
ARTÍCULO ORIGINAL

Vectores de impedancia bioeléctrica para la composición corporal en población mexicana

María de los Ángeles Espinosa-Cuevas,^{*,**} Lucía Rivas-Rodríguez,^{*}
Enna Cristal González-Medina,^{*} Ximena Atilano-Carsi,^{*} Paola Miranda-Alatriste,^{*} Ricardo Correa-Rötter^{*}

* Departamento de Nefrología y Metabolismo Mineral, Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán.

** Departamento de Atención a la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

Bioimpedance vector analysis for body composition in Mexican population

ABSTRACT

Objective. To construct bivariate tolerance ellipses from impedance values normalized for height, which can be used in Mexican population for the assessment of body composition and compare them with others made in different populations. **Methods.** Body composition was assessed by bioelectrical impedance analysis (BIA) in 439 subjects (204 men and 235 women), 18 to 82 years old, with a BMI between 18-31, using an impedanciometer Quadscan 4000. Resistance, reactance and phase angle were used to calculate bioelectrical impedance vectors and construct bivariate tolerance ellipses. **Results.** Mean age in men was 47.1 ± 16 years and 42.4 ± 13 for women, mean weight (73.4 ± 9 vs. 60.1 ± 8 kg) and height (1.68 vs. 1.55 m) were significant greater in men than in women ($p < 0.002$). Women in comparison with men, had greater values of impedance ($622.96 \pm 66.16 \Omega$ vs. $523.59 \pm 56.56 \Omega$) and resistance ($618.96 \pm 66.10 \Omega$ vs. $521.73 \pm 61.97 \Omega$), as well as of resistance and reactance standardized by height ($398.24 \pm 46.30 \Omega/m$ vs. 308.66 ± 38.44) ($44.32 \pm 7.14 \Omega/m$ vs. 39.75 ± 6.29) respectively, with a significant difference in all of them ($p < 0.0001$). Similarly, the reactance was greater in females, nevertheless this difference did not reach statistical significance (68.96 ± 11.17 vs. 67.18 ± 10.3 ; $p = 0.0861$). The phase angle was greater in men than in women, with a statistically significant difference ($7.33^\circ \pm 0.88$ vs. $6.36^\circ \pm 0.97$; $p < 0.0001$). Bivariate tolerance ellipses (50%, 75% y 95%) derived from Mexican subjects showed a significant upward deviation ($p < 0.05$) from previously published references from Mexican American and Italian populations. New ellipses of tolerance were therefore constructed for the Mexican population. **Conclusions.** Bioimpedance vectors in Mexican subjects are significantly different from the existing ones, supporting the need of population specific bivariate tolerance ellipses for the evaluation of body composition.

Key words. Bioelectrical impedance. Resistance. Reactance. Vector. Body composition.

RESUMEN

Objetivo. Realizar intervalos bivariados (elipses) de tolerancia a partir de las variables de impedancia estandarizadas por la estatura, las cuales pueden ser utilizadas en la población mexicana para determinar la composición corporal y comparar dichas elipses con las de otras elipses realizadas en otras poblaciones. **Material y métodos.** Se evaluó la composición corporal por impedancia bioeléctrica (IBE) en 439 sujetos (204 hombres y 235 mujeres), de 18 a 82 años de edad, con un IMC entre 18-31, utilizando un impedanciómetro Quadscan 4000. A partir de las mediciones de resistencia, reactancia y ángulo de fase se obtuvieron vectores de impedancia bioeléctrica para realizar elipses de tolerancia. **Resultados.** La edad promedio de los hombres fue de 47.1 ± 16 años y 42.4 ± 13 para las mujeres, el peso promedio (73.4 ± 9 vs. 60.1 ± 8) y la estatura (1.68 vs. 1.55 m) fueron significativamente mayores en hombres que en mujeres ($p < 0.002$). Las mujeres en comparación con los hombres, presentaron valores mayores de impedancia ($622.96 \pm 66.16 \Omega$ vs. $523.59 \pm 56.56 \Omega$) y resistencia ($618.96 \pm 66.10 \Omega$ vs. $521.73 \pm 61.97 \Omega$), así como de resistencia y reactancia estandarizadas por la estatura ($398.24 \pm 46.30 \Omega/m$ vs. $308.66 \pm 38.44 \Omega/m$) ($44.32 \pm 7.14 \Omega/m$ vs. $39.75 \pm 6.29 \Omega/m$), respectivamente, presentando en todas éstas una diferencia significativa ($p < 0.0001$). De igual manera, la reactancia fue mayor en el grupo femenino; sin embargo, esta diferencia no alcanzó significancia estadística (68.96 ± 11.17 vs. 67.18 ± 10.3 ; $p = 0.0861$). El ángulo de fase fue mayor en los hombres que en las mujeres, con una diferencia estadísticamente significativa ($7.33^\circ \pm 0.88$ vs. $6.36^\circ \pm 0.97$; $p < 0.0001$). Las elipses de tolerancia (50%, 75% y 95%) elaboradas en población italiana sana fueron probadas para la población mexicana, encontrando que éstas tienden a situarse en el extremo superior de las elipses de poblaciones mexicanoamericanas e italianas de referencia con una diferencia significativa $p < 0.05$, por lo que se realizaron nuevas elipses de tolerancia para población mexicana. **Conclusiones.** Los vectores de la población mexicana fueron significativamente diferentes al ser comparados con las existentes, apoyando la necesidad de realizar elipses de tolerancia específicas para cada población para la evaluación de la composición corporal.

Palabras clave. Impedancia bioeléctrica. Resistencia. Reactancia. Vector. Composición corporal.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la composición corporal resulta imprescindible para comprender el efecto que tienen la dieta, el crecimiento, la actividad física, la enfermedad y otros factores del entorno sobre el organismo. De manera más concreta, constituye el eje central de la valoración del estado de nutrición, de la monitorización de pacientes con desnutrición aguda o crónica y del diagnóstico y tipificación del riesgo asociado a la obesidad, contribuye además de distintas formas y en diferentes grados al diagnóstico, tratamiento y evaluación del estado de nutrición en numerosas especialidades médicas siendo por lo tanto, un área activa de la ciencia básica y la investigación clínica.

