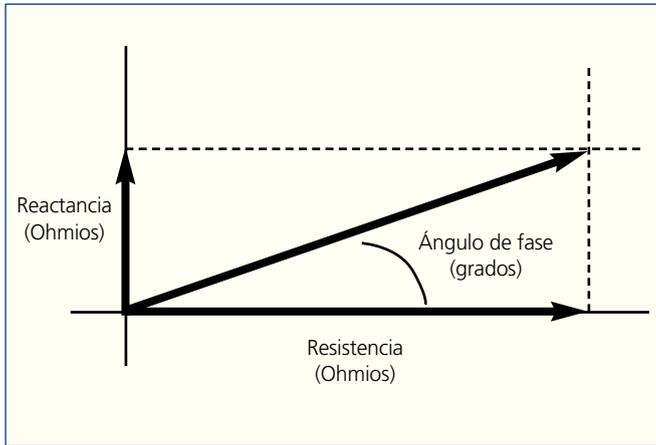


Figura 2. Relación entre resistencia (R), reactancia (Xc) y ángulo de fase ($^{\circ}$).

gías como ERC, enfermedad cardíaca y cáncer¹⁰⁻¹³. En este número, Caravaca, et al. y Abad, et al. aportan una experiencia importante en enfermedad renal crónica avanzada (ERCA) y en pacientes en diálisis poniendo de manifiesto la importancia del AF como parámetro de supervivencia^{14,15}.

El intercambio celular Na-K constituye un parámetro emergente y de gran relevancia clínica en la monitorización de los estados inflamatorios. Se correlaciona con parámetros de inflamación, de malnutrición y de riesgo cardiovascular^{16,17}.

Basado en las propiedades bioeléctricas celulares en las que éstas se comportan como verdaderos condensadores almacenando la electricidad a ambos lados de sus membranas, el intercambio Na-K determina el grado de lesión de la membrana celular.

La MC evalúa los componentes celulares implicados en los procesos bioquímicos y metabolismo energético. El estado nutricional, el nivel de actividad y los procesos patológicos alteran la MC constituyendo un biomarcador útil. De ella deriva el potasio corporal total (PCT) (mmol) = masas celular x 108,6) que corresponde al contenido total de K, de importancia en la evaluación nutricional, especialmente en la sarcopenia de los ancianos¹⁸⁻²⁰.

BIOIMPEDANCIA VECTORIAL EN LA ENFERMEDAD RENAL CRÓNICA

En 2010 se produjeron novedades importantes en el manejo de la ERC para retrasar la progresión de la enfermedad renal y disminuir el riesgo cardiovascular asociado²¹.

Caravaca, et al.¹⁴ evidencian claramente la utilidad de la BIS en las variaciones del estado de hidratación en pacientes con ERCA y establecen que el AF de 5,3 $^{\circ}$ tiene valor pronóstico

de supervivencia junto con la relación entre la sobrecarga de volumen y la elevación de la tensión arterial y factores de riesgo cardiovascular. Aportan un dato relevante en cuanto al papel del hiperaldosteronismo relacionando el aumento del AE con el índice de excreción Na/K urinario bajo. Establecen la relación entre hidratación, nutrición e inflamación, y nos ayudan a tomar decisiones sobre el uso de fármacos y medidas no farmacológicas.

Los efectos cardiovasculares y los cambios en la CC se manifiestan en los estadios iniciales de la ERC, aumentando el AT a expensas del AE con descenso del AF, asociado a una remodelación cardíaca e hipertrofia del ventrículo izquierdo²². El AF disminuye en un 22% respecto a los controles y, especialmente, sufren estos cambios los pacientes diabéticos, evidenciando un cierto grado de exceso de volumen manifestado por el aumento del AT, AE y disminución de la MC²³.

Las diferencias de la CC entre ambos sexos, independientemente de las funciones fisiológicas y culturales, se deben a la diferente alimentación, con nutrientes con actividad estrogénica, que aportan una perspectiva diferente a los riesgos cardiovasculares²⁴.

Mantener la masa muscular es clave en la prevención de la malnutrición²⁵. Junto con antropometría, la BIVA valora la masa muscular una vez que el estado de hidratación se haya normalizado. Asociada a la dinamometría permite una estimación de la fuerza muscular y de la masa muscular. Por cada 0,5 kg de fuerza aumenta 1 Ohm/m la reactancia/altura (m) y cada descenso de 1 Ohm/m de la resistencia/altura (m) disminuye 0,063 kg de fuerza²⁶. En nuestra unidad estudiamos a 519 pacientes en estadios 2-5 seguidos con BIVA y dinamometría observando que tanto la fuerza del brazo dominante como del no dominante presenta una correlación significativa negativa con edad ($p < 0,001$), Na-K intercambiable ($p < 0,001$), proteína C reactiva ($p < 0,040$), y positiva con porcentaje magro ($p < 0,001$), porcentaje de músculo ($p < 0,001$), AF ($p < 0,001$), albúmina sérica ($p < 0,001$), prealbúmina ($p < 0,001$), nPNA ($p < 0,001$), albúmina/creatinina urinaria ($p < 0,021$) y testosterona ($p < 0,001$)²⁷. En nuestra población por cada kg de fuerza varía el músculo en 0,659 kg o un 4,4%. Además, los parámetros de la BIVA se correlacionan con los marcadores séricos de nutrición e inflamación.

