



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2010;3(3):00-00

www.elsevier.es/ramd



Artículo especial

La bioimpedancia eléctrica como método de estimación de la composición corporal: normas prácticas de utilización

J.R. Alvero-Cruz^a, L. Correas Gómez^b, M. Ronconi^a, R. Fernández Vázquez^a y J. Porta i Manzanido^c

^aLaboratorio de Composición Corporal. Escuela de Medicina de la Educación Física y el Deporte. Departamento de Fisiología Humana y Educación Física y Deportiva. Facultad de Medicina. Universidad de Málaga. España.

^bLaboratorio de Biodinámica y Composición Corporal. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Málaga. Málaga. España.

^cINEF Catalunya. Barcelona. España.

Historia del artículo:

Recibido el 5 de junio de 2011

Aceptado el 21 de septiembre de 2011

Palabras clave:

Bioimpedancia eléctrica.

Normas de utilización.

Metodología.

Composición corporal.

RESUMEN

La bioimpedancia eléctrica (BIA) es un método no invasivo y de fácil aplicación en todo tipo de poblaciones. Conocer su funcionamiento, así como sus bases físicas, permite comprender mejor su utilización y, por tanto, la aplicación estricta de las condiciones de medida, para asegurar la fiabilidad de los resultados obtenidos. La BIA es un buen método para determinar el agua corporal y la masa libre de grasa en personas sin alteraciones de líquidos corporales y electrolitos. Se deben utilizar ecuaciones de predicción ajustadas a la edad y al sexo, adecuadas a la población y deben haber sido validadas frente a métodos de referencia. El objetivo de esta revisión es analizar de forma crítica y exponer la importancia de la aplicación de una serie de normas muy bien definidas, para asegurar la mayor precisión en la estimación de la composición corporal.

© 2011 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

ABSTRACT

Bioelectrical impedance analysis as a method of body composition estimation: a practical approach

Bioelectrical impedance analysis (BIA) is an easy non-invasive technique which can be used in both healthy and patient populations. To guarantee reliability and accuracy it is necessary to understand the basic principles of its use and to control the strict application protocol of the measurement conditions. BIA can determine total body water and fat-free mass in subjects without body fluid and electrolyte alterations. When selecting a predictive equation, issues such as validation against a reference method and adjustment for population age and gender must be taken into account. The purpose of this review is to provide a critical analysis about the use of BIA and to explain the importance of carrying out well defined application standards to ensure accuracy in body composition estimation.

© 2011 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Correspondencia:

J.R. Alvero Cruz.

Escuela de Medicina de la Educación Física y el Deporte.

Edificio López de Peñalver s/n.

Campus de Teatinos. Universidad de Málaga.

29071 Málaga. España.

Correo electrónico: alvero@uma.es

Introducción

Los estudios de bioimpedancia eléctrica (BIA) se basan en la estrecha relación que hay entre las propiedades eléctricas del cuerpo humano, la composición corporal de los diferentes tejidos y del contenido total de agua en el cuerpo. Como todos los métodos indirectos de estimación de la composición corporal, la BIA depende de algunas premisas relativas a las propiedades eléctricas del cuerpo¹, de su composición y estado de maduración, su nivel de hidratación^{2,3}, la edad, el sexo, la raza y la condición física¹⁻³.

La BIA es una técnica simple, rápida y no invasiva que permite la estimación del agua corporal total (ACT) y, por asunciones basadas en las constantes de hidratación de los tejidos, se obtiene la masa libre de grasa (MLG) y por derivación, la masa grasa (MG), mediante la simple ecuación basada en dos componentes (MLG kg = peso total kg – MG kg). En el área de las ciencias del deporte es posible medir el ACT en diferentes situaciones, tanto en estados de hidratación normal como de deshidratación, así como para evaluar la composición corporal en diversos estados clínicos y nutricionales relacionados con la actividad física y el entrenamiento.

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo general de este trabajo de revisión es conocer diferentes aspectos tanto técnicos, como prácticos, sobre la utilización de la BIA y que el cuidado de estos aspectos influirá en la calidad y la reproducibilidad de los datos obtenidos, así como su validez y precisión.

Principios y propiedades bioeléctricas del cuerpo humano

La impedancia corporal (Z) está en función de 2 componentes o vectores: resistencia (R) y reactancia (Xc) (fig. 1). Estos 2 vectores estarían de acuerdo a la ecuación $Z^2 = R^2 + Xc^2$. La R representa la resistencia de los tejidos al paso de una corriente eléctrica y Xc es la oposición adicional debida a la capacitancia de esos tejidos y las membranas celulares (es el llamado componente dieléctrico), y estos valores dependen de la frecuencia de la corriente eléctrica. La reactancia se debe al efecto eléctrico de la carga ofrecida durante períodos cortos, por el componente lipídico de las membranas de la masa celular.

La resistencia es proporcional a la longitud del cuerpo (generalmente se considera su longitud o altura) e inversamente proporcional al área de sección (generalmente las medidas que representan los perímetros de los segmentos del tronco y de las extremidades). Por ello, un cuerpo largo tendrá una gran resistencia en relación con uno más corto, y un cuerpo con un área de sección pequeña tendrá una resistencia menor (fig. 1).

Matemáticamente, el volumen del conductor puede estimarse con la ecuación:

$$\text{volumen del conductor (V)} = \text{longitud (L)} \times \text{área (A)}$$

$$A = V/L$$

$$R = \rho (L/A)$$

$$R = \rho L (L/V)$$

$$V = \rho L^2/R$$

siendo ρ una constante de resistividad del cuerpo.