En las últimas décadas se ha intensificado la investigación tanto en el desarrollo de nuevas técnicas de medida como en los modelos teóricos de composición corporal y sus aplicaciones clínicas.¹ Muchos métodos de composición corporal están basados en un modelo en el cual el cuerpo está conformado por dos compartimientos químicos diferentes: masa grasa y masa libre de grasa.² La masa grasa incluye a todos los lípidos extraíbles (fosfolípidos, ácidos grasos, triglicéridos) y la masa libre de grasa incluye la masa celular corporal (tejidos diversos y agua intracelular) y a la masa extracelular (agua extracelular y contenido mineral óseo). Actualmente el estudio de la composición corporal tiene, como ya se mencionó, diversas aplicaciones tales como identificar sujetos con riesgos a la salud asociados a niveles excesivamente elevados o bajos de grasa corporal total, así como a un exceso de grasa intraabdominal; monitorizar los cambios en la composición corporal asociados a cierto tipo de enfermedades y evaluar la efectividad de programas de intervención nutricia y de ejercicio físico, dando lugar a la formulación de recomendaciones específicas tanto dietéticas como de actividad física.³

Uno de los métodos más utilizados actualmente por su precisión, facilidad de aplicación y uso en la composición corporal es el del análisis de impedancia bioeléctrica (IBE).

El método de análisis de IBE ofrece una evaluación no invasiva de la composición corporal humana, tanto para investigaciones clínicas como para la atención de pacientes. En la última década, el uso del análisis de IBE para la predicción de la composición corporal ha crecido rápidamente; su utilidad ha llegado a generalizarse más que otras técnicas y su uso específico para cuantificar varios aspectos de la composición corporal se está incrementando.

El análisis de IBE es un método relativamente rápido, simple, seguro y económico que mide la con-

ductividad eléctrica tisular; es fácil de realizar e involucra el manejo de un equipo portátil. Asimismo, se ha informado que posee una buena reproducibilidad y se ha aplicado tanto en la práctica clínica como en el campo de la investigación científica.⁴

El método de IBE ha sido comparado con varias técnicas utilizadas para medir la composición corporal, tales como: marcadores específicos de dilución, peso hidrostático, conductividad eléctrica corporal, análisis de activación de neutrones, escáner de tomografía computarizada, absorciometría dual de rayos X (DEXA) y antropometría, encontrando que existe una relación cercana entre las mediciones de la IBE y las técnicas de referencia mencionadas para la composición corporal, con coeficientes de correlación que varían de 0.74 a 0.98.⁵

La técnica de IBE se basa en la medición de la impedancia, la cual está compuesta de dos elementos: la resistencia y la reactancia a través de una o más frecuencias eléctricas. La resistencia (R) es la oposición de un fluido a una corriente alterna, en este caso a través de las soluciones intra y extracelulares y la reactancia (Xc), es la fuerza que se opone al paso de una corriente a causa de un conductor, dado también en este caso por la polaridad de las membranas celulares. El arco tangente entre la resistencia y la reactancia en un circuito en serie o paralelo se llama ángulo de fase ($^{\circ}$ F). La R es inversamente proporcional al contenido de líquidos y electrólitos del cuerpo humano, mientras que la Xc mide la conductividad de las membranas celulares.⁶ Los valores de R y Xc permiten obtener a través de diversas ecuaciones de predicción, la masa libre de grasa (MLG), agua corporal total (ACT) y la masa grasa (MG). Las estimaciones de composición corporal por análisis de IBE se han basado en asociaciones estadísticas de diversos grupos de individuos sanos, más que sobre bases de correlaciones biofísicas, siendo esto una limitación en la evaluación de sujetos con alteraciones de la composición corporal por la presencia de estados patológicos.

Para la medición de la IBE, se colocan dos “electrodos emisores” por los cuales se hace pasar una pequeña corriente alterna, conformando así un circuito bioeléctrico en donde el componente principal es el cuerpo humano. Simultáneamente, se ponen en contacto con el cuerpo otros dos electrodos, llamados “electrodos sensores” que miden el voltaje producido por el flujo de corriente alterna entre los dos puntos del cuerpo humano donde están localizados dichos electrodos sensores.⁷

Las estimaciones de composición corporal realizadas mediante el análisis convencional de IBE en

sujetos con alteración de la composición corporal pueden presentar resultados erróneos debido a que dichas estimaciones se calculan con base en ecuaciones de predicción formuladas en población sana. En este método de análisis convencional de IBE se asume que el cuerpo es un conductor isótropo cilíndrico de sección constante, y con ecuaciones de regresión se estima el volumen eléctrico total (agua corporal total en L) del componente R (resistencia), y de éste, asumiendo una hidratación constante de los tejidos blandos, la masa libre de grasa (en kg). Por diferencia de la masa libre de grasa del peso corporal se estima la masa grasa.⁸ En la mayor parte de las ecuaciones de regresión (ecuaciones de predicción) el componente Xc (reactancia) se ignora.⁸

Recientemente, la literatura ha informado un abordaje nuevo, basado en el vector de impedancia llamado método gráfico RXc, el cual supera las limitaciones convencionales del análisis de IBE antes mencionadas, ya que no requiere de asunciones de los componentes corporales ni de ecuaciones de predicción.⁹ El método se basa en el análisis de la distribución bivariada del vector de impedancia en una población sana. Dicho método considera a la R y a la Xc como miembros del vector de impedancia (Z), así como el ángulo de fase. Los dos componen-

tes de la impedancia estandarizados por la estatura (R/E, Xc/E) se pueden representar en coordenadas rectangulares, lo que permite visualizarlos como dos variables que forman la distribución normal (Gaussiana) bivariada. Las correlaciones entre estas dos variables determinan la forma elipsoidal de la distribución, a lo que se le llama gráfica RXc. Esta distribución normal está realizada en población sana, de la cual se desprenden tres percentiles de referencia o elipses de tolerancia al 50%, 75% y 95% que representan la normalidad de los componentes corporales⁶⁻¹⁰ (Figura 1A). En el análisis de vectores de impedancia bioeléctrica (VIBE) las dos medidas R y Xc, conseguidas por el analizador de IBE, son consideradas simultáneamente como miembros del vector impedancia Z. El vector de un nuevo sujeto, estandarizado por la estatura, es confrontado por vía gráfica (Gráfica RXc) con la distribución de los vectores de la población sana de referencia. En el método VIBE no se realizan asunciones de isotropía de los tejidos ni sobre modelos de tejidos o del cuerpo.