La estimación del filtrado glomerular con MDRD y CKD-EPI no tiene en cuenta la CC. Sin embargo, tanto la masa muscular como la MC influyen en el filtrado glomerular. Basándonos en los estudios de validación realizados por Donadio utilizando la MC, evaluamos a 353 pacientes con ERC estadios 1-5 y encontramos una significativa correlación con los métodos actuales; se abre una metodología nueva en la evaluación del filtrado glomerular, aunque hacen falta más estudios^{28,29}.

El sobrepeso y la obesidad constituyen un importante problema de salud, y se asocia tanto al desarrollo de ERC como a la progresión de la enfermedad, al desarrollo de diabetes y a los eventos cardiovasculares³⁰.

El uso del índice de masa corporal (IMC) como indicador de sobrepeso/obesidad está cuestionado por su fuente de error e inexactitud y la BIVA tiene un papel relevante por su fiabilidad. Ha demostrado una especificidad del 86%, un valor predictivo positivo del 98% y un valor predictivo negativo del 20%. El error de la técnica con adiposidad elevada es del 9%³¹.

La CC varía con la edad y el género a lo largo de la vida. Se ha observado mediante BIVA que, superando los 50 años, en ambos sexos se producen cambios de la CC consistentes en aumento del porcentaje de grasa, disminución de la masa muscular, aumento del AT, AE y disminución del AF, MC, AI y metabolismo basal, probablemente en relación con los hábitos de vida, entre los que el sedentarismo y la alimentación tienen un papel relevante³².

Esto es importante a la hora de valorar los cambios producidos por el envejecimiento en nuestros pacientes en los que su CC no puede ser comparada con la de poblaciones más jóvenes y que supone un importante reto en su manejo, debido a que la sarcopenia constituye el principal cambio corporal de la población anciana sana, que en la actualidad es objeto de estudio³³.

La sarcopenia en ancianos se traduce en cambios de la CC detectados mediante BIVA con MC, PCT y AF disminuidos. El AF ha resultado ser también un marcador de mortalidad en pacientes ancianos hospitalizados; pacientes con AF de $4,3 \pm 1,1$ ° presentan una mayor supervivencia³⁴.

BIOIMPEDANCIA VECTORIAL EN DIÁLISIS

La diálisis *per se* produce cambios importantes en la CC, en poco tiempo, y donde la BIVA más se ha utilizado para establecer la CC adecuada y controlar los factores de morbimortalidad, como son la malnutrición, la inflamación y el riesgo cardiovascular. Se ha consolidado en los últimos años como herramienta de ayuda en la toma de decisiones tanto en pacientes en hemodiálisis (HD) como diálisis peritoneal (DP)³⁵. La BIVA ha hecho evolucionar el concepto de «peso seco» hacia una situación más fisiológica y menos arbitraria como peso adecuado o «CC adecuada».

Evaluando el volumen extracelular, la BIVA permite prevenir los eventos cardiovasculares y la pérdida de la función renal residual. En cualquiera de sus modalidades, la diálisis controla el volumen a expensas del AE, y mantener los pacientes en un estado euvoléxico es un reto para los nefrólogos^{36,37}.

La individualización de la ultrafiltración dentro del concepto de individualización de la prescripción de diálisis y el uso del AT como parámetro que debe incluirse en la adecuación de la diálisis hace que las prescripciones sean más eficientes y efectivas³⁸.

El V_{urea} forma parte del Kt/V. Comparada con diferentes fórmulas antropométricas (Watson, Hume, Randall, Tzamaloucas y Chertow) y con el modelo cinético de la urea, el AT estimada mediante BIVA resultó ser más exacto^{39,40}.

La evaluación de la CC de las dos técnicas dialíticas demuestra que los pacientes en DP presentan significativamente un mayor porcentaje de AT en comparación con los pacientes en HD. La proporción de hipertensos volumen-dependientes es mayor en los pacientes en DP, pero no significativamente⁴¹. Usando el índice AE/AT, recientemente se sugirió que la CC era similar en los pacientes en DP y en HD prediálisis. Los niveles de péptido natriurético auricular (PNA) fueron similares en DP y en HD posdiálisis, a pesar de haber mejorado su índice AE/AT, lo que sugiere que la compartimentalización del volumen era diferente en las distintas técnicas⁴². Con la introducción de la icodextrina y la expansión de la diálisis peritoneal ambulatoria (DPA), especialmente en los altos transportadores, se encontró que el estado de hidratación no es diferente entre ambas modalidades, estimando que un 25% de los pacientes en DP y en HD presentan un exceso de volumen. La BIVA ha demostrado ser útil en el establecimiento del estado de hidratación adecuado en DPCA y en HD. Los vectores de los pacientes con edema son cortos y se desplazan por debajo del percentil 75%^{43,44}.

