

Bioimpedancia: principios y aplicaciones para el estudio de la composición corporal en adultos

PERSPECTIVAS EN NUTRICIÓN HUMANA
ISSN 0124-4108 Separata. Noviembre de 2005
Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia págs. 167-176

Juan Carlos Aristizábal Rivera Nutricionista Dietista
Magíster en Ciencias Básicas Biomédicas.
Profesor de Nutrición y Dietética UdeA

María Teresa Restrepo Calle ND UdeA, Magíster en Salud Pública UNAL,
Bogotá

INTRODUCCIÓN

La composición corporal se refiere a la cuantificación de los componentes del cuerpo humano y a la determinación de las relaciones cuantitativas entre ellos; su estudio se reconoce hoy en día como una herramienta de gran utilidad en áreas como la nutrición, la medicina, la ergonomía, la antropología biológica y las ciencias aplicadas al deporte (1,2). En la actualidad, para el análisis de la composición corporal se cuenta con diversidad de modelos, métodos y técnicas que permiten su evaluación desde la forma más simple y práctica; el análisis de dos componentes masa grasa (MG) y masa libre de grasa (MLG) deno-

minada por algunos autores como masa magra, hasta el método clásico de disección de cadáveres que permite una cuantificación detallada de cada uno de los tejidos que constituyen el peso corporal (3,4).

La grasa corporal de depósito es uno de los componentes más ampliamente estudiados del cuerpo humano; ya que representa el resultado del balance energético y su incremento excesivo conduce a la obesidad, factor de riesgo para el desarrollo de enfermedades cardiovasculares (5,6). Por ello, la valoración de la composición corporal, y en especial la de los depósitos de

grasa de reserva, constituye un elemento clave en la evaluación y seguimiento de las intervenciones orientadas a la reducción del tejido adiposo, la recuperación nutricional o la ganancia de peso corporal.

En los últimos años se ha incrementado el número de métodos para estimar la composición corporal. El análisis de la impedancia bioeléctrica (BIA por sus siglas *Bioelectrical Impedance Analysis*) ha tenido un gran auge por ser un método económico, seguro, rápido y de fácil aplicación (4,7). Actualmente, hay en el mercado equipos para el BIA que difieren en el número de electrodos, intensidad, voltaje y frecuencia de la corriente eléctrica que generan. De igual forma, existen diferencias en la aplicación del método (posición del sujeto, ubicación de los electrodos, distancia entre ellos, etc.). Finalmente, estos equipos se están empleando para valorar hombres y mujeres de distintos grupos de edad, etnia y grado de actividad física, tanto en personas sanas como con diversas patologías (8, 9,10). Lo cual ha generado interrogantes acerca de la utilidad y validez del BIA, por ello, los Institutos Nacionales de Salud de los Estados Unidos (NIH por sus siglas *National Institutes of Health*) y la Sociedad Europea para la Nutrición Clínica y el Metabolismo (ESPEN por sus siglas *The European Society for Clinical Nutrition and Metabolism*) han efectuado encuentros de expertos para discutir la validez del método y elaborar directrices que permitan su estandarización (11,12,13). El

objetivo de éste artículo es presentar un resumen de los principios, aplicaciones y limitaciones del BIA para el estudio de la composición corporal en adultos, además, presentar las principales conclusiones y recomendaciones elaboradas por éstos grupos de expertos.

PRINCIPIOS DEL BIA

La impedancia es la oposición que ofrece un conductor al paso de la corriente eléctrica alterna, esta oposición en los sistemas biológicos se conoce como bioimpedancia (Z) y está compuesta por dos vectores; la resistencia (R) y la reactancia (X). La resistencia es la oposición "pura" del conductor al flujo de electrones y la reactancia es una oposición "adicional" del conductor que depende de su capacidad de almacenar energía (14).

En un cable de conducción de energía que tiene un área transversal uniforme, que esta compuesto de un material homogéneo y por ello tiene una resistividad específica constante, su volumen se puede calcular a partir de la oposición que presenta al flujo de la corriente eléctrica. Figura 1.