La elipse de confianza es el intervalo de inferencia estadística para un parámetro investigado dado. Es la región en el espacio del parámetro en el cual se asigna la probabilidad de 100% en la que el vector parámetro cae dentro. La elipse de tolerancia es el

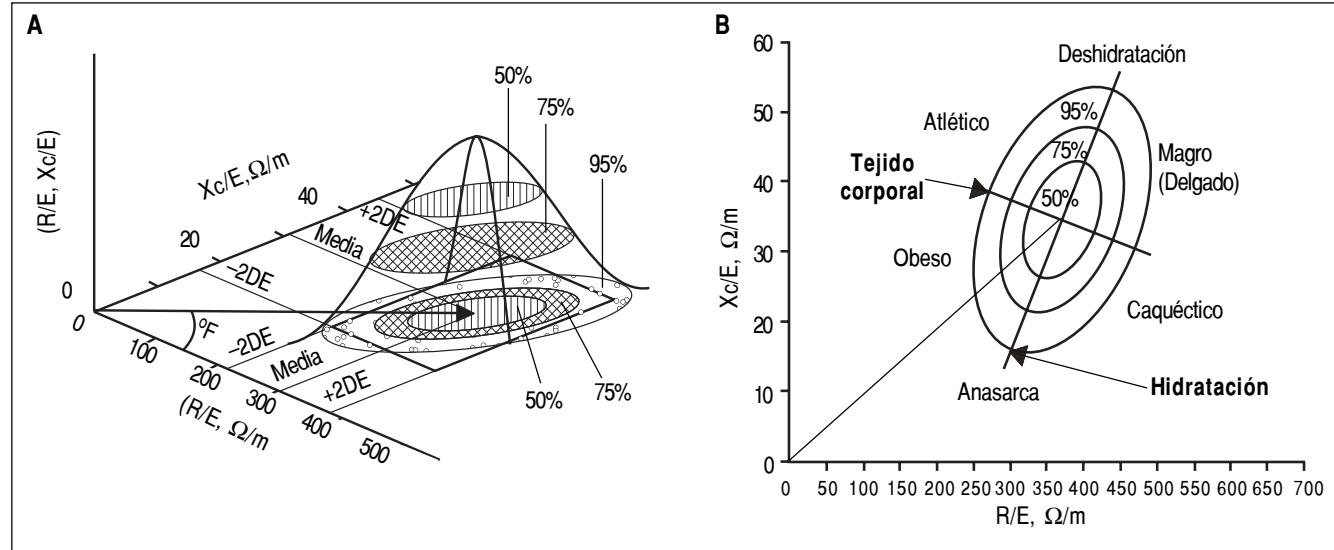


Figura 1. A. Análisis de IBE vectorial representada con la gráfica RXc. Los intervalos bivariados de referencia para el sujeto sano adulto en una distribución normal (campana de Gauss) que considera \pm dos desviaciones estándar a partir de la media de las dos variables de la impedancia estandarizadas por la estatura ($Xc/E, R/E$) se representan como elipses de tolerancia al 50, 75 y 95%, específicas para cada sexo. La intersección de las dos desviaciones de las variables de la impedancia forman un rectángulo que delimita una región de normalidad que no incluye la totalidad de la elipse de tolerancia del 95%. Considerando que un vector tiene la probabilidad de situarse dentro de la elipse del 95%, pero fuera del rango de normalidad, por lo tanto en la práctica clínica se considera sólo a las elipses del 50 y 75% como rangos de normalidad. **B.** Interpretación cualitativa (patrones) de la composición corporal obtenida a partir de los vectores de impedancia.

intervalo de probabilidad dentro del cual una proporción específica de una distribución caerá con una probabilidad fija del 100%. El intervalo de los cuartiles se puede utilizar para decidir dónde las observaciones particulares son de la misma población de una muestra previa, utilizada para determinar el intervalo.⁹

El método proporciona resultados cualitativos que pueden ser visualizados como vectores e interpretados de la siguiente manera:

1. Las variaciones de la hidratación sin alteraciones en la estructura de los tejidos (edema o deshidratación), se asocian con un acortamiento o un alargamiento del vector de impedancia a lo largo del eje mayor de las elipses de tolerancia.⁹⁻¹⁰
2. Las variaciones de la cantidad de los tejidos blandos (magros y adiposos), se asocian con un desplazamiento del vector en la dirección del eje menor de las elipses, con un progresivo aumento (obesos y atletas muy magros) o reducción (desnutrición-caquexia, anorexia) del ángulo de fase.
3. Las variaciones combinadas de hidratación y estructura de los tejidos están asociadas con migraciones del vector a lo largo de las dos direcciones principales de los ejes⁹⁻¹⁰ (Figura 1B).

Asimismo, permite hacer tres posibles clases de evaluación de impedancia:

1. Comparación entre grupos de pacientes utilizando las elipses de confianza bivariadas de 95% de los vectores medidos (Gráfica RXc media).
2. Evaluación de un vector simple medido la primera vez en un individuo, graficando el punto del vector en las elipses de tolerancia bivariada de referencia (Gráfica RXc de punto).
3. Evaluación del seguimiento del paciente, graficando sobre las elipses de tolerancia las mediciones sucesivas de los vectores de impedancia con fines de seguimiento (Gráfica RXc de trayectoria).

El método gráfico de vectores de impedancia es útil tanto en sujetos sanos como en aquellos con estados de composición corporal extrema; sin embargo, está formulado con percentiles de una población de referencia italiana sana, por lo que se hace necesaria la elaboración de percentiles basados en una población mexicana sana y que puedan ser utilizados con mayor precisión, para lo cual se realizó el presente trabajo.

Con la creación de nuevas elipses de tolerancia basadas en las características de la población mexi-

cana sana, se tendrá entonces una herramienta útil y precisa para el diagnóstico y la evaluación cualitativa de la composición corporal y el estado de hidratación en todo tipo de población adulta, permitiendo la identificación de posibles factores de riesgo que afecten la salud.⁷ Por lo tanto, los objetivos del estudio fueron establecer elipses de tolerancia a partir de las variables de impedancia estandarizadas por la estatura, las cuales pueden ser utilizadas en la población mexicana para determinar la composición corporal y comparar dichas elipses con las de otras elipses realizadas en otras poblaciones.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño del estudio

Se realizaron mediciones transversales en una población de sujetos sanos con el propósito de elaborar elipses de referencia específicas para sexo y edad de la población mexicana. Los sujetos participantes fueron reclutados en diferentes instituciones públicas. El estudio fue aprobado por el Comité Institucional de Investigación Biomédica en Humanos del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán.