Esta relación volumétrica asume que el conductor tiene una forma uniforme y que la corriente también se distribuye uniformemente. La

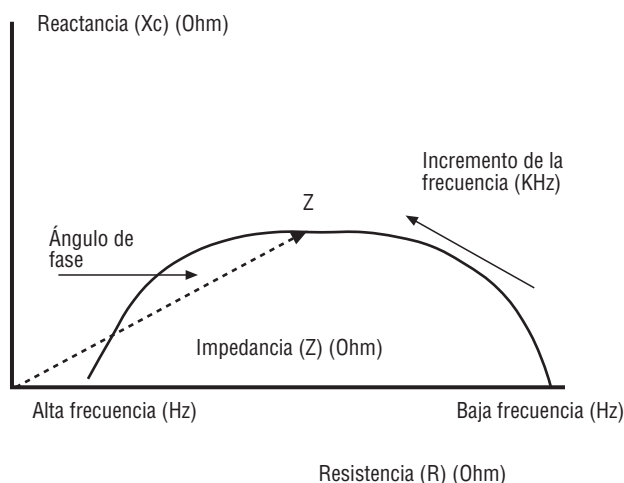


Fig. 1. Derivación gráfica del ángulo de fase y su relación con la resistencia (R), la reactancia (Xc) y la impedancia (Z).

constante de resistividad del cuerpo (ρ) en ohms/cm es independiente del tamaño y la forma, y es similar a la gravedad específica. Si se sustituye la longitud por la estatura, obtenemos el cociente del cuadrado de la estatura por la resistencia ($\text{estatura}^2/R$), en cm^2/Ω , y este es el conocido índice de impedancia, que es proporcional al volumen corporal¹. Este índice es de gran importancia, ya que se presenta en la mayoría de las ecuaciones de predicción, como la mayor y más importante variable predictora del ACT.

Los aparatos de impedancia eléctrica introducen generalmente en el cuerpo una corriente alterna de amperaje muy bajo (imperceptible), que discurre por el cuerpo, actuando el agua corporal como elemento conductor y la resistencia que ofrece el fluido al paso de esa corriente es medida por el impedanciómetro¹⁴.

La resistencia en el cuerpo no es la misma que la de los conductores no biológicos. La reactancia está causada por la resistencia ofrecida por las membranas celulares, los tejidos de sostén y los tejidos no-iónicos que retardan el paso de la corriente. Los flujos eléctricos de corriente atraviesan de forma diferente tanto los líquidos extracelulares, como los intracelulares, y son dependientes de la frecuencia de la corriente. En frecuencias de 5 Hz o menores, esta corriente fluye muy bien por el agua extracelular (AEC) con una reactancia muy baja. Con frecuencias por encima de 100 Hz, la corriente penetra en los tejidos corporales también con una reactancia mínima (fig. 2).

La reactancia y el ángulo de fase describen la relación entre la bioimpedancia y el cuerpo⁵. Algunos estudios han mostrado la relación entre la reactancia (Xc) y el ángulo de fase con variables fisiológicas, nutricionales y de esperanza de vida^{6,7}.

La constante de resistividad (ρ) no es igual en todos los segmentos del cuerpo humano y esto se debe a las variaciones intraindividuales e interindividuales de la composición de los diferentes tejidos, que en suma son parte de las diferencias interindividuales y de la existencia de errores de predicción en la estimación de la composición corporal mediante BIA.

Aspectos metodológicos sobre la bioimpedancia eléctrica

La metodología más utilizada para realizar una BIA de cuerpo entero es la tetrapolar, que consiste en la colocación de 4 electrodos: dos a través

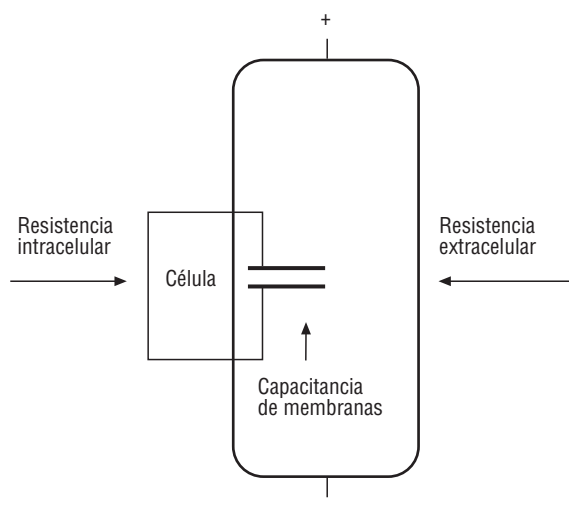


Fig. 2. Conexiones en paralelo de los sistemas de resistencia y reactancia en el cuerpo humano.

de los cuales se introduce una corriente alterna (generada por el impedanciómetro) y otros dos que recogen esta corriente midiéndose, entre estos, los valores de impedancia, resistencia y reactancia corporal. Estos electrodos deben hallarse a una distancia mayor de 4-5 cm, ya que, si no, puede haber interferencias y, por tanto, valores erróneos de la resistencia y la reactancia. Las medidas de impedancia deben tomarse en posición de decúbito supino y los electrodos deben disponerse en la muñeca y el pie-tobillo. La posición de decúbito supino es para disminuir los efectos de la gravedad en la tendencia de remansar el agua en las extremidades inferiores después de la bipedestación^{5,8}.

Actualmente, los impedanciómetros segmentales realizan mediciones con electrodos mano-mano o pie-pie, normalmente con el individuo en posición de bipedestación, y todo ello siempre sujeto a las instrucciones de cada modelo de bioimpedanciómetro y del fabricante.

Los primeros estudios provienen del inicio de la década de 1960, los cuales se centran en la relación de las medidas de impedancia corporal, como el índice del ACT¹⁻³, y variables fisiológicas, como la función tiroidea, la tasa metabólica basal, la actividad estrogénica y el flujo de sangre^{5,9}.

Thomasset³ fue el primero en hablar de las medidas de impedancia de los tejidos corporales, como índice de ACT. Unos años más tarde, Hoffer et al¹ relacionan la impedancia corporal total con ACT, mediante el paso de corriente a 50 KHz y utilizando el índice de impedancia (H^2/R en m^2/Ω) en esa estrecha relación. Algunos investigadores, como Bolot et al¹⁰ y Jenin et al¹¹, fueron de los primeros en describir las proporciones de AEC en relación con el ACT, a partir de las relaciones de la BIA, medidas a diferentes frecuencias.

A mediados de la década de 1980, se empiezan a comercializar los instrumentos de análisis de bioimpedancia eléctrica para la estimación de la composición corporal. El método del criterio de validación para estos instrumentos fue la densidad corporal y el ACT basado en el modelo de 2 componentes (masa grasa y masa libre de grasa). Estos estudios comprobaron la relación de la impedancia con ACT y MLG y grasa corporal en adultos y niños¹²⁻¹⁴.

Autores como Baumgartner et al¹⁵ también han descrito ampliamente estudios de resistividad específica, la asociación del ángulo de fase y la reactancia en relación con la composición corporal (CC), así como medidas segmentarias de CC.