Para la aplicación del BIA tradicionalmente se emplea un equipo que genera una corriente eléctrica imperceptible menor de 1 miliamperio, a una frecuencia de 50 Khz. La conducción de la corriente eléctrica en el cuerpo humano ocurre a través de los electrolitos disueltos en los compartimientos acuosos del organismo, así los tejidos que contienen

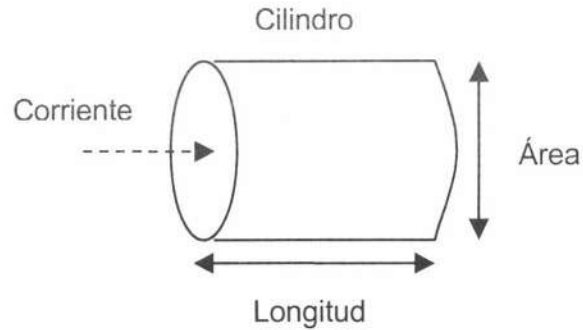


Figura 1. Modelo de cilindro que muestra la relación entre resistencia y volumen. En un cilindro de material homogéneo que tiene una resistividad específica constante (ρ) y un área transversal uniforme (A), la oposición que ofrece al paso de la corriente eléctrica (R) es directamente proporcional a su longitud (L) e inversamente proporcional a su área, $R=\rho L/A$. Así el volumen del conductor (V) es igual a $V=\rho L^2/R$, dado que $V=L \cdot A$.

mayor proporción de agua y electrolitos disueltos tales como las vísceras, el tejido muscular y la sangre, son buenos conductores de la corriente eléctrica, por el contrario el tejido graso y los espacios llenos de aire se oponen al paso de ésta (14,15). Así, la oposición al paso de la corriente eléctrica en el organismo es inversamente proporcional al contenido de agua corporal total (ACT) y de MLG (16).

En la aplicación del BIA a los seres humanos se asumen los siguientes supuestos, primero que el cuerpo puede ser modelado como un conductor cilíndrico de área transversal uniforme, y segundo, que este cilindro está compuesto de un material homogéneo y por ello tiene una resistividad específica constante (14,17). Sin embargo, la ecuación $V=\rho L^2/R$ como tal no se utiliza directamente en el BIA, en lugar de ello, se asumen estos supuestos para hallar un parámetro estadístico de utilidad en los seres humanos. Por ejemplo, la longitud del

conductor es reemplazada por la estatura del individuo para construir el índice de bioimpedancia (Estatura²/R) el cual se emplea como una variable independiente en un proceso de regresión estadística, usualmente, contra el ACT o la MLG (18). Dado que la forma de la figura humana difiere del modelo cilíndrico empleado en el BIA, algunos investigadores incluyen en sus ecuaciones de regresión otras variables como la edad, el sexo, el peso corporal, el grupo étnico e incluso algunos perímetros corporales, con el fin de mejorar la precisión y validez del método (8,19).

Para estimar la composición corporal el BIA emplea el modelo de dos componentes que fracciona el cuerpo humano en MG con una densidad promedio de 0,9007 g/mL y en MLG con una densidad promedio de 1,1000 g/mL. Este modelo asume una constante de hidratación de 0.73 para la MLG en un adulto eutrófico, lo cual permite su estimación a partir del ACT (3,20).

Las ecuaciones que utiliza el BIA se han desarrollado, principalmente, en poblaciones blancas europeas o en individuos norteamericanos blancos no hispánicos, los datos obtenidos en poblaciones latinoamericanas, negras y asiáticas son escasos (11,12). Es importante considerar que las ecuaciones derivadas de una población específica, sólo se deben utilizar en las personas que poseen características similares a ésta, especialmente en lo referente a la edad, el sexo, el grupo étnico y el grado de actividad física (11,12). Aunque los equipos de BIA traen incorporadas las ecuaciones para estimar la composición corporal, algunos de ellos generan, además, los valores de R, X e Z, lo cual hace posible aplicar ecuaciones diferentes que se ajusten mejor a las características de la población en estudio. La ESPEN ha publicado un listado de las principales ecuaciones derivadas desde 1990 para el BIA con sus características más sobresalientes en *Clin Nutr* 2004; 23:1226-1242.