La malnutrición es altamente prevalente tanto en DP como HD, con cifras similares en ambas técnicas, aunque algún estudio se ha reseñado una mayor prevalencia en DP, que se estima en un 34%, y las anomalías del estado nutricional han sido referenciadas con diferentes métodos⁴⁵.

Los pacientes que inician diálisis muestran una mejoría del estado nutricional en los primeros seis meses y, aun así, el 40% presentan malnutrición. El nivel sérico de albúmina es considerado como indicador de mortalidad, y los pacientes con niveles $<3,5$ g/l tienen el doble de mortalidad si se comparan con los de >4 g/l⁴⁶. La hipoalbuminemia se ha asociado con estados de hidratación, tanto en pacientes en HD como en DP, y con factores comórbidos, medidos con BIVA⁴⁷. La prealbúmina tiene valor predictivo similar al de la albúmina y no se ve afectada por el estado de hidratación⁴⁸.

La BIVA posee una excelente correlación con albúmina, nPNA y Kt/V en HD y en DP, siendo el AF y la MC los marcadores pronósticos de supervivencia^{49,50}. Abad, et al.¹⁵ aportan una nueva e interesante experiencia con resultados controvertidos respecto a los de otros autores^{9,10} con BIA-MF; han hallado un AF de 8° como pronóstico de la supervivencia tanto en HD como en DP, evidenciando estos últimos pa-

cientos un mejor estado nutricional. Los autores encuentran una relación significativa positiva entre el AF con la ganancia de peso interdiálisis, AE y AI, lo que sugiere que la CC de los pacientes se corresponde con vectores largos por encima del percentil 75%.

La inflamación modifica la CC, disminuye la masa muscular, y aumenta el AE y el intercambio Na-K, cambios que se observan en ambas técnicas determinados mediante BIVA, comparadas con voluntarios sanos^{51,52}.

El concepto de malnutrición puede redefinirse incluyendo parámetros de la BIVA como el AF, PCT o MC, junto con los marcadores bioquímicos, lo que permite discriminar malnutrición-inflamación del estado de sobrecarga de volumen por otra causa⁵³.

La obesidad confiere un riesgo de mortalidad en la población en general; los estudios observacionales en pacientes en diálisis demostraron lo contrario⁵⁴. El tejido adiposo es un órgano complejo con funciones más allá del depósito energético. Los investigadores han demostrado que el efecto protector del alto IMC lo confiere la cantidad de músculo, no el tejido adiposo⁵⁵. Recientemente, los mismos autores refieren la importancia en distinguir entre los dos componentes; mediante BIVA los que tienen mayor proporción de músculo evidencian mayor MC, AF, AI y metabolismo basal que en los que el tejido graso es superior al 35%. Estas variaciones van unidas a un aumento de la ingesta energética y a una disminución de la ingesta proteica y, con ello, a un mayor riesgo de eventos cardiovasculares^{56,57}.

El propio procedimiento dialítico tiene efectos metabólicos importantes. La HD lo hace mediante el aumento del catabolismo proteico que incluye la pérdida de aminoácidos en el líquido de diálisis y por la proteólisis inducida por las citoquinas activadas por las membranas y líquidos de diálisis no ultrapuros. Esto tiene como resultado el aumento del gasto energético en un 10% y en un 133% de la proteólisis de las proteínas musculares. El sustrato de oxidación se ve alterado con disminución de los hidratos de carbono y aceleración de la oxidación de los lípidos y de los aminoácidos^{58,59}.

La DP ejerce sus efectos catabólicos proteicos debido a las pérdidas de proteínas y aminoácidos a través del efluente peritoneal.

Los pacientes en HD tienen un nPNA mayor los días que son sometidos a diálisis. Al ser el músculo la fuente energética del organismo, su integridad debe ser un objetivo y, por tanto, su evaluación sistemática, así como el metabolismo basal, permitirán prevenir al desgaste proteico-calórico⁶⁰.

Medidas preventivas, como la administración de suplementos orales nutricionales y/o nutrición parenteral intradiálisis, están siendo utilizadas con diferentes resultados⁶¹.

Finalmente, el tiempo y la frecuencia de la HD influyen en la CC. Los pacientes con sesiones de ocho horas evidencian un aumento de la reactancia y de AF, que se atribuye a los cambios en los fluidos corporales que con índices de ultrafiltración horaria más baja son menos intensos y más progresivos, lo que permite un relleno vascular más eficiente⁶².

BIOIMPEDANCIA VECTORIAL EN TRASPLANTE RENAL

El trasplante renal constituye el tratamiento de elección en los pacientes con ERC subsidiarios de recibirlo, y son escasas las publicaciones que analicen la CC^{63,64}. La mayoría de los pacientes no alcanzan la función de los dos riñones nativos y en un alto porcentaje la función renal va declinando lenta y progresivamente hacia la ERCA. Es reciente la guía de manejo nutricional de los pacientes trasplantados⁶⁵.