Desde la década de 1990 han proliferado gran cantidad de sistemas de BIA de diferentes fabricantes, con gran difusión, y en 1994 el *National Institute of Health Technology* de Estados Unidos realizó una reunión clave para valorar la realidad de la BIA en torno a aspectos importantes, como la seguridad, la estandarización, la medida de parámetros bioeléctricos, la validez, su uso clínico y sus limitaciones¹⁶. Estos hacen referencia a aspectos como:

- Seguridad. En cuanto a la seguridad no se conocen actualmente efectos adversos, aunque se debe tener en cuenta que podrían afectar a la actividad eléctrica de marcapasos y desfibriladores, por lo cual en estas circunstancias se desaconseja su uso o bien se debería realizar con control electrocardiográfico.
- Estandarización. Si la realización de una BIA se realiza fuera de las normas de estandarización aceptadas, puede haber estimaciones erróneas. Son muy bien conocidas las condiciones que pueden afectar a la precisión de las medidas, como son: la posición corporal, la hidratación, el reciente consumo de comidas y/o bebidas, la temperatura ambiente y de la piel, la actividad física reciente y el estado de repleción de la vejiga urinaria (estas condiciones se exponen en la tabla 1). Estudios recientes analizan el efectos del ejercicio físico, la pérdida de líquidos por la sudoración y la toma de líquidos¹⁷ o comida¹⁸.
- Propiedades bioeléctricas. No se conoce de forma exacta por dónde discurre la corriente eléctrica, si es a través del agua extracelular o intracelular. Ésta varía según la composición de cada individuo, su tamaño, la composición de sus electrolitos y estas circunstancias conforman, en realidad, la esencia de la BIA. El índice de impedancia es la variable independiente que más se utiliza en las ecuaciones de regresión y no se pueden aplicar a poblaciones en las que no se hayan derivado, ya que una ecuación de BIA responde a las relaciones estadísticas encontradas con una población de referencia, de la cual fue derivada. Las ecuaciones suelen combinar variables de impedancia y antropométricas y son una norma común en todas ellas¹⁹⁻²². La mayoría de aparatos de BIA comerciales no suelen informar de las ecuaciones de cálculo (de la MLG y MG) que utilizan ni del error de estimación de esta predicción.
- Validez. Este es un asunto que aún permanece en discusión en cuanto a la validez y a las estimaciones de la composición corporal²³. La capacidad para predecir la masa grasa en grandes obesos es importante debido a la gran proporción de masa corporal y de agua corporal que reside en el tronco, además de que la hidratación de la MLG es mayor en el sujeto obeso y la relación ECW/ICW está aumentada²⁴. Recientemente, se han validado ecuaciones de BIA con un método multicomponente²¹, para un amplio rango de edad (12-90 años) y con estas ecuaciones se han publicado valores de R, Xc e índice de impedancia¹⁹.
- Uso clínico. El uso clínico de la BIA frecuentemente se relaciona a alteraciones de la distribución acuosa, como ocurre en las enfermedades graves; en este caso las asunciones de la BIA son inválidas²⁵, así como en otras situaciones, como la hemodiálisis, la prescripción y el seguimiento de la diálisis basado en el modelo cinético de la urea²⁶. También la utilización de la BIA está en constante investigación en los pacientes terminales con enfermedad renal crónica²⁷.
- Limitaciones. Las alteraciones del agua intracelular son frecuentes en la desnutrición proteico-calórica y, por ello, las medidas de la MLG no reflejan exactamente la cantidad de MLG real²⁸, ni los cambios de la MLG que se producirían con la alimentación parenteral. Ellis et al²⁹ han descrito una serie de recomendaciones generales para el uso de

Tabla 1
Diferentes situaciones que pueden dar cambios en los valores de bioimpedancia eléctrica

Circunstancia	Variaciones de la resistencia	Efectos	Referencia
Cambio de bioimpedanciómetro	21 Ω Variaciones en la MLG y la MG No siempre es conocida la ecuación de estimación de la MG Calibrar antes de cada medición	Variaciones en R y XC Lukaski et al ⁵⁸ Deurenberg et al ⁵⁹	Kushner et al ⁵³ Kyle et al ²⁰ Gudivaka et al ⁵⁷
Abducción de las extremidades de 30-90°	\downarrow 12 Ω	Reducción de la grasa en torno al 1,5%	Kushner et al ⁵³
Cambio de electrodos de lado derecho a izquierdo	7-18 Ω	Variaciones en R y XC Variaciones en la MLG y la MG	Kushner et al ⁵³
Ingesta de fluidos (\approx 700 ml)	8 \pm 9 Ω	Errores de hasta el 3%	Kushner et al ⁵³ Heitmann ⁶⁰
Ingesta de sólidos (desayuno, comida)	-4 \pm 14 Ω	Errores de hasta el 3%	Kushner et al ⁵³ Heitmann ⁶⁰
Ingesta de fluidos durante la primera hora	No Δ	Parece que hay un efecto "silente". No hay efectos al parecer por la gran área de sección del tronco	Jebb et al ⁶¹ Evans et al ⁶²
Ingesta alimentaria después de 2-4 h	\uparrow Z \downarrow 13-17 Ω \downarrow Z total	Reducción de la grasa en torno a valores del 2% Cambios de 8-10% de la grasa corporal Efectos acumulativos a lo largo del día	Kushner et al ⁵³ Heitmann ⁶⁰ Gudivaka et al ⁵⁷ Fogelholm et al ⁶³ Deurenberg et al ⁶⁴
Ejercicio moderado	\downarrow Z total \downarrow R 3% \downarrow Xc 8%	No se normaliza hasta en una hora	Gudivaka et al ⁵⁷ Jebb et al ⁶¹ Roos et al ⁶⁵
Inmediatamente postejercicio	No Δ \downarrow R y Z \downarrow 17 Ω	Reducción de la grasa en torno al 2% No se normaliza hasta 60 min	Kushner et al ⁵³ Heitmann ⁶⁰ Garby et al ⁶⁶ Roos et al ⁶⁵
Tras 60 min en decúbito supino	\uparrow 17 Ω	\uparrow R Aumento de la grasa en torno a 2%	Roos et al ⁶⁵
Incorrecta utilización de ecuaciones		Errores en predicción de componentes como el ACT, AEC, AIC, MG y MLG	Kyle et al ²⁰
Flujo sanguíneo y temperatura de la piel	Sin alteraciones	No afecta a la medición	Liang y Norris ⁶⁷
Hidratación	\uparrow R	Disminución de la estimación de MLG y aumento de la MG	Liang y Norris ⁶⁷
Deshidratación	\downarrow R	Aumento de la estimación de MLG y disminución de la MG	Roos et al ⁶⁵
Disminución de la temperatura ambiente de 35 a 14 °C	\downarrow Xc \uparrow R	Disminución de la estimación de MLG y aumento de la MG	Liang y Norris ⁶⁷ Garby et al ⁶⁶
Aumento de la temperatura de 15 a 35 °C	\downarrow R	Aumento de la estimación de la MLG y disminución de la MG	Buono et al ⁶⁸
Cambios de 5 °C de temperatura ambiental	No Δ		Buono et al ⁶⁸
Utilización de ACO		No hay diferencias entre diferentes composiciones de ACO	Machado et al ⁶⁹