Se evaluó un grupo de sujetos que voluntariamente aceptaron participar en el estudio entre los 18 y 82 años de edad con un índice de masa corporal (IMC) de 18 a 31 kg/m², aparentemente sanos y que no presentaran problemas clínicos condicionantes de fluctuaciones hídricas. Dichos voluntarios acudieron a una convocatoria en la cual se solicitaba que no consumieran fármacos y/o que no tuvieran enfermedades tales como hipertensión arterial, diabetes mellitus, o cualquier otro padecimiento que afectara directamente el estado de hidratación (como diarrea días previos a la medición o la realización de actividad física extenuante dentro de las 24 horas previas al estudio), además se realizó una exploración clínica sencilla para detectar edema aparente.

Se eliminaron de la muestra los sujetos que cayeran fuera de los rangos de edad establecidos, que tuvieran un IMC < 18 o > 31 kg/m², así como aquellos que no cumplieran con las características requeridas para las mediciones del análisis de IBE.

Mediciones

Todos los sujetos fueron sometidos a mediciones de peso, estatura e IBE. La estatura se midió con un estadímetro marca Holtain, el peso con una báscula marca Tanita modelo BWB-800 y la IBE con un im-

pedanciómetro multifrecuencia (5–200 KHz) Bodystat Quadscale 4000 [BODYSTAT (USA) INC.]. La medición de IBE se realizó según los criterios establecidos por el National Institutes of Health Technology Assessment Conference Statement.⁷ Los sujetos se colocaron en posición supina, con los brazos y las piernas separados del cuerpo y las palmas de las manos hacia abajo. Los electrodos se ubicaron en par en las extremidades derechas, situados en el dorso de la mano y el pie próximos a las articulaciones falange-metacarpales y falange-metatarsiales y en la apófisis estiloide de la muñeca y entre el maleolo medial y lateral del tobillo, por los cuales se introdujo una corriente multifrecuencia imperceptible.

Los sujetos debieron haberse encontrado bajo las siguientes condiciones para que el estudio pudiera ser llevado a cabo:

- Ayuno nocturno o haber evitado consumir alimentos y bebidas durante las cuatro horas anteriores a la medición.
- No haber consumido bebidas alcohólicas durante las 48 horas anteriores a la prueba.
- No haber hecho ejercicio extenuante 24 horas antes de la medición.
- En el caso de las mujeres, no estar menstruando.
- No tener objeto metálico alguno en el cuerpo.
- Haber orinado antes de la medición.⁷
- El tiempo aproximado de medición fue de cinco minutos. El equipo midió la impedancia de los sujetos a 50 KHz, y la resistencia, reactancia y ángulo de fase fueron calculados mediante el programa Bodystat Phase Angle Software versión 1 proporcionado por el fabricante del equipo. De acuerdo con el método gráfico RXc, se estandarizó la resistencia y reactancia por la estatura (R/E, Xc/E) expresada en Ω/m .

Método gráfico RXc

Se usaron las variables de R, Xc y estatura de cada uno de los individuos medidos para graficarlas sobre las elipses de referencia de la población italiana diferenciados por sexo. Debido a que las poblaciones eran diferentes, como se mostrará adelante, se hizo necesaria la creación de elipses de tolerancia específicas para población mexicana.

Se utilizó la resistencia y reactancia estandarizadas por la estatura (R/E, Xc/E) (media, desviación estándar y coeficiente de correlación r entre R/E y Xc/E) para calcular las elipses de confianza al 95% y de tolerancia de los percentiles al 50, 75 y 95% diferenciadas por sexo, utilizando el programa BIVA

Software 2002.¹¹ Los grados de inclinación y la longitud tanto de los ejes mayores y menores de las elipses fueron calculados con el programa BIVAPLOT 1998.¹²

Análisis estadístico

Se utilizaron la media y la desviación estándar para resumir y describir las variables del estudio.

Se utilizó la prueba t de Student para la comparación de medias (comparación entre sexos) y se calcularon coeficientes de correlación entre las variables. Se utilizó el programa Graph Pad Instant versión 3.01, 1998.¹³

Para el análisis de comparación de vectores de impedancia se utilizó la prueba T^2 de Hotelling con el programa BIVAMEAN.¹⁴ Se consideró significativa una $p < 0.05$.

RESULTADOS

Se estudiaron 520 sujetos sanos, de los cuales 81 fueron excluidos debido a que 39 presentaban IMC > 31 , y 42 por diversas razones tales como errores de medición, o por no cumplir con el ayuno requerido o por haber realizado ejercicio extenuante. La muestra final incluyó a 439 individuos, de los cuales 235 fueron mujeres y 204 hombres, con una edad promedio de 47.13 ± 16.02 años y 42.46 ± 13.18 años, respectivamente.

Dentro de las características generales de la muestra, se encontró que tanto el peso (73.43 ± 9.0 kg vs. 60.18 ± 7.9 kg) como la estatura ($1.69 \text{ m} \pm 0.06$ vs. $1.55 \text{ m} \pm 0.07$ m) y el IMC (25.64 ± 2.77 vs. 24.82 ± 2.88) fueron significativamente mayores en hombres en comparación con las mujeres ($p < 0.002$ en todos los casos).