La obesidad también afecta a los pacientes sometidos a trasplante (previamente obesos y no obesos), es frecuente y multifactorial (ausencia de actividad física, predisposición genética, corrección de la uremia, edad, género y raza) y se asocia con importantes complicaciones como hipertensión, diabetes tipo 2, enfermedad coronaria y dislipemia, que incrementan la morbimortalidad postrasplante⁶⁶. Contrariamente a lo descrito en los pacientes en diálisis, un alto IMC se asocia directamente con hospitalizaciones y alta mortalidad, lo que parece indicar que la recuperación o la pérdida de la función renal tienen una influencia diferente sobre cómo el tejido adiposo ejerce sus efectos metabólicos⁶⁷.

El análisis de la CC mediante BIVA está despertando un interés creciente por la importancia en la selección de los candidatos, evolución y manejo de fármacos⁶⁸.

La malnutrición-inflamación se asocia con la progresiva pérdida de función del injerto, la respuesta inmune frente al injerto y los episodios de rechazo. Este síndrome ha sido recientemente protocolizado con un sistema de evaluación validado de forma similar al de los pacientes con ERC y diálisis, ya que produce cambios en la CC, especialmente pérdida de masa muscular⁶⁹.

Comparada la CC de los pacientes sometidos a trasplante mediante BIVA con la de la población sana de referencia, los pacientes sin deterioro inicial de la función renal (un mes después del trasplante) muestran una composición similar a la de la población de referencia, mientras que los que se encuentran en estadios iniciales de ERC (<75 ml/min/1,73 m²) evidenciaron cambios de la CC con aumento del AE, disminución del AI, menor AF e incremento del Na-K intercambiable, hallazgos similares a los observados en pacientes con ERC^{70,71}.

El género presenta diferencias, especialmente en el pretrasplante, e influye en la evolución en los tres primeros meses

posteriores al mismo. La CC pretrasplante de los hombres sometidos a trasplante, en comparación con la de controles sanos, presentó resistencia, reactividad, MC más elevados y menor AE, lo que concuerda con una situación de depleción. Sin embargo, a los tres meses del trasplante su única diferencia es un mayor AE y AT respecto a los controles. No hay diferencia en el grupo de las mujeres sometidas a trasplante⁷².

Con los datos disponibles, el análisis de la CC en los pacientes trasplantados, la estratificación de los riesgos y la potenciación de la salud son retos en los datos de la BIVA pueden ser útiles.

BIOIMPEDANCIA VECTORIAL EN INSUFICIENCIA CARDÍACA Y SÍNDROME CARDIORRENAL

La prevalencia de insuficiencia cardíaca (IC) crónica (ICC) sintomática afecta a un 2% de las personas mayores de 45 años, es la causa más importante de hospitalización en las personas mayores de 65 años y constituye un problema de salud pública. La presencia de enfermedad renal en pacientes con fracción de eyección normal o baja es común, así como en pacientes con o sin sintomatología. La alteración renal desempeña un importante papel en la progresión de la enfermedad cardíaca y constituye un factor de riesgo independiente de morbilidad⁷³. La relación entre el corazón y riñón ha sido recientemente redefinida como síndrome cardiorrenal (SCR)⁷⁴. Aunque su mecanismo no es bien conocido, se sabe que el deterioro de la función cardíaca causa un descenso de la perfusión tisular renal, lo que explica algunos de los aspectos implicados en el SCR⁷⁵.

La ICC se caracteriza por una sobrecarga de volumen de forma cíclica (pulmonar y periférica) y su eliminación (diuréticos, ultrafiltración). A pesar de la buena respuesta, la alta tasa de reingresos indica que probablemente los criterios de alta se correlacionan pobremente con la estabilización clínica. El uso de la BIVA para evaluar el fallo cardíaco ha sido examinado en el contexto de la medición del estrés miocárdico⁷⁶. Combinando BIVA y BNP, en 292 pacientes disneicos, el 58,2% presentaban descompensación cardíaca aguda, mostrando valores significativamente más altos de BNP y vectores cortos en BIVA con valores predictores aislados o asociados a BNP, respecto a los que no manifestaban fallo cardíaco agudo, con lo que la combinación de BIVA y BNP resultó útil en el manejo de estos pacientes. La combinación de BIVA y Pro-BNP discrimina la disnea de origen cardíaco de la que no lo es, y mejora la rapidez y la exactitud del diagnóstico⁷⁷.

El seguimiento ambulatorio de pacientes cardiopatas puede beneficiarse del uso de la BIVA con el objetivo de monitorizar el tratamiento farmacológico, consiguiéndose una reducción del 35% de los reingresos y de los costes de tratamiento^{14,78}.

Las alternativas terapéuticas con DP o HD en el SCR, con el objetivo de mantener la estabilidad hemodinámica y un buen control del volumen y del estado nutricional, abren una puer-

ta al uso de la BIVA para evaluar la CC junto con los marcadores de riesgo cardiovascular⁷⁹.

BIOIMPEDANCIA VECTORIAL EN EL ENFERMO CRÍTICO

Cuantificar exactamente los fluidos corporales en el enfermo crítico ni es práctico ni es posible. La presión venosa central se utiliza para monitorizar la infusión de soluciones.