Ω : ohmios; ACO: anticonceptivos orales; ACT: agua corporal total; AEC: agua extracelular; BIA: bioimpedancia eléctrica; MG: masa grasa; MLG: masa libre de grasa.

la impedancia después de que su implantación ha sido muy extendida por parte de gran número de investigadores, y no siempre se ha utilizado bien. En general, la impedancia de piernas y brazos es menos predictiva de la MLG que la BIA de cuerpo entero.

Instrumentos de análisis por bioimpedancia eléctrica

Bioimpedancia eléctrica monofrecuencia

Todos los aparatos de monofrecuencia normalmente operan a una frecuencia de 50 Khz, con electrodos dispuestos en la mano y en el pie o bien dispositivos pie-pie o mano-mano. Este método permite calcular la resistividad corporal y estimar el ACT y MLG. La cuantificación del ACT con un sistema de BIA monofrecuencia es bastante preciso¹⁹⁻²¹.

Los resultados de la impedancia se basan en modelos matemáticos teóricos y ecuaciones empíricas. En esta frecuencia (50 Khz), el índice de impedancia es directamente proporcional al ACT y permite el cálculo de

la MLG, pero no permite determinar, ni diferenciar, el agua intracelular o extracelular. La BIA monofrecuencia no debe utilizarse cuando hay alteraciones de la hidratación, y de ninguna forma deducir si son por parte del componente acuoso intracelular o extracelular²⁰.

Bioimpedancia eléctrica multifrecuencia

Los instrumentos BIA multifrecuencia utilizan modelos empíricos de regresión lineal a diferentes frecuencias, como 0, 1, 5, 50, 100, 200 y 500 Khz, para estimar el ACT, el AEC y el agua intracelular (AIC), y por derivación, la MLG. Los aparatos multifrecuencia son precisos para diferenciar variaciones en los niveles de hidratación. A frecuencias por debajo de 5 Khz y por encima de 200 Khz, se ha comprobado una baja reproducibilidad especialmente para la reactancia a bajas frecuencias. Igualmente se ha descrito una mejor precisión y un sesgo menor de los aparatos multifrecuencia para las estimaciones de AEC respecto a los aparatos monofrecuencia, y una mejor predicción del ACT que los de espectroscopia bioeléctrica (BIS)³⁰⁻³². Hay que destacar que las medidas de resistencia

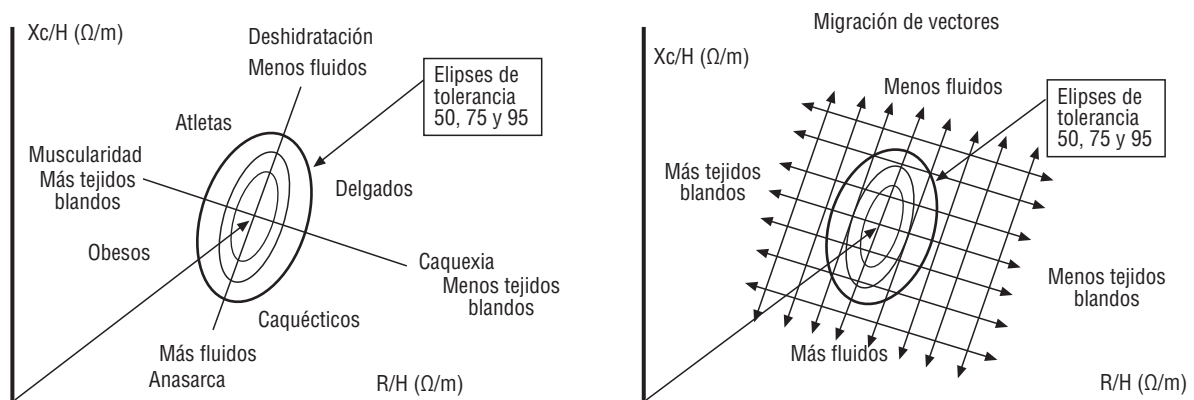


Fig. 3. Vectores de impedancia y elipses de tolerancia. Análisis de la migración de los vectores de impedancia. Adaptado de Piccoli et al⁴⁸.

no difieren entre los aparatos de monofrecuencia y los de multifrecuencia.

Espectroscopia bioeléctrica

En contraste con los aparatos multifrecuencia, los aparatos de espectroscopia bioeléctrica (BIS) utilizan un modelo matemático y ecuaciones mixtas (Cole-Cole plot y fórmula de Hanai)^{33,34} para generar relaciones entre la R y los diferentes compartimentos de fluidos desde valores de R_0 y R_{∞} y entonces derivar de forma empírica ecuaciones de predicción³⁵.

Bioimpedancia eléctrica segmental

Esta técnica necesita de dos electrodos adicionales en la muñeca y el tobillo de las extremidades opuestas³⁶, o bien sobre la muñeca, el hombro (acromion), espina ilíaca superior y tobillo³⁷. El tronco que tiene una gran sección transversal sólo contribuye en un 10% de la impedancia corporal total (Z) y paradójicamente puede representar hasta el 50% del peso corporal. Esto puede implicar aspectos de importancia en la estimación y el análisis de la composición corporal del cuerpo entero. Esto implica 3 aspectos en el análisis de la composición corporal (CC):

1. Los cambios de la Z están estrechamente relacionados a los cambios en la MLG y la masa celular corporal (MCC) de las piernas y brazos.
2. Los cambios en la MLG del tronco no se describen de forma correcta por las medidas de impedancia corporal total.
3. Los cambios en los volúmenes de fluido dentro de la cavidad abdominal tienen poca influencia en las medidas de MLG.