En cuanto a las características de bioimpedancia, las mujeres en comparación con los hombres, presentaron valores mayores de impedancia ($622.96 \pm 66.16 \Omega$ vs. $523.59 \pm 56.56 \Omega$) y resistencia ($618.96 \pm 66.10 \Omega$ vs. $521.73 \pm 61.97 \Omega$), así como de resistencia y reactancia estandarizadas por la estatura ($398.24 \pm 46.30 \Omega/m$ vs. 308.66 ± 38.44 y $44.32 \pm 7.14 \Omega/m$ vs. 39.75 ± 6.29) siendo las diferencias estadísticamente significativas en todos los casos ($p < 0.0001$). De igual manera, la reactancia fue mayor en el grupo femenino; sin embargo, esta diferencia no alcanzó significancia estadística (68.96 ± 11.17 vs. 67.18 ± 10.3 ; $p = 0.0861$). El ángulo de fase fue mayor en los hombres que en las mujeres, con una diferencia estadísticamente significativa ($7.33^\circ \pm 0.88$ vs. $6.36^\circ \pm 0.97$; $p < 0.0001$). La

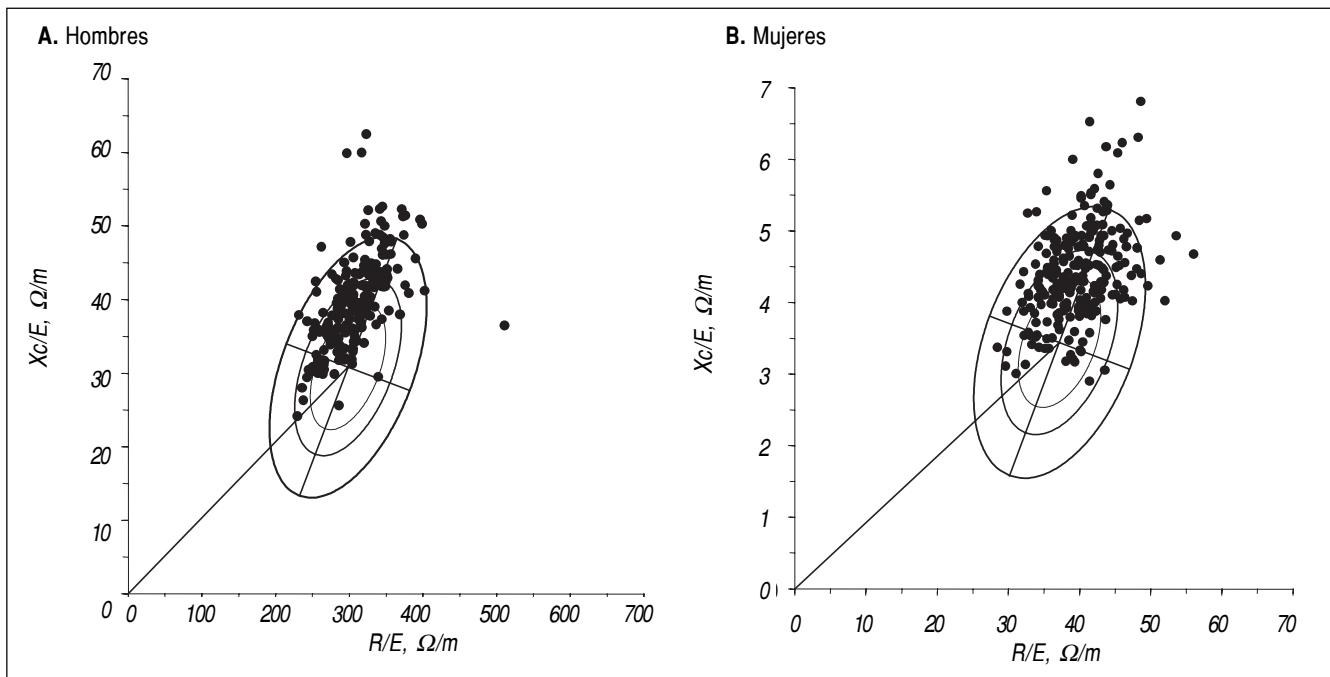


Figura 2. Gráfica de vectores de impedancia de los valores de la población mexicana sobre las elipses originales de población de origen caucásico.

Cuadro 1. Resultados de bioimpedancia de hombres por IMC y grupo de edad.

19 ≤ IMC < 25	n	R ± DE	Xc ± DE	R ± DE	Xc/E ± DE	Ang fase ± DE
19 – 29 años	28	557.3 ± 65.0	73.3 ± 12.0	325.0 ± 42.7	42.7 ± 7.5	7.5 ± 1.0
30 – 39 años	17	531.7 ± 50.0	69.3 ± 7.3	309.5 ± 33.8	40.3 ± 4.8	7.4 ± 0.7
40 – 49 años	19	548.8 ± 47.0	67.4 ± 9.7	320.2 ± 25.1	39.3 ± 5.3	6.9 ± 0.8
50 – 59 años	14	517.8 ± 50.0	62.0 ± 8.6	308.0 ± 29.3	36.9 ± 5.4	7.0 ± 0.6
> 60 años	8	538.7 ± 29.0	63.2 ± 8.3	316.3 ± 22.3	37.2 ± 5.9	66.8 ± 0.9
25 ≤ IMC < 31						
19 – 20 años	14	498.7 ± 63.6	70.4 ± 8.6	295.7 ± 41.5	41.8 ± 5.5	8.1 ± 0.9
30 – 39 años	31	511.9 ± 76.7	67.7 ± 10.1	307.2 ± 48.9	40.6 ± 6.2	7.8 ± 0.9
40 – 49 años	26	501.5 ± 50.3	66.1 ± 11.1	297.7 ± 31.2	39.3 ± 7.0	7.5 ± 1.0
50 – 59 años	34	504.0 ± 59.3	63.1 ± 8.3	301.2 ± 37.8	37.7 ± 5.2	7.1 ± 0.6
> 60 años	13	521.3 ± 67.4	67.4 ± 12.5	310.4 ± 43.8	40.1 ± 7.6	7.2 ± 0.6
TODOS	204	521.7 ± 62.0	67.2 ± 10.3	308.7 ± 38.4	39.8 ± 6.3	7.3 ± 0.9

M ± DE: (media ± desviación estándar). n: número de individuos. R: resistencia (Ω). Xc: reactancia(Ω). R/E: resistencia/estatura (Ω/metro). Xc/E: reactancia/estatura (Ωm). (Ωm): ohms/metros. IMC: índice de masa corporal (kilogramos/metro²).

distribución de los resultados de bioimpedancia por sexo, IMC y edad se muestran en los cuadros 1 y 2.

Al graficar los datos de R/E y Xc/E en las elipses de la población italiana tanto las mujeres mexicanas como los hombres mexicanos se encontraron en los cuadrantes superiores izquierdos (Figura 2), indicando que estas dos poblaciones son distintas a pesar de tener características generales similares.