La BIVA demostró ser útil comparada con la presión venosa central. Ambos componentes del vector se correlacionaron inversamente con los valores de la presión venosa central. El aumento de la presión venosa central correspondió con vector corto y desplazado hacia la parte baja de la elipse, por debajo del percentil 75%. Las situaciones de depleción se asociaron con vectores largos, por encima del percentil 75%. Combinando los parámetros de hidratación tisular y la BIVA, el aporte de fluidos en los pacientes críticos es más exacto, en especial con presión venosa central baja⁸⁰. En los pacientes quirúrgicos permite la monitorización durante la anestesia, facilitando la fluidoterapia y el soporte nutricional⁸¹.

En el fallo multiorgánico, con terapia sustitutiva continua, la monitorización del estado nutricional y de hidratación, especialmente del espacio extracelular, la BIVA en combinación con los marcadores séricos permite un manejo adecuado de la CC⁸². En el cuadro séptico tratado con drotrecogin alfa (Xigris®), el intercambio Na-K y el AF constituyen los parámetros predictores de evolución en las primeras 24 horas. En varias series, en las que incluyeron más de 30 pacientes con sepsis, el AF >4° al ingreso se correlacionó significativamente con la supervivencia⁸³. Esta patología, además, se asocia con una pérdida del 15-20% de proteínas y potasio provenientes del músculo, disminuyendo el AI, PCT, y aumentando el AT y el AE. La BIVA permite detectar de forma precoz estos cambios y facilitar el soporte nutricional necesario al objeto de preservar el músculo⁸⁴. La masa magra, compartimento de la actividad metabólica, funciona como un reservorio de aminoácidos durante la respuesta al estrés. La pérdida de MC se correlaciona con alteraciones de las funciones fisiológicas y con la supervivencia⁸⁵. La monitorización de la MC es más precisa que la masa magra, debido a que esta última incluye el AE, que es fluctuante, especialmente en los sometidos a terapias continuas, mientras que la primera incluye sólo el AI. En consecuencia, la evaluación sistemática de la CC es de importancia clínica en el enfermo crítico.

BIOIMPEDANCIA VECTORIAL EN EMBARAZO DE RIESGO

Un reto importante es el análisis de los cambios de la CC en situaciones fisiológicas como es el ciclo menstrual. Las fluctuaciones importantes del peso y de la CC durante el ciclo