La BIA segmental se ha utilizado para conocer la distribución de fluidos en diversas enfermedades (ascitis, fallo renal, cirugía) y puede ser útil para el conocimiento de la acumulación de fluidos en la cavidad torácica o abdominal^{38,39}, encontrándose grandes errores para la BIA segmental al medir la MLG en brazos (de un 13 a un 17% de error) y en piernas (10-13%). Actualmente, ya hay trabajos que validan la BIA segmental frente a modelos de 4 componentes⁴⁰⁻⁴³.

Análisis del vector de bioimpedancia eléctrica

Este es un nuevo método que desarrollaron Piccoli et al⁴⁴, el cual no depende de modelos, estimaciones o ecuaciones, y que sólo se afecta por las medidas de Z o bien de la variabilidad individual. Se trata de la construc-

ción de un gráfico R/H (abscisas) y X_c/H (ordenadas), estandarizado por edades. Cada vector individual puede ser comparado con las referencias de unas elipses que representan el 50, el 75 y el 95% de tolerancia para cada edad y tamaño corporal. El movimiento del vector de impedancia puede variar (emigrar) a diferentes zonas que se interpretan como estados de deshidratación con largos vectores, hiperhidratación con vectores cortos y cambios a izquierda o derecha según cambios producidos en la MLG (fig. 3).

Como todos los métodos de estimación de la CC, la BIA depende de una serie de premisas estáticas y relaciones dinámicas, como son las propiedades eléctricas del cuerpo humano, conformadas por su composición molecular, su hidratación, la densidad de los tejidos, así como la edad, la raza, el sexo y el grado de condición física⁴⁵. Distintas alteraciones de la composición corporal se detectan mediante el análisis de los vectores de impedancia⁴⁶⁻⁴⁸, y es un buen método para detectar cambios en la MLG con la edad, en personas mayores⁴⁹.

Validez de las mediciones de bioimpedancia eléctrica

El cuerpo humano no es un elemento uniforme, ni en longitud, ni en sus áreas transversales de sección, ni en su composición iónica, y estas circunstancias afectan a la precisión de las medidas⁵⁰. Además, la impedancia corporal es diferente entre etnias, lo cual tiene influencias en la precisión de la BIA⁵¹. En general, los instrumentos de BIA mano-mano, pie-pie y mano-pie (diferentes tipos de analizadores) se validaron en individuos japoneses de 18-27 años, en comparación con la hidrodensitometría como método de referencia. Demura et al⁵² demostraron una sobreestimación del 2,2-3,3% de grasa corporal cuando utilizaron las ecuaciones de predicción del fabricante, no validadas. La BIA puede afectarse por múltiples y diferentes situaciones que se deberán tener muy en cuenta, como son: la posición del cuerpo, la hidratación, la ingestión de comida y bebida, el aire ambiente y la temperatura de la piel, la actividad física reciente y la conductancia del lugar donde se realiza (la superficie de la camilla).

La actividad física aumenta el gasto cardíaco y la perfusión vascular, con el subsiguiente aumento del flujo sanguíneo al músculo, así como un aumento de la temperatura muscular y de la piel, con lo que se produce una disminución de la resistencia muscular y una disminución general de la impedancia corporal^{53,54}.

La estandarización del método es fundamental para la estimación de componentes como el ACT, la MLG y la MG. La precisión de los cálculos

Tabla 2
Recomendaciones de uso de la bioimpedancia eléctrica

Instrumentos/material	Comentarios	Recomendaciones
Generador	Funcionamiento con baterías del aparato	Cuidar el momento de recarga. No medir BIA con aparato conectado a la red. Asegurar la carga diariamente
Analizador	Obtener medidas de Z, R, Xc y ángulo de fase	Calibrar con resistencias externas conocidas
Cables	Longitud y diámetros	Cables aislados. Mayor a 2 m de longitud
Electrodos	Superficie	Mayores a 4 cm ² . Gelificados. Sin presencia de irregularidades. Guardar en sitio seco y preservado
Lugar de medición	Interferencias eléctricas	No estar en contacto con metales. Camilla no metálica. Evitar campos magnéticos cercanos
Medición de la talla	No preguntar talla. Anotar hora del día	Calibración a 0,1 cm. Medir la altura antes de cada una de las exploraciones. No todos los impedanciómetros permiten introducir la talla con precisión de 0,1 cm
Medición del peso	No preguntar peso. Anotar hora del día	Calibración a 0,1 kg. Medir el peso antes de la exploración

BIA: bioimpedancia eléctrica.

Tabla 3
Recomendaciones de uso de la bioimpedancia eléctrica en diferentes situaciones y circunstancias

Individuos	Comentarios	Recomendaciones
Comida, bebidas, alcohol	En ayunas o tras 4 h de ayuno	No tomar alcohol en las 8 h anteriores a la BIA
Ejercicio físico	Interferencias No en 8 h anteriores	Para seguimiento durante períodos de entrenamiento, realizar siempre a la misma hora
Momento del día	Anotar hora de la BIA	Por la mañana en ayunas. Tras 4 h de ayuno
Temperatura ambiente		Anotar temperatura ambiente
Piel	Sin lesiones	Pegar bien los electrodos en toda su superficie. No pegar en zonas lesionadas. Limpieza previa con alcohol de 70°
Posición de las extremidades	En abducción	Brazos a 30°; Piernas a 45°
Posición	Supino. Excepción para las BIA pie-pie, mano-mano	Entre 8 y 10 min de posición en decúbito supino. Protocolizar siempre el mismo tiempo para estudios de investigación. Seguir instrucciones del fabricante. En pacientes encamados (decúbito supino) anotar esta circunstancia
Alteraciones de la forma corporal	Anotar anomalías corporales	Amputaciones, atrofas, escoliosis, distrofias, obesidad
Grupo étnico	Anotar	Grandes diferencias según la raza y la ecuación utilizada debe ajustarse a esa circunstancia
Control de ejercicio físico/entrenamiento	Anotar hora del día. Tener en cuenta circunstancias de control de entrenamiento en deportistas	Respetar en lo posible normas de ayuno y ejercicio. Realizar BIA tras día/s de compensación de sesiones de entrenamiento

BIA: bioimpedancia eléctrica.

también puede verse afectada incluso por variaciones en la posición de los electrodos, las especificaciones de la máquina y de los diferentes algoritmos o ecuaciones de cálculo suministrados por cada fabricante (tabla 1).