Por lo tanto se generaron elipses de referencia para la población mexicana calculadas a partir de la media y desviación estándar de la resistencia y reactancia estandarizadas por la estatura (R/E, Xc/E), así como el coeficiente de correlación entre éstas dos. Los valores de la población mexicana de referencia en 204 hombres fueron los siguientes: R/E = 308.66 ± 38.44, Xc/E = 39.75 ± 6.297, r = 0.5762 y para el grupo de

Cuadro 2. Resultados de bioimpedancia de mujeres por IMC y grupo de edad.

19 ≤ IMC < 25	n	R M ± DE	Xc M ± DE	R/E M ± DE	Xc/E M ± DE	Ang fase M ± DE
19 – 29 años	30	662.1 ± 65.6	78.8 ± 12.4	414.6 ± 39.7	49.4 ± 8.0	6.8 ± 1.0
30 – 39 años	23	639.6 ± 56.9	72.8 ± 7.7	399.7 ± 32.3	45.6 ± 5.2	6.5 ± 0.8
40 – 49 años	22	612.0 ± 61.7	67.5 ± 14.0	383.9 ± 39.4	42.4 ± 9.2	6.3 ± 1.1
50 – 59 años	23	591.3 ± 53.4	66.6 ± 10.6	379.3 ± 32.7	42.8 ± 6.9	6.5 ± 1.0
> 60 años	26	672.2 ± 69.6	64.7 ± 8.8	450.1 ± 49.7	43.2 ± 5.4	5.5 ± 0.7
25 ≤ IMC < 31						
19 – 29 años	12	629.8 ± 62.8	74.3 ± 10.7	400.5 ± 49.8	47.4 ± 8.6	6.7 ± 0.8
30 – 39 años	13	601.6 ± 44.9	72.5 ± 11.1	377.4 ± 34.5	45.5 ± 7.9	6.9 ± 1.0
40 – 49 años	31	575.8 ± 59.6	68.4 ± 8.2	371.6 ± 42.2	44.1 ± 5.4	6.8 ± 0.8
50 – 59 años	17	567.4 ± 52.8	62.7 ± 7.9	366.3 ± 41.6	40.5 ± 6.0	6.3 ± 0.7
> 60 años	38	617.6 ± 45.7	64.4 ± 9.6	411.1 ± 36.9	42.9 ± 6.3	5.9 ± 0.7
TODOS	235	619 ± 66.1	69 ± 11.2	398.2 ± 46.3	44.3 ± 7.1	6.4 ± 1.0

M ± DE: (media ± desviación estándar). **n:** número de individuos. **R:** resistencia (Ω). **Xc:** reactancia (Ω). **R/E:** resistencia/estatura (Ω/m). **Xc/E:** reactancia/estatura (Ω/m). (Ω/m): ohms/metros. **IMC:** índice de masa corporal (kilogramos/metro²).

Cuadro 3. Longitud de los semiejes y grados de inclinación de las elipses de tolerancia con centro R/E 308.7, Xc/E 39.8 Ω/m en hombres, y R/E 398.2, Xc/E 44.3 Ω/m en mujeres.

	Ejes mayores de las elipses de tolerancia Longitud del semieje ($\tilde{\Omega}/m$)					Ejes menores de las elipses de tolerancia Longitud del semieje ($\tilde{\Omega}/m$)				
	Inclinación	95%	75%	50%		Inclinación	95%	75%	50%	
Hombres n = 204	65.86°	168	114	81		-24.14°	72	49	35	
Mujeres n = 235	69.44°	185	125	89		-20.56°	101	68	48	

235 mujeres: R/E = 398.2 ± 46.3, Xc/E = 44.3 ± 7.1 y r = 0.3933 (Cuadros 1 y 2). Las longitudes de los ejes mayores y menores así como los grados de inclinación de las elipses de tolerancia se muestran en el cuadro 3.

Al comparar las elipses de las mujeres mexicanas con las italianas, se observó que las elipses de las primeras tienen un ángulo de inclinación mayor. Tendencia similar se observó en las elipses de los hombres.

Los vectores de impedancia que dan lugar a las nuevas elipses de referencia de la población mexicana se compararon con sus respectivos en población italiana encontrándose una diferencia significativa ($p < 0.05$).

DISCUSIÓN

Aunque el análisis de IBE es un método no invasivo, barato, de simple ejecución en cualquier contexto clínico, reproducible y apto para la rutina médica,

existen varios problemas metodológicos potencialmente importantes asociados con su uso en diversas condiciones patológicas acompañadas de anomalidades en la excreción de agua y retención de líquidos, como sucede en la insuficiencia renal crónica, en la insuficiencia cardiaca congestiva, o en la cirrosis con ascitis, entre otras. La mayor desventaja de la IBE es que la estimación de la masa magra se deriva de ecuaciones de predicción desarrolladas en individuos sanos con estados de hidratación estable.

El método de vectores de impedancia bioeléctrica (VIBE) contrarresta las dificultades metodológicas de la IBE convencional en estados de composición corporal extrema (anasarca, deshidratación, obesidad, caquexia, etc.). La utilización de los vectores de impedancia permite conocer la composición corporal de un sujeto, dependiendo de sus valores de resistencia y de reactancia, así como del ángulo de fase. Una propiedad importante del método es la de funcionar independientemente del conocimiento del peso corporal.

Dentro de las características generales de la población estudiada, se observó que las medias de peso, estatura e IMC, fueron predominantemente mayores en el grupo de los hombres, lo cual coincide con las características generales que se observan en la población mexicana en general.¹⁵

Los valores de resistencia, reactancia, resistencia/estatura y reactancia/estatura de mujeres y hombres, fueron similares a las mostradas en estudios previos llevados a cabo en población sana,^{10,16} ya que todos los valores de bioimpedancia fueron mayores en el grupo femenino. Este patrón específico por sexo es similar al descrito por otros autores.^{10,16,17}

La resistencia, la reactancia, la resistencia/estatura y la reactancia/estatura tienden a ser menores en los grupos con IMC de 25 a 31. Para las mujeres se observó que las medias del peso de los grupos con IMC de 25 a 31 fueron mayores que las de los grupos de 19 a 25, y las medias de la estatura son menores; y que la resistencia, la reactancia, la resistencia/estatura y la reactancia/estatura tienden a ser menores en los grupos con IMC de 25 a 31.