2. Kushner RF, Schoeller DA. Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 1986;44:417-24.
3. Lozano-Nieto A. Clinical applications of bioelectrical impedance measurements. *J Clin Engl* 2000;25(4):211-8.
4. Piccoli A, Nescolarde LD, Rosell J. Análisis convencional y vectorial de impedancia en la práctica clínica. *Nefrología* 2002;23:228-36.
5. Piccoli A, Rossi B, Pilon L, Buccianti G. A new method for monitoring body fluid variation by bioimpedance analysis: the RXc graph. *Kidney Int* 1994;46:534-9.
6. Piccoli A. Patterns of bioelectrical impedance vector analysis: learning from electrocardiography and forgetting electric circuits models. *Nutrition* 2002;18:520-1.
7. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gómez JM, et al. Bioelectrical impedance analysis-Part I: review of principles and methods. *Clin Nutr* 2004;23:1226-43.
8. Moreno E, Atienza Merino G. Bioimpedancia vectorial en la valoración nutricional y del balance hídrico de pacientes con enfermedad renal crónica. Plan de Calidad para el Sistema Nacional de Salud del Ministerio de Sanidad y Política Social e Igualdad. Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias de Galicia 2010. Informes de evaluación de tecnologías sanitarias. Available at: 2010/01-03.
9. Kyle UG, Genton L, Karsgaard VL. Percentiles (10, 25, 75 and 90th) for phase angle (PhA), determined by bioelectrical impedance (BIA), in 2740 healthy adults aged 20-75 yr. *Clin Nutr* 2004;23:758.
10. Oliveira CM, Kubrusly M, Mota RS, Silva CA, Choukroun G, Oliveira VN. The phase angle and mass body cell as markers of nutritional status in hemodialysis patients. *J Ren Nutr* 2010;20:314-20.
11. Paiva SI, Borges LR, Halpern-Silveira D, Assunção MC, Barros AJ, Gonzalez MC. Standardized phase angle from bioelectrical impedance analysis as prognostic factor for survival in patients with cancer. *Support Care Cancer* 2010;19:187-92.
12. Müller U, Jungblut S, Frickmann H, Bargon J. Assessment of body composition of patients with COPD. *Eur J Med Res* 2006;28(11):146-51.
13. Gastelurrutia P, Nescolarde L, Rosell Ferrer J, Domingo M, Ribas N, Bayés-Genís A. Bioelectrical impedance vector analysis in stable and non stable heart failure patients: a pilot study. *Int J Cardiol* 2011;146:262-4.
14. Caravaca F, Martínez del Viejo C, Villa J, Martínez-Gallardo R, Ferreira F. Estimación del estado de hidratación mediante bioimpedancia espectroscópica multifrecuencia en la enfermedad renal crónica avanzada prediálisis. *Nefrología* 2011;31(5):537-44.
15. Abad S, Sotomayor G, Vega A, Pérez de José A, Verdalles U, Jofré R, et al. El ángulo de fase de la impedancia eléctrica es un predictor de supervivencia a largo plazo en pacientes en diálisis. *Nefrología* 2011;31(6):670-6.
16. Cigarrán S, Coronel F, Barril G, Bajo MA, Bernis C, Cirugeda A, et al. Body composition assessment by bioelectrical impedance analysis (BIA) in healthy and renal populations. *J Am Soc Nephrol* 2004;15(324A):PO 109.
17. Cigarrán S, Guillermina G, Bernis C, Cirugeda A, Sanz P, Herranz I, et al. Correlation between Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) measures and nutrition and inflammation markers in renal disease. *J Am Soc Nephrol* 2003;14(815A):PUB 199[abstract].
18. Wang ZM, St-Onge MP, Lecumberri B, Pi-Sunyer FX, Heshka S, Wang J, et al. Body cell mass: model development and validation at the cellular level of body composition. *AJP Endo* 2004;286:123-8.
19. De Lorenzo A, Andreoliy A, Battisti P, Candeloroy N, Volpe SL, Di Daniele N. Assessment of total body potassium in healthy Italian men. *Ann Hum Biol* 2004;31:381-8.
20. Kehayias JJ, Fiatarone MA, Zhuang H, Roubenoff R. Total body potassium and body fat: relevance to aging. *Am J Clin Nutr* 1997;66:904-10.
21. Carrero JJ, Setevinkel P. Novel targets to slowing CKD progression. *Nat Rev Nephrol* 2011;7:65-6.
22. Bellizzi V, Scalfi L, Terracciano V, De Nicola L. Early changes in bioelectrical estimates of body composition in chronic kidney disease. *J Am Soc Nephrol* 2006;17:1481-7.
23. Essig M, Escoubet B, Zuttere D, Blanchet F. Cardiovascular remodeling and extracellular fluid excess in early stages of chronic kidney disease. *Nephrol Dial Transplant* 2008;23:239-48.
24. Marino M, Masella R, Bulzomi P, Campesi I. Nutrition and human health from a sex-gender perspective. *Mol Aspects Med* 2011;32:1-70.
25. Fouque D, Kalantar-Zadeh K, Kopple J. A proposed nomenclature and diagnostic criteria for protein-energy wasting in acute and chronic kidney disease. *Kidney Int* 2008;73:391-8.
26. Norman K, Pirlich M, Sorensen J, Christensen P. Bioimpedance vector analysis as a measure of muscle function. *Clin Nutr* 2009;28:78-82.
27. Cigarrán S, Álvarez MJ, Ledo M, López P. Dinamometría y bioimpedancia vectorial (BIVA) dos herramientas claves en la evaluación y manejo de la composición corporal en el paciente con enfermedad renal crónica (ERC). Reunión SOMANE 2011; Abstract 50:133-4.
28. Donadio C, Consani C, Ardini M, Caprio F. Prediction glomerular filtration rate from body cell mass and plasma creatinine. *Curr Drug Discov Technol* 2004;1:221-8.
29. Cigarrán S, Barril G, Coronel F, Castro MJ, Pousa M. Glomerular filtration rate (GFR) estimated by bioelectrical impedance analysis (BIA) is so accurate as estimated by Modified Diet Renal Disease (MDRD) simplified formula. *J Am Soc Nephrol* 2009;20(158A):TH-PO 211.
30. Eknoyan G. Obesity and kidney disease. *Nefrología* 2011;31:397-403.
31. Meeuwssen S, Horgan GW, Elia M. The relationship between BMI and percent body fat measured by bioelectrical impedance in a large adult sample is curvilinear and influenced by age and sex. *Clin Nutr* 2010;29:560-6.
32. Cederholm TE, Bauer JM, Boirie Y, Schneider SM. Toward a definition of sarcopenia. *Clin Geriatr Med* 2011; doi:10.1016/j.cger.2011.04.001. (Epub ahead).
33. Rosler A, Lehman F, Krause T, Wirth R. Nutritional and hydration status in elderly subjects: clinical rating versus bioimpedance analysis. *Arch Gerontol Geriatr* 2011;50:e81-e85.
34. Wirth R, Volkert D, Rösler A, Sieber CC, Bauer JM. Bioelectric impedance phase angle is associated with hospital mortality of geriatric patients. *Arch Gerontol Geriatr* 2010;5:1290-4.
35. Piccoli A. Bioelectric impedance measurement for fluid status assessment. *Contrib Nephrol* 2010;164:143-52.
36. Kooman JP, Van der Sande FM, Leunissen KML. Wet or dry in dialysis: can new technologies help? *Semin Dial* 2009;22:9-12.
37. Espinosa Cuevas MA, Navarrete Rodríguez G, Villeda Martínez ME, Atilano Carsi X. Body fluid volume and nutritional status in hemo-