Una serie de circunstancias y situaciones, que afectan al material utilizado, pueden influir en los datos obtenidos en la medición y en la estimación. Estos aspectos son importantes de cara a la correcta ejecución de la BIA (tabla 2). Otras recomendaciones tienen relación con los cuidados respecto a la ingesta de alimentos, la posición del cuerpo o el ejercicio físico (tabla 3), así como el efecto de ciertas enfermedades (tabla 4) o diferentes situaciones clínicas (tabla 5).

La adecuada selección de ecuaciones para estudios de bioimpedancia eléctrica

La selección de una ecuación de estimación de composición corporal, para lograr la mejor precisión requiere que el error estándar de estimación (EEE) sea lo más bajo posible. Lohman⁵⁵ indica y recomienda que este EEE no supere el valor de 2-2,5 kg en varones y de 1,5-1,8 kg en mujeres, considerándose éstos como aceptables e ideales, para no incurrir en errores inaceptables⁵⁵.

Las ecuaciones de BIA no deben escogerse sin conocer en qué población se han derivado, qué método de referencia se ha utilizado y luego si se han validado de forma tanto interna como externa, es decir comprobando que no hay diferencias medias sistemáticas entre el método de referencia y los valores estimados con la ecuación de predicción, y también que no existe sesgo significativo, o sea que no hay un cambio que tenga que ver fundamentalmente con la magnitud de la medida. Esta valoración se realiza mediante los gráficos y procedimientos de Bland y Altman⁵⁶, y por fin se debe valorar el grado de heterocedasticidad para comprobar la diferencia absoluta intermétodos y si ésta se asocia con la magnitud de la medida.

El cuerpo humano está compuesto de varios segmentos con diferentes geometrías y con un nivel variable de hidratación, de masa grasa, confiriendo diferentes cualidades conductivas, lo cual explicaría de forma lógica que las ecuaciones de regresión para cada población no pueden transgredirse y aplicarse a otras poblaciones sin una validación previa. Esta es la principal limitación de la BIA. El uso de la BIA para la medición de cambios en la grasa corporal no se aconseja para valorar cambios agudos, y por ello es más adecuado para valoraciones más a largo plazo.

La utilidad de la BIA en estudios de estimación de la composición corporal para la salud cumple un papel destacado, ya que es más precisa

Tabla 4

Recomendaciones de uso de la bioimpedancia eléctrica en diversas enfermedades

Enfermedades	Comentarios	Recomendaciones
Insuficiencia cardíaca	Existencia de edemas. Alteración de las medidas de BIA	Realizar en condiciones estables
Enfermedad hepática	Ascitis/edemas. Alteración de las medidas de BIA	Recomendar BIA segmental
Enfermedad renal	Edemas/alteraciones iónicas. Alteración de las medidas de BIA	Cautelas con las interpretaciones
Alteraciones electrolíticas en suero	Alteración de las medidas de BIA	Realizar en condiciones de normalidad y comparar
Hipotiroidismo	Paquidermia	Alteraciones de la piel pueden determinar una gran resistencia de la piel y puede alterar o invalidar las medidas

BIA: bioimpedancia eléctrica.

Tabla 5

Recomendaciones de uso de la bioimpedancia eléctrica en tratamientos/situaciones clínicas

Tratamientos	Comentarios	Recomendaciones
Intravenosos con aporte de electrolitos		Medidas erróneas con paciente anormalmente hidratado
Fármacos que alteran el equilibrio hídrico	Esteroides, hGH, diuréticos	Realizar con paciente estable y a la misma hora tras administración del medicamento
Díálisis	Hemo y peritoneal	Realizar 30 min posdialisis
Punción de ascitis		Protocolizar el procedimiento de medida
Prótesis/implantes		Medidas del cuerpo no afectado por la prótesis
Desfibriladores/marcapasos	No hay evidencias bibliográficas de interferencias con marcapasos ni desfibriladores	Controlar la actividad cardíaca

BIA: bioimpedancia eléctrica.

que los cambios de peso, talla o el índice de masa corporal y tiene una fiabilidad mayor que la toma de pliegues cutáneos, ya que no depende del explorador, porque es más fácil su estandarización, no necesita entrenamiento, pero sí necesita del cumplimiento de toda una serie de normas de obligado rigor metodológico.

Recomendaciones finales y conclusiones

Estas recomendaciones de carácter general para un uso correcto de los análisis de BIA se basan en el presente trabajo de revisión.

- Una metodología estricta y estandarizada mejora las medidas obtenidas y la estimación de la composición corporal, respetando las situaciones siguientes:
 - No haber realizado ejercicio físico intenso 24 horas antes.
 - Orinar antes de las mediciones.
 - Medir el peso y la talla en cada evaluación.

- Instauración previa de un tiempo de 8-10 minutos en posición de decúbito supino.
 - Correcta posición de los electrodos.
 - Los brazos y las piernas deben estar separados del tronco.
 - Retirar elementos metálicos.
 - Consignar situaciones como obesidad abdominal marcada, masa muscular, pérdidas de peso, ciclo menstrual y menopausia.
- Las relaciones de la BIA y los cambios de agua corporal están en general bien correlacionados, pero los gradientes de esas relaciones no siempre se cumplen y hay variaciones importantes entre individuos.
 - La BIA es un buen método para el control longitudinal de la MLG y de la MG, pero hay que ser cuidadoso en circunstancias de alteraciones de la hidratación (ejercicio, ingesta de líquidos y alimentos y/o padecimiento de enfermedades del equilibrio hidrosalino).
 - Ser cautos con la utilización de ecuaciones de predicción que no se hayan derivado en la población de estudio, y en su caso conocer la falta de concordancia.
 - Hay una gran difusión de trabajos realizados con BIA para estimar la CC en diferentes poblaciones, así como diferentes grados de concordancia con métodos de referencia, desde los validados a los no validados.

Como conclusión final, se considera que la BIA es un método aceptado para la estimación de la composición corporal y el agua corporal, para personas sanas, siempre y cuando se apliquen las correspondientes ecuaciones específicas de estimación y no sean generalizadas en todos los casos. Por ello es necesario el desarrollo constante de nuevas ecuaciones de predicción y de validación cruzada de las existentes y de las futuras.