TÉCNICAS EMPLEADAS

En la medición de la bioimpedancia se utilizan puntos anatómicos diferentes para la ubicación de los electrodos, este es un aspecto crítico del procedimiento que se debe estandarizar, dado que un desplazamiento de un centímetro en los mismos puede resultar en una variación del 2% de la resistencia (11). Por ello, se ha recomendado emplear la técnica validada por Hoffer, en la cual al sujeto en posición decubito supino se le colocan cuatro electrodos sobre el hemicuerpo derecho, dos distales, en la articulación metacarpofalángica y metatarsofalángica para la aplicación de la corriente eléctrica, y dos proximales, en la prominencia pisiforme de la muñeca y entre los maleolos medial y lateral del tobillo para la medición de la impedancia bioeléctrica. Otros puntos anatómicos empleados para la ubicación de los electrodos son las plantas de los pies y las palmas de las manos (21). Figura 2.

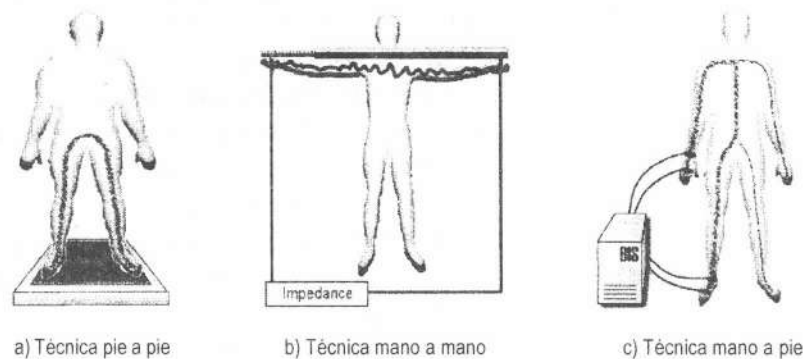


Figura 2. Ubicación de los electrodos y vía de la corriente eléctrica en el BIA. a) Técnica pie a pie; la corriente eléctrica fluye principalmente por el segmento inferior del cuerpo; b) Técnica mano a mano; la corriente eléctrica fluye principalmente por el segmento superior del cuerpo; c) Técnica mano a pie; la corriente eléctrica fluye principalmente por el hemicuerpo derecho. (Adaptado con autorización de Ellis K.J. Selected Body Composition Methods Can Be Used in Field Studies. *J Nutr* 2001;131:S1589-S1595).

Las principales críticas a la ubicación de los electrodos en las plantas de los pies se refieren a que estas presentan una mayor resistencia al paso de la corriente eléctrica, la cual es afectada por el grosor y la humedad de la piel; además, se han encontrado limitaciones de la técnica en cuanto a la sensibilidad para evaluar personas que presentan obesidad androide o una mayor acumulación de grasa en el segmento superior del cuerpo, ya que la corriente eléctrica sigue la vía de conducción más corta y esta región sería subvalorada (21,22). Limitaciones similares se señalan para la técnica mano a mano, en donde al contrario de la técnica pie a pie, la corriente eléctrica atraviesa principalmente el segmento superior y el inferior sería subvalorado (21).

Aunque la técnica mano a pie validada por Hoffer es la más recomendada de igual forma posee limitaciones, dado que la corriente eléctrica fluye más fácilmente por áreas transversales grandes como el tronco, la mayor resistencia es presentada por áreas transversales pequeñas como las extremidades; así el brazo y el antebrazo que contribuyen aproximadamente con el 4% del peso corporal pueden generar hasta el 45% de la resistencia total, por el contrario, el tronco que contribuye aproximadamente con el 45% del peso corporal puede generar menos aún del 14% de la resistencia total (11,13). Como se puede observar ésta técnica brinda un valor desproporcionado a las extremidades, por ello se han realizado estudios con

la aplicación del BIA por segmentos corporales, donde en lugar de analizar el cuerpo como un cilindro de área transversal uniforme, éste se aborda como la unión de cinco cilindros de áreas diferentes; dos extremidades superiores, dos inferiores y el tronco; aún no hay consenso para la ubicación de los electrodos ni de la forma de analizar los valores del BIA segmentario (13, 23, 24).