- dialysis: vector bioelectric impedance analysis. *Clin Nephrol* 2010;73:300-8.
38. Pillon L, Piccoli A, Lowrie EG, Lazarus JM, Chertow GM. Vector length as a proxy for adequacy of ultrafiltration in hemodialysis. *Kidney Int* 2004;66:1266-71.
39. Dumler F. Best method for estimating urea volume of distribution: comparison of single pool variable volume kinetic modeling measurements with bioimpedance and anthropometric methods. *ASAIO J* 2004;50:237-41.
40. Teruel JL, Álvarez Rangel JL, Fernández Lucas M, Merino JL. Control de la dosis de diálisis mediante dialisancia iónica y bioimpedancia. *Nefrología* 2007;27:69-73.
41. Cigarrán S, Barril G, Bernis C, Cirugeda A, Herrainz I. Evaluación del estado nutricional de los pacientes renales y ajuste del peso seco en CAPD y HD: papel de la bioimpedancia. *Electron J Biomed* 2004;1:16-23.
42. Plum J, Schoenicke G, Kleophas W, Steffens F. Comparison of body fluid distribution between chronic haemodialysis and peritoneal dialysis patients assessed by biophysical and biochemical methods. *Nephrol Dial Transplant* 2001;16:2378-85.
43. Piccoli A, for the Italian CAPD-BIA study group. Bioelectrical impedance vector distribution in peritoneal dialysis patients with different hydration status. *Kidney Int* 2004;65:1050-63.
44. Piccoli A, for the Italian hemodialysis-Bioelectrical impedance analysis (HD-BIA) study group. Identification of operational clues to dry weight prescription in hemodialysis using bioimpedance vector analysis. *Kidney Int* 1998;53:1036-48.
45. Young GA, Kopple JD, Lindholm B. Nutritional assessment of continuous ambulatory peritoneal dialysis. An international study. *Am J Kidney Dis* 1991;17:462-71.
46. Jager KJ, Merkus MP, Huisman RM. Nutritional status over time in hemodialysis and peritoneal dialysis. *J Am Soc Nephrol* 2001;12:1272-9.
47. Cigarrán S, Barril G, Cirugeda A, Bernis C. Hypoalbuminemia is also a marker of fluid excess determined by bioelectrical impedance parameters in dialysis patients. *Ther Apher Dial* 2007;11:114-20.
48. Mittman N, Avran MM, Oo KK. Serum prealbumin predicts survival in hemodialysis and peritoneal dialysis: 10 years of prospective observation. *Am J Kidney Dis* 2001;38:1358-64.
49. Oliveira CM, Kubrusly M, Mota RS, Silva CAB. The phase angle and mass cell as markers of nutritional status in hemodialysis patients. *J Ren Nutr* 2010;20:314-20.
50. Muschnik R, Fein PA, Mittman N, Goel N. Relationship of bioelectrical impedance parameters to nutrition and survival in peritoneal dialysis patients. *Kidney Int* 2003;64:S53-S56.
51. Fernández Reyes MJ, Bajor A, Del Peso G, Regidor D. Extracellular volume expansion caused by protein malnutrition in peritoneal dialysis patients with appropriate salt and water removal. *Perit Dial Int* 2008;28:407-12.
52. Vicente Martínez M, Martínez-Ramírez L, Muñoz R, Ávila M. Inflammation in patients on peritoneal dialysis is associated with increased extracellular fluid volume. *Arch Med Res* 2004;35:220-4.
53. Cigarrán S, Coronel F, Barril G, Lamas J. Malnutrición en diálisis peritoneal. Nuevo concepto definido por bioimpedancia eléctrica. *Nefrología* 2008. XXXVIII Reunión Anual de la SEN. Abstract 243 [poster].
54. Kalantar-Zadeh K, Abbott KC, Salahudeen Ak. Survival advantages of obesity in dialysis patients. *Am J Clin Nutr* 2005;81:543-54.
55. Kalantar-Zadeh K, Streja E, Kovesdy CC, Oreopoulos A. The obesity paradox and mortality associated surrogates of body size and muscle mass in patients receiving hemodialysis. *Mayo Clin Proc* 2010;85:991-1001.
56. Fusaro M, Munaretto G, Urso M, Bonadonna A. Severe obesity in hemodialysis: the utility of bioimpedance vector analysis. *Nephrol Dial Transplant* 2001;16:1273-6.
57. Guida B, De Nicola L, Pecoraro P, Trio R. Abnormalities of bioimpedance measures in overweight and obese hemodialyzed patients. *Int J Obes* 2001;25:265-72.
58. Lim VS, Ikizler A, Raj DSC, Flanigan MJ. Does hemodialysis increase protein breakdown? Dissociation between whole-body amino acid turnover and regional muscle kinetics. *J Am Soc Nephrol* 2005;16:862-8.
59. Bohé J, Rennie MJ. Muscle protein metabolism during hemodialysis. *J Ren Nutr* 2006;16:3-16.
60. Veeneman JM, Kingma HA, Boer TS, Stellaard F. Protein intake during hemodialysis maintains a positive whole body protein balance in chronic hemodialysis patients. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2003;284:954-65.
61. Cano NJM, Lervere XM. Intradialytic nutritional support. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2008;11:147-51.
62. Basile C, Libuti P, Di Turo AL. Bioimpedance and the duration of the hemodialysis session. *ASAIO J* 2011;57:DOI: 10.1097/MAT.0b013e31821f2296.
63. Wong HS, Boey LM, Morad Z. Body composition by bioelectrical impedance analysis in renal transplant recipients. *Transpl Proc* 2004;36:2186-7.
64. Cigarrán S, Coronel F, Bernis C, García Trio G, Saavedra J, Selgas R. Phase angle, body cell mass and Na-K exchange obtained from Bioelectrical Impedance Vectorial Analysis (BIVA) in renal transplant patients (RTR). *J Am Soc Nephrol* 2005;16:177 [abstract 819A].
65. Chan M, Patwardhan A, Rayan C, Chadban S. Evidenced-based guidelines for the nutritional Management of adult kidney transplant recipients. *J Renal Nutr* 2011;21:47-51.
66. Sue Kent P. Issues of obesity in kidney transplantation. *J Renal Nutr* 2007;17:107-13.
67. Dumler F, Kilates C. Metabolic and nutritional complications of renal transplantation. *J Renal Nutr* 2007;17:97-102.
68. Lentine K, Axelrod D, Abbott KC. Interpreting body composition in kidney transplantation: weighing candidate selection, prognostication, and interventional strategies to optimize health. *Clin J Am Soc Nephrol* 2011;6:1238-40.
69. Molnar M, Czira ME, Rudas A, Ujszaski A, Lindner A. Association of the malnutrition-inflammation score with clinical outcomes in kidney transplant recipients. *Am J Kidney Dis* 2011;58:101-8.
70. Moreau K, Chaveau P, Martin S, El-Haggan W. Long-term evolution of body composition after renal transplantation: 5 years survey. *J Renal Nutr* 2006;16:291-9.
71. Coroas A, De Oliveira JGG, Sampaio S, Borges C. Body composition assessed by impedance changes very early with declining renal graft function. *Nephron Physiol* 2006;104:115-20.
72. Coroas A, De Oliveira JGG, Sampaio S, Borges C. Postrenal transplantation body composition: different evolution depending on gender. *J Renal Nutr* 2007;17:151-6.