Bibliografía

- Hoffer E, Meador C, Simpson D. Correlation of whole-body impedance with total body water volume. *J Appl Physiol*. 1969;27:531-4.
- Nyboer E. Electrorheometric properties of tissues and fluids. *Ann NY Acad Sci*. 1970;170:410-20.
- Thomasset A. Bioelectrical properties of tissue impedance measurements. *Lyon Medical*. 1962;207:107-18.
- Kushner R, Schoeller D. Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr*. 1986;44:417-24.
- Lukaski HC, Bolonchuk WW. Theory and validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. En: *In vivo body composition Studies*. London: The Institute of Physical Sciences in Medicine; 1987.
- Kyle UG, Genton L, Slosman DO, Richard C. Fat free and fat mass percentiles in 5225 healthy subjects aged 15 to 98 years. *Nutrition*. 2001;17:534-41.
- Van der Jagt DJ, Huang YS, Chuang LT, Bonnett C, Glew RH. Phase angle and n-3 polyunsaturated fatty acids in sickle cell disease. *Arch Dis Child*. 2002;87:252-4.
- Slinde F, Bark A, Jansson J, Rossander-Hulthen L. Bioelectrical impedance variation in healthy subjects during 12 in the supine position. *Clin Nutr*. 2003;22:153-7.
- Spence J, Baliga R, Nyboer J, Seftik J, Fleischmann L. Changes during hemodialysis in total body water cardiac output and chest fluids as detected by bioelectrical impedance analysis. *Transactions Am Society Artif Inter Organs*. 1979;25:51-5.
- Bolot JF, Fournier G, Bertoye A, Lenior J, Jenin P, Thomasset A. Determination of lean body mass by the electrical impedance analysis. *Nouvelle Press Medecale*. 1977;6:2249-51.
- Jenin P, Lenoir J, Rouillet C, Thomasset AL, Ducrot H. Determination of body fluid compartments by electrical impedance measurements. *Aviat Space Environ Med*. 1975;46:152-5.
- Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuk WW, Lykken GI. Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *Am J Clin Nutr*. 1985;41:810-7.
- Deurenberg P, Smit HE, Kusters CS. Is the bioelectrical impedance method suitable for epidemiological field studies? *Eur J Clin Nutr*. 1989;43:647-54.