La distribución normal bivariada del vector de impedancia en la población sana, con tres percentiles de referencia (elipses de tolerancia al 50, 75 y 95%) y específica por género, es conocida para la población italiana adulta¹⁰ e infantil¹⁸ y para la población estadounidense.¹⁶ Cuando se ha pretendido comparar a grupos de poblaciones diversas (chinos, polinesios, africanos, italianos, etc.), se ha sugerido la necesidad de tener valores de referencia específicos para cada grupo al aplicar el método gráfico de vectores de impedancia.¹⁵⁻¹⁹ Este trabajo presenta la distribución normal bivariada del vector de impedancia bioeléctrica en población sana mexicana.

Las elipses de Piccoli, *et al.*¹⁰ en población italiana sana, con la misma edad e IMC (equipo Akern) fueron probadas en esta investigación con población sana mexicana (equipo Bodystat). Esta última demostró tener vectores de impedancia diferentes, concentrándose en los cuadrantes superiores de las elipses originales de Piccoli, en lugar de estar distribuidos alrededor de la elipse del percentil 50, indicando que la población italiana tiende a ser ligeramente más delgada y magra. Esto se debe a diversos factores, entre los cuales destacan: raza (estatura baja), tipo de alimentación, estilo de vida, factores ambientales y climatológicos entre otros.¹⁵

De la misma manera, las elipses de Piccoli, *et al.*¹⁶ realizadas en población México-americana sana de los Estados Unidos de América con la misma edad e IMC (equipo Valhalla, USA) fueron probadas con nuestra población sana mexicana (equipo Bodystat), y esta úl-

tima demostró tener vectores de impedancia similares (R/E 308.7, Xc/E 39.8 vs. 293.1 y 42.2 Ω/m en hombres, y R/E 398.2, Xc/E 44.3 vs. 390.6 y 51.1 Ω/m en mujeres), aunque diferentes por una mayor R/E de la población sana norteamericana (R/E 277.2, Xc/E 38.1 Ω/m en hombres y R/E 372.9, Xc/E 46.9 Ω/m en mujeres) indicando también que la población tiende a ser ligeramente más delgada y magra y nuevamente se pueden discutir las mismas razones que explican el fenómeno en la población italiana. Por lo anterior, se diseñaron nuevas elipses para población mexicana de acuerdo con las características de longitud, curvatura e inclinación obtenidas de los valores de impedancia, las cuales se muestran en el cuadro 3. La población mexicana mostró diferencias entre las elipses de tolerancia por género, siendo más pequeña la de la población masculina. Esta diferencia se puede atribuir a la gran variabilidad de composición corporal en mujeres tanto pre como post menopáusicas, a lo largo de un rango de edad considerado.

Es importante hacer mención sobre la limitante del tipo de muestreo en el presente estudio, ya que si bien los estudios que hablan sobre valores normales implican un mayor número de tamaño de muestra, en el presente estudio se evaluó un número pequeño, suficiente, sin embargo, para encontrar la misma tendencia que se halla en otros estudios con una muestra más grande.^{14,19}

El abordaje convencional de la IBE utiliza ecuaciones de regresión simple o múltiple para elaborar predicciones exactas y volúmenes de los compartimientos corporales a partir de los sujetos con una hidratación fija y normal.

El método gráfico de vectores de impedancia también se puede utilizar como prueba estadística preliminar para una aplicación correcta de las fórmulas de regresión de la IBE convencional. Si el vector de un sujeto se sitúa dentro de la elipse de tolerancia al 50%, la exactitud de las fórmulas de regresión convencional para la estimación de los volúmenes debería ser más elevada (agua corporal total, en litros L) y de las masas (masa magra y masa grasa, en kg) y es probable que la exactitud se mantenga satisfactoria si el vector se sitúa dentro de la elipse de tolerancia de 75%.²⁰ La inclinación del eje mayor de las elipses de tolerancia, debida a la correlación entre R y Xc, está asociada a la acumulación de líquidos, con generación de vectores más cortos con ángulo de fase menor. Hasta ahora se ha identificado al polo inferior de la elipse de tolerancia al 75% como el umbral para la presencia de edema aparente en el adulto, con 100% de sensibilidad y 92% de especificidad.^{9,21,22} Por tanto, el análisis vectorial

puede identificar la sobrehidratación subclínica (antes de la aparición del edema). Para la deshidratación, más difícil de establecer clínicamente, no ha sido identificado todavía un umbral preciso sobre las elipses de tolerancia. Es probable que el polo superior de la elipse al 75% represente una frontera importante, relacionado también con la distribución de los vectores en pacientes con deshidratación asociada a cólera^{9,23} y al final de una sesión de hemodiálisis.²⁴

De las validaciones clínicas informadas hasta la actualidad en la literatura para los vectores de impedancia, se pueden formular reglas de lectura simples de este método gráfico:

- **Variaciones de la hidratación.** Sin alteraciones de la estructura de los tejidos (variaciones agudas como en el caso de la hemodiálisis) se asocian con un acortamiento (sobrehidratación) o un alargamiento (deshidratación) del vector de impedancia a lo largo del eje mayor de las elipses de tolerancia.
- **Variaciones de la cantidad de los tejidos blandos** (masa celular y proteínas estructurales intersticiales hidrófilas, o bien estado nutricional sin alteraciones de la hidratación de los tejidos). Están asociadas con una migración del vector en la dirección del eje menor de las elipses, con un aumento progresivo del ángulo de fase (obesidad para los vectores cortos, masa muscular para los vectores largos), o con una reducción progresiva del ángulo de fase (caquexia para los vectores cortos, anorexia para los vectores largos).
- **Variaciones combinadas de hidratación y estructura de los tejidos.** Están asociadas con migraciones del vector a lo largo de la combinación de las dos direcciones principales de los ejes.

Si los rangos normales de los vectores de impedancia se conocieran en las poblaciones de referencia, las fórmulas tradicionales de predicción se podrían aplicar con mayor confianza en aquellos pacientes que están dentro de los valores de referencia. Este método gráfico de vectores de impedancia permite tomar con cautela las estimaciones de composición corporal elaboradas por las fórmulas convencionales en aquellos pacientes que se encuentran fuera de las elipses de referencia.