73. Hillege HL, Nitsch D, Pfeffer MA. Renal function as predictor of outcome in a broad spectrum of patients with heart failure. *Circulation* 2006;113:671-8.
74. Ronco C, Haapio M, House AA. Cardiorenal syndrome. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:1527-39.
75. Butler J, Forman DE, Abraham WT. Relationship between heart failure treatment and development of worsening renal function among hospitalized patients. *Am Heart J* 2004;147:331-8.
76. Parrinello G, Paterna S, DiPasquale P. The usefulness of bioelectrical impedance analysis in differentiating dyspnea due to decompensated heart failure. *J Card Fail* 2008;14:676-86.
77. Di Somma S, De Berardinis B, Bongiovani C, Marino R. Use BNP and Bioimpedance to drive therapy in heart failure patients. *Congest Heart Fail* 2010;16(Suppl 1):S56-S61.
78. Soderberg M, Hahn RG, Cederholm T. Bioelectric impedance analysis of acute body water changes in congestive heart failure. *Scand J Clin Lab Invest* 2001;61:89-94.
79. Montejo JD, Bajo MA, Del Peso G, Selgas R. Papel de la diálisis peritoneal en el tratamiento de la insuficiencia cardíaca refractaria. *Nefrología* 2010;30:21-7.
80. Piccoli A, Pittoni G, Facco E, Favaro E, Pillon L. Relationship between central venous pressure and bioimpedance vector analysis in critically ill patients. *Crit Care Med* 2000;28:132-7.
81. Pereira Matalobos D, Padín Barreiro L, Orallo Morán MA, Padín Barreiro P. Aplicaciones de la bioimpedanciometría en medicina perioperatoria. *Acta Anest Reanim* 2010;20(1):1-11.
82. Marx G, Vangerow B, Burczyk C, Graetz KF, Maasen N. Evaluation of non invasive determinants for capillary leakage syndrome in septic shock patients. *Intens Care* 2000;26:1252-8.
83. Swaraj S, Marx G, Masterson G, Leuwer M. Bioelectrical impedance analysis as a predictor for survival in patients with systemic inflammatory response syndrome. *Critical Care* 2003;7(Suppl 2):185.
84. Finn PJ, Plank LD, Clark MA, Connolly AB. Progressive cellular dehydration and proteolysis in critical ill patients. *Lancet* 1996;347:654-7.
85. Frankenfield DC, Cooney RN, Smith JS, Rowe WA. Bioelectrical impedance plethysmographic analysis of body composition in critically injured and healthy subjects. *Am J Clin Nutr* 1999;69:426-31.
86. Mckee JE, Cameron N. Bioelectrical impedance changes during the menstrual cycle. *Am J Hum Biol* 1997;9:155-61.
87. Macklinck MK. Menstrual synchrony and suppression. *Nature* 1971;229:244-5.
88. Valensise H, Larciprete G, Vasapollo B. Nifedipine induced changes in body composition in hypertensive patients at term. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 2003;106:139-43.
89. Gomes Da Silva E, De Barros Leite MA, Sadanobu Hirakawa H, Guimaraes da Silva E, Peracoli JC. Bioimpedance in pregnant women with preeclampsia. *Hypertens Preg* 2010;29:357-65.