Los resultados del estudio de la composición corporal obtenidos en un mismo individuo o grupos de individuos con diferentes equipos de BIA no deben ser comparados entre sí; ya que puede haber diferencias significativas en las ecuaciones que éstos utilizan para estimar la composición corporal, especialmente en lo referente a las características de la población utilizada para diseñar la ecuación (edad, sexo, grupo étnico y grado de actividad física) y en el método de referencia empleado para la validación de la misma (18).

APLICACIONES Y LIMITACIONES DEL BIA

Las ecuaciones para estimar la composición corporal con el BIA son específicas de población, debido a que el contenido de ACT y de electrolitos de las personas es modificado por variables como la edad, el sexo, el grupo étnico y el grado de actividad física (11,13). Cuando se selecciona adecuadamente una ecuación y se aplica la técnica con rigurosidad, el BIA ha mostrado ser útil para estimar el

ACT y la composición corporal en adultos saludables, en personas con obesidad leve a moderada y en individuos con enfermedades que no alteran la homeostasis de los líquidos y electrolitos (12,13).

En pacientes con cirrosis hepática, trauma múltiple, enfermedades pulmonares, cardíacas o renales que generan ascitis, edema, sobrehidratación u otros disturbios hidroelectrolíticos, los resultados del BIA deben ser interpretados con cautela por la probable violación de sus supuestos. De igual forma, en los pacientes críticamente enfermos en los cuales hay modificaciones en la relación entre el ACT y la bioimpedancia y entre la proporción del ACT y la MLG, la validez del método ha sido cuestionada (13,25).

En los individuos obesos el agua y la masa corporal están ubicadas en una alta proporción en el tronco con relación a las extremidades, sin embargo, como el tronco contribuye poco a la impedancia corporal total, esta situación podría conducir a una estimación inadecuada de la composición corporal y de sus variaciones, cuando se aplican a sujetos obesos ecuaciones de BIA derivadas de poblaciones saludables. De igual forma, el BIA no parece ser de gran utilidad para medir los cambios a corto plazo en la composición corporal de los sujetos obesos que hacen dieta, probablemente por la pérdida desproporcionada de agua corporal en relación a la pérdida de MG (11).

A sí mismo, el BIA tiene aplicación limitada en poblaciones con fuertes asimetrías como amputaciones, semiparálisis y condiciones neuromusculares que producen cambios en la perfusión o atrofia de los tejidos corporales. Para superar estas limitaciones están en desarrollo otras aplicaciones del BIA como son los métodos multi-frecuencia, espectrometría de frecuencias y análisis de los vectores de R y X. Estas aplicaciones han mostrado ser de mayor utilidad bajo condiciones patológicas y además permiten estimar la distribución del ACT en los compartimientos intracelular y extracelular, pero aún se requiere mayor investigación, validación y estandarización de sus protocolos (15,25).

En el área del deporte ha habido un gran interés en el uso del BIA, dado que la composición corporal tiene un efecto significativo sobre el rendimiento deportivo. Sin embargo, la aplicación del método a los deportistas presenta algunas dificultades. Primero es necesario controlar variables como el grado de hidratación, la temperatura corporal, los depósitos de glucógeno y la actividad física reciente que modifican los resultados del BIA (26). Segundo, la necesidad de una ecuación específica diseñada para un grupo particular de deportistas que posea características similares en cuanto a la edad, el sexo, el peso, la estatura, la proporcionalidad y la composición corporal (27). Por ello, el BIA en el área deportiva es de mayor utilidad para la descripción de gru-

pos de deportistas que para el seguimiento y la evaluación individual de los cambios en la composición corporal (27).

Finalmente, dado que el BIA mide una propiedad del cuerpo humano que depende de la homeostasis de los líquidos y electrolitos corporales; la impedancia del organismo pue-

de ser modificada por variables como el consumo de alimentos y bebidas, la actividad física reciente, la temperatura y posición del cuerpo en el momento de realizar la prueba, entre otras. Por lo tanto, se deben estandarizar los protocolos y procedimientos para minimizar los errores en la medición (11, 12, 16).