Para que en la práctica las mediciones de impedancia tengan una media y desviación estándar de los valores de R y Xc aceptables, se debe contar con una muestra de al menos 100 sujetos de cada sexo y la misma raza distribuidos lo más homogéneamente posible por IMC y edad; esto respalda que las medias

y desviaciones estándar de los componentes de IBE de nuestra muestra sean aceptables.¹⁰

CONCLUSIONES

Los vectores de la población mexicana sana se encuentran desplazados hacia la parte superior de las elipses de referencia de la población italiana estudiada con anterioridad y también están ligeramente desplazados hacia la derecha de las elipses de referencia de la población México-americana estudiada en los Estados Unidos de América, lo que hace necesaria la creación de nuevas elipses de referencia para nuestra población.

Las nuevas elipses son una herramienta útil para la evaluación de la composición corporal en población mexicana.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con el apoyo financiero del CONACYT, clave 139339M-2 y el INNSZ.

Los autores quieren agradecer el apoyo del Dr. Antonio Piccoli, de la Universidad de Padua, Italia, por la revisión crítica de este manuscrito.

El software para el cálculo de los vectores de impedancia de referencia de la población mexicana se encuentra disponible bajo petición en: aespinoz@quetzal.innsz.mx

REFERENCIAS

1. Valtueña S, Arja V, Salas-Salvadó J. Estado actual de los métodos de evaluación de composición corporal: descripción, reproducibilidad, precisión, ámbitos de aplicación, seguridad, coste y perspectivas de futuro. *Med Clin (Barc)* 1996; 106: 624-35.
2. Heymsfield SB, Wang ZM, Baumgartner RN, Ross R. Human body composition: advances in models and methods. *Annu Rev Nutr* 1997; 17: 527-58.
3. Keshavia JJ, Heymsfield SB, Lomonte AF, Wang J, Pierson RN Jr. In vivo determination of body fat by measuring total body carbon. *Am J Clin Nutr* 1991; 53: 1339-44.
4. Jacobs OD. Bioelectrical impedance analysis: implications for clinical practice. *NCP* 1997; 12: 204-10.
5. Houtkooper BL, Lohman GT, Going BS, Howell HW. Why bioelectrical impedance analysis should be used for estimating adiposity. *Am J Clin Nutr* 1996; 64: 436s-448s.
6. Jenneth JE. Human body composition: in vivo methods. *Physiol Rev* 2000; 80: 649-80.
7. Bioelectrical impedance analysis in body composition measurement: NIH Technology Assess Statement. 1994 Dec 12-14. *Am J Clin Nutr* 1996; (Suppl.): 524S-532S.
8. Piccoli A, Nescolarde LD, Rosell J. Análisis convencional y vectorial de bioimpedancia en la práctica clínica. *Nefrología* 2002; 22: 228-38.
9. Piccoli A, Rossi B, Pillon L, Buccianti GA. A new method for monitoring body fluid variation by bioimpedance analysis: the RXc graph. *Kidney Int.* 1994; 46: 534-9.

10. Piccoli A, Nigrelli S, Caberlotto A, et al. Bivariate normal values of the bioelectrical impedance vector in adult and elderly populations. *Am J Clin Nutr* 1995; 61: 269-70.
11. Piccoli A, Pastori G. BIVA Software 2002. Department of Medical and Surgical Sciences. University of Padova, Italy 2002 (available at E-mail: apiccoli@unipd.it).
12. Piccoli A. Bioelectrical Impedance Vector Analysis (BIVA) with BIVAPLOT Software 1998. Department of Medical and Surgical Sciences. University of Padova, Italy 1998: apiccoli@unipd.it.
13. GraphPad InStat Versión 3.01 para windows 95, GraphPad Software, San Diego, California, USA. www.graphpad.com
14. Piccoli A. Bioelectrical impedance vector analysis (BIVA) With BIVAMEAN: Hotelling's T squared test software 1998, Department of Medical and Surgical Sciences. University of Padova, Italy, 1998. 1: apiccoli@unipd.it.
15. Ward LC, Heitman BL, Craig P, et al. Association between ethnicity, body mass index, and bioelectrical impedance. *Ann NY Acad Sci* 2000; 904: 199-202.
16. Piccoli A, Pillon L, Dumler F. Impedance vector distribution by sex, race, body mass index, and age in the United States: standard reference intervals as bivariate Z scores. *Nutrition* 2002; 18: 153-67.
17. Bosy-Westphal A, Danielzik S, Dörhöfer RP, Piccoli A, M?ller M. Patterns of bioelectrical impedance vector distribution by body mass index and age: implications for body-composition analysis. *Am J Clin Nut* 2005; 82: 60-8.
18. De Palo T, Messina G, Edefonti A, et al. Normal values of the bioelectrical impedance vector in childhood and puberty. *Nutrition* 2000; 16: 417-24.
19. Schoeller DA, Luke A. Bioelectrical impedance analysis prediction equations differ between AfricanAmericans and Caucasians, but it is not clear why. *Ann N Y Acad Sci* 2000; 904: 225-6.
20. Piccoli A, Pillon L, Favaro E. Asymmetry of the total body water prediction bias using the impedance index. *Nutrition* 1997; 13: 438-41.
21. Piccoli A, Rossi B, Pillon L, Buccianti G. Body fluid overload and bioelectrical impedance analysis in renal patients. *Miner Electrolyte Metab* 1996; 22: 76-8.
22. Piccoli A, Brunani A, Savia G, et al. Discriminating between body fat and fluid changes in the obese adult using bioimpedance vector analysis. *Int J Obes* 1998; 22: 97-104.
23. McDonald JJ, Chanduvi B, Velarde G, et al. Bioimpedance monitoring of rehydration in cholera. *Lancet* 1993; 341: 1049-51.
24. Piccoli A. Identification of operational clues to dry weight prescription in hemodialysis using bioimpedance vector analysis. *Kidney Int* 1998; 53: 1036-43.

Reimpresos:

Dra. Ma. de los Ángeles Espinosa

Departamento de Nefrología y Metabolismo Mineral
Vasco de Quiroga #15
Col. Sección XVI, Tlalpan
14000, México, D.F.
Tel.: 5487-0900, Ext. 2505 o 3054
Fax: 5655-0382.
Correo electrónico: aespinoz@quetzal.innsz.mx

Recibido el 3 de abril de 2006.

Aceptado el 11 de octubre de 2006.