14. Deurenberg P, Van der Kooy K, Paling A, Withagen P. Assessment of body composition in 8-11 year old children by bioelectrical impedance. *Eur J Clin Nutr.* 1989;43:623-9.
15. Baumgartner RN, Chumlea WC, Roche AF. Bioelectric impedance phase angle and body composition. *Am J Clin Nutr.* 1988;48:16-23.
16. Bioelectrical impedance analysis in body composition measurement: National Institutes of Health Technology Assessment Conference Statement. *Am J Clin Nutr.* 1996;64:524S-32S.
17. Berneis K, Keller U. Bioelectrical impedance analysis during acute changes of extracellular osmolality in man. *Clin Nutr.* 2000;19:361-6.
18. Slinde F, Rossander-Hulthén L. Bioelectrical impedance: effect of 3 identical meals on diurnal impedance variation and calculation of body composition. *Am J Clin Nutr.* 2001;74:474-8.
19. Chumlea WC, Guo SS, Kuczmarski RJ, Flegal KM, Johnson CL, Heymsfield SB, et al. Body composition estimates from NHANES III bioelectrical impedance data. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2002;26:1596-609.
20. Kyle UG, Genton L, Karsegard L, Slosman DO, Pichard C. Single prediction equation for bioelectrical impedance analysis in adults aged 20-94 years. *Nutrition.* 2001;17:248-53.
21. Sun SS, Chumlea WC, Heymsfield SB, Lukaski HC, Schoeller D, Friedl K, et al. Development of bioelectrical impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys. *Am J Clin Nutr.* 2003;77:331-40.
22. Alvero-Cruz JR, Carnero EA, Fernández García, Barrera Expósito J, Sardinha LB. A prediction equation of fat mass in Spanish Adolescents. *Obesity Reviews.* 2010;11(Suppl 1):216.
23. Lukaski HC, Bolonchuk WW, Hall CB, Siders WA. Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J Appl Physiol.* 1986;60:1327-32.
24. Tagliabue A, Andreoli A, Comelli M, Bertoli S, Testolin G, Oriani G, et al. Prediction of lean body mass from multifrequency segmental impedance: influence of adiposity. *Acta Diabetol.* 2001;38:93-7.
25. O'Brien C, Young AJ, Sawka MN. Bioelectrical impedance to estimate changes in hydration status. *Int J Sports Med.* 2002;23:361-6.
26. Chertow GM, Lazarus JM, Lew NL, Ma L, Lowrie EG. Bioimpedance norms for the hemodialysis population. *Kidney Int.* 1997;52:1617-21.
27. Dumler F, Kilates C. Use of bioelectrical impedance techniques for monitoring nutritional status in patients on maintenance dialysis. *J Ren Nutr.* 2000;10:116-24.
28. Barbosa-Silva MC, Barros AJ, Post CL, Waitzberg DL, Heymsfield SB. Can bioelectrical impedance analysis identify malnutrition in preoperative nutrition assessment? *Nutrition.* 2003;19:422-6.
29. Ellis KJ, Bell SJ, Chertow GM, Chumlea WC, Knox TA, Kotler DP, et al. Bioelectrical impedance methods in clinical research: a follow-up to the NIH Technology Assessment Conference. *Nutrition.* 1999;15:874-80.
30. Hannan WJ, Cowen SJ, Fearon KC, Plester CE, Falconer JS, Richardson RA. Evaluation of multi-frequency bio-impedance analysis for the assessment of extracellular and total body water in surgical patients. *Clin Sci (Lond).* 1994;86:479-85.
31. Patel RV, Peterson EL, Silverman N, Zarowitz BJ. Estimation of total body and extracellular water in post-coronary artery bypass graft surgical patients using single and multiple frequency bioimpedance. *Crit Care Med.* 1996;24:1824-8.
32. Hannan WJ, Cowen SJ, Plester CE, Fearon KC, De Beau A. Comparison of bioimpedance spectroscopy and multi-frequency bio-impedance analysis for the assessment of extracellular and total body water in surgical patients. *Clin Sci (Lond).* 1995;89:651-8.
33. Cole KS. Dispersion and absorption in dielectrics. I. Alternating current characteristics. *J Chem Phys.* 1941;9:341-51.
34. Hanai T. Electrical properties of the emulsions. En: Sherman PH, editor. *Emulsion Science.* UK: Academic; 1968. p. 354-477.
35. Scharfetter H, Monif M, László Z, Lambauer T, Hutten H, Hinghofer-Szalkay H. Effect of postural changes on the reliability of volume estimations from bioimpedance spectroscopy data. *Kidney Int.* 1997;51:1078-87.
36. Organ LW, Bradham GB, Gore DT, Lozier SL. Segmental bioelectrical impedance analysis: theory and application of a new technique. *J Appl Physiol.* 1994;77:98-112.
37. Zhu F, Schneditz D, Levin NW. Sum of segmental bioimpedance analysis during ultrafiltration and hemodialysis reduces sensitivity to changes in body position. *Kidney Int.* 1999;56:692-9.
38. Bracco D, Thiébaud D, Chioléro RL, Landry M, Burckhardt P, Schutz Y. Segmental body composition assessed by bioelectrical impedance analysis and DEXA in humans. *J Appl Physiol.* 1996;81:2580-7.
39. Tagliabue A, Andreoli A, Comelli M, Bertoli S, Testolin G, Oriani G, et al. Prediction of lean body mass from multifrequency segmental impedance: influence of adiposity. *Acta Diabetol.* 2001;38:93-7.
40. LaForgia J, Gunn S, Withers RT. Body composition: validity of segmental bioelectrical impedance analysis. *Asia Pac J Clin Nutr.* 2008;17:586-91.
41. Shafer KJ, Siders WA, Johnson LK, Lukaski HC. Validity of segmental multiple-frequency bioelectrical impedance analysis to estimate body composition of adults across a range of body mass indexes. *Nutrition.* 2009;25:25-32.
42. Ishiguro N, Kanehisa H, Miyatani M, Masuo Y, Fukunaga T. Applicability of segmental bioelectrical impedance analysis for predicting trunk skeletal muscle volume. *J Appl Physiol.* 2006;100:572-8.
43. Lorenzo AD, Andreoli A. Segmental bioelectrical impedance analysis. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2003;6:551-5.
44. 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.
45. Kushner RF. Bioelectrical impedance analysis: a review of principles and applications. *J Am Coll Nutr.* 1992;112:199-209.
46. 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.
47. Piccoli A, Nigrelli S, Caberlotto A, Bottazzo S, Rossi B, Pillon L, et al. Bivariate normal values of the bioelectrical impedance vector in adult and elderly populations. *Am J Clin Nutr.* 1995;61:269-70.
48. Piccoli A, Rossi B, Pillon L, Buccianti G. A new method for monitoring body fluid variation by bioimpedance analysis: the RxC graph. *Kidney Int.* 1994;46:534-9.
49. Buffa R, Floris G, Marini E. Migration of the bioelectrical impedance vector in healthy elderly subjects. *Nutrition.* 2003;19:917-21.
50. Pietrobelli A, Heymsfield SB. Establishing body composition in obesity. *J Endocrinol Invest.* 2002;25:884-92.
51. Ward LC, Heitmann BL, Craig P, Stroud D, Azinge EC, Jebb S, et al. Association between ethnicity, body mass index, and bioelectrical impedance. Implications for the population specificity of prediction equations. *Ann N Y Acad Sci.* 2000;904:199-202.
52. Demura S, Yamaji S, Goshi F, Kobayashi H, Sato S, Nagasawa Y. The validity and reliability of relative body fat estimates and the construction of new prediction equations for young Japanese adult males. *J Sports Sci.* 2002;20:153-64.
53. Kushner RF, Gudivaka R, Schoeller DA. Clinical characteristics influencing bioelectrical impedance analysis measurements. *Am J Clin Nutr.* 1996;64:423S-27S.
54. Caton JR, Mole PA, Adams WC, Heustis DS. Body composition analysis by bioelectrical impedance: effect of skin temperature. *Med Sci Sports Exerc.* 1988;20:489-91.
55. Lohman TG. Advances in body composition assessment. *Current Issues in Exercise Science Series. Monograph N.º 3.* Champaign, IL: Human Kinetics; 1992. p. 3-4.
56. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;1:307-10.
57. Gudivaka R, Schoeller D, Kushner RF. Effect of skin temperature on multifrequency bioelectrical impedance analysis. *J Appl Physiol.* 1996;81:838-45.
58. Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuk WW, Lykken GI. Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *Am J Clin Nutr.* 1985;41:810-7.
59. Deurenberg P, Van der Kooy K, Leenen R. Differences in body impedance when measured with different instruments. *Eur J Clin Nutr.* 1989;43:885-6.
60. Heitmann B. Impedance: a valid method in assessment of body composition. *Eur J Clin Nutr.* 1994;48:228-40.
61. Jebb SA, Cole TJ, Doman D, Murgatroyd PR, Prentice AM. Evaluation of the novel Tanita body-fat analyser to measure body composition by comparison with a four-compartment model. *Br J Nutr.* 2000;83:115-22.
62. Evans WD, McLaughlin H, Trudgett C. Factors affecting the in vivo precision of bioelectrical impedance analysis. *Appl Radiat Isot.* 1998;49:485-7.
63. Fogelholm M, Sievanen H, Kukkonen-Harjula K, Oja P, Vuori I. Effects of meal and its electrolytes on bioelectrical impedance. En: Ellis KJ, Eastman JD, editors. *Human body composition: in vivo methods, models and assessment.* New York: Plenum Press; 1993. p. 331-2.
64. Deurenberg P, Weststrate JA, Paymans I, Van der Kooy K. Factors affecting bioelectrical impedance measurements in humans. *Eur J Clin Nutr.* 1988;42:1017-22.
65. Roos AN, Westendorp RG, Frölich M, Meinders AE. Tetrapolar body impedance is influenced by body posture and plasma sodium concentration. *Eur J Clin Nutr.* 1992;46:53-60.
66. Garby L, Lammert O, Nielsen E. Negligible effects of previous moderate physical activity and changes in environmental temperature on whole body electrical impedance. *Eur J Clin Nutr.* 1990;44:545-6.
67. Liang MT, Norris S. Effects of skin blood flow and temperature on bioelectrical impedance after exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1993;25:1231-9.
68. Buono MJ, Burke S, Endemann S, Graham H, Gressard C, Griswold L, et al. The effect of ambient air temperature on whole-body bioelectrical impedance. *Physiol Meas.* 2004;25:119-23.
69. Machado RB, Tachotti F, Cavenague G, Maia E. Effects of two different oral contraceptives on total body water: a randomized study. *Contraception.* 2006;73:344-7.