Conclusiones

- El BIA ha demostrado ser válido para estimar la composición corporal en sujetos saludables que no presentan delgadez ni obesidad extrema, cuando se aplica una ecuación apropiada y se siguen los procedimientos estandarizados.
- Las ecuaciones que utiliza el BIA son específicas de cada población, por ello, sólo se deben aplicar a las personas que poseen características similares a la población de la cual fueron derivadas, especialmente en lo referente a la edad, el sexo, el grupo étnico y el grado de actividad física.
- La técnica recomendada para la aplicación de los electrodos es la validada por Hoffer, en la cual al sujeto en posición decubito supino se le colocan 4 electrodos sobre el hemicuerpo derecho, dos en la mano y dos en el pie.
- Las aplicaciones del BIA multifrecuencia, espectrometría de frecuencias y análisis de los vectores de resistencia y reactancia han mostrado ser de mayor utilidad bajo condiciones patológicas que el método tradicional de 50 kHz, pero aún se requiere mayor investigación y validación de éstas técnicas.
- El BIA es afectado por un sinnúmero de variables que modifican o alteran el balance de los líquidos y electrolitos, por ello es indispensable seguir los protocolos estandarizados para obtener resultados confiables.
- El BIA no parece ser de gran utilidad para medir los cambios a corto plazo en la composición corporal de los sujetos obesos que hacen dieta, probablemente por la pérdida desproporcionada de agua corporal en relación a la pérdida de MG.

15. Buchholz A, Bartok C, Schoeller. The validity of Bioelectrical Impedance Models in Clinical Populations. *Clin Nutr* 2004;19:433-446.
16. Guaaldi-Russo E, Toselli S. Influence of various factors on the measurement of multifrequency bioimpedance. *Homo* 2002;53:1-16.
17. Lukaski HC. Methods for the assessment of human body composition. *Am J Clin Nutr* 1987; 46: 537-56.
18. Heymsfield SB, Wang Z, Visser M, Gallagher S, Pierson RN. Techniques used in the measurement of body composition: an overview with emphasis on bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 1996;64(3):S478-S484.
19. Stolarczyk LM, Heyward VH, Hicks VL, Baumgartner RN. Predictive accuracy of bioelectrical impedance in estimating body composition of Native American Woman. *Am J Clin Nutr* 1994;59:964-970.
20. Wang Z, Deurenberg P, Wang W, Pietrobelli A, Baumgartner RN, Heymsfield S. Hydration of fat-free body mass: review and critique of a classic body-composition constant. *Am J Clin Nutr* 1999;69:833-84.
21. Ellis KJ. Selected Body Composition Methods Can Be Used in Field Studies. *J Nutr* 2001;131:1589S-1595S.
22. Núñez CH, Gallagher D, Visser M, Pisunyer F, Wang Z, Heymsfield SB. Bioimpedance analysis: evaluation of leg-to-leg system based on pressure contact foot-pad electrodes. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29:524-531.
23. Baumgartner RN, Chumlea WC, Roche AF. Estimation of body composition from bioelectrical impedance of body segments. *Am J Clin Nutr* 1989;50:221-226.
24. Thomas BJ, Cornish BH, Ward LC, Patterson MA. A comparison of segmental and wrist-to-ankle methodologies of bioimpedance analysis. *Applied Radiation and Isotopes* 1998;49:477-478.
25. Cox-Reijven P, Van Krell B, Soeters PB. Bi-electrical impedance spectroscopy: Alternatives for the conventional hand-to-foot measurements. *Clin Nutr* 2002;21:127-133.
26. Hodgdon JA, Friedl KE, Beckett MB, Westphal KA, Shippee RL. Use of bioelectrical impedance analysis measurements as predictors of physical performance. *Am J Clin Nutr* 1996;64(3):S463-S468.
27. Segal KR. Use of bioelectrical impedance analysis measurements as an evaluation for participating in sports. *Am J Clin Nutr* 1996;64(3):S469-S471.