

**Parámetros bioeléctricos *in vitro* e *in vivo*, estimados con los analizadores Bodystat® 1500-MDD y BioScan® 98**

**Bioelectrical parameters *in vitro* and *in vivo* estimated with analyzers Bodystat® 1500-MDD and BioScan® 98**

**MsC. Alcibíades Lara Lafargue,<sup>I</sup> Dr.C. Luis Enrique Bergues Cabrales,<sup>I</sup>  
MsC. Manuel Verdecia Jarque,<sup>II</sup> Ing. Yanetsy Laurencio Martínez<sup>III</sup> y Lic.  
Yadenis Ortega Díaz<sup>I</sup>**

<sup>I</sup> Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

<sup>II</sup> Hospital Infantil Sur, Santiago de Cuba, Cuba.

<sup>III</sup> Departamento de Ingeniería Biomédica, Facultad de Eléctrica, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

**RESUMEN**

Se efectuó un estudio comparativo de 2 analizadores comerciales de bioimpedancia eléctrica corporal (Bodystat®1500-MDD y BioScan®98) en el Servicio de Oncopediatría del Hospital Infantil Sur de Santiago de Cuba, desde septiembre hasta octubre del 2009, para lo cual se realizó una simulación *in vitro* con los calibradores de cada equipo y un estudio *in vivo* de 32 adultos aparentemente sanos y 32 niños con diferentes afecciones. La resistencia eléctrica y la reactancia capacitiva se estimaron con ambos analizadores; además, se calcularon el módulo de impedancia y el ángulo de fase. La prueba t-student de 2 medias para muestras apareadas y el método de Bland-Altman fueron los criterios estadísticos usados. No existieron diferencias significativas entre ambos analizadores al introducir los factores de corrección para la resistencia eléctrica y la reactancia capacitiva; por tanto, es posible usarlos indistintamente para caracterizar bioeléctricamente a los individuos aparentemente sanos y pacientes con diferentes enfermedades.

**Palabras clave:** bioimpedancia eléctrica, Bodystat®1500-MDD, BioScan®98, método de Bland-Altman, Servicio de Oncopediatría, atención secundaria de salud.

**ABSTRACT**

A controlled trial with 2 body electrical impedance commercial analyzers was carried out (Bodystat®1500-MDD and BioScan®98) at the Pediatric Oncology Department of the Southern Children Hospital in Santiago de Cuba, from September to October 2009, for which an *in vitro* simulation with gauges of each device and an *in vivo* study in 32 apparently healthy adults and 32 children with different conditions were conducted. Electrical resistance and capacitive reactance were estimated with both analyzers, and impedance module and phase angle were also calculated. The two-means Student's t test for paired samples and the Bland-Altman method were used as statistical criteria. There were not significant differences between the two analyzers by introducing correction factors for electrical resistance and capacitive reactance; therefore, it is

possible to use either to characterize bioelectrically apparently healthy individuals and patients with different conditions.

**Key words:** electrical bioimpedance, Bodystat® 1500-MDD, BioScan®98, Bland-Altman method, Pediatric Oncology Department, secondary health care.

## INTRODUCCIÓN

La bioimpedancia eléctrica (BIA) es un método que permite medir los parámetros bioeléctricos en sistemas biológicos, debido a la estrecha relación de estos con los fisiológicos del tejido. Su principio físico consiste en la oposición que ofrece un tejido biológico al paso de la corriente eléctrica alterna por este. Los parámetros bioeléctricos que se estiman son la resistencia eléctrica,  $R$  (en ohm), y la reactancia capacitiva,  $X_c$  (en ohm). A partir de  $R$  y  $X_c$  se calculan el módulo de impedancia eléctrica,  $|Z|$  (en ohm) y el ángulo de fase,  $\theta$  (en grados), mediante  $|Z| = \sqrt{(R^2 + X_c^2)}$  y  $\theta = \text{tg}^{-1}(X_c / R)$ , respectivamente.<sup>1,2</sup>

En medicina, el método BIA se ha utilizado para el monitoreo de los aparatos respiratorios (frecuencia y arritmias respiratorias, agua extravascular pulmonar), cardiovascular (gasto cardiaco) y del sistema nervioso central (circulación cerebral, procesos isquémicos), así como la estimación del agua corporal total y sus compartimentos (aguas intracelular, extracelular y del tercer espacio), la composición corporal (masa magra, masa grasa e índice de masa corporal) en sujetos aparentemente sanos, y enfermos con diferentes afecciones. Lo anterior es posible, debido a que algunos de estos parámetros biológicos se relacionan con  $R$  y  $X_c$ , por medio de ecuaciones de estimación, propuestas por diferentes autores.<sup>3-10</sup>

A pesar de que el método BIA es eficaz, no invasivo y de bajo costo, una de sus problemáticas es la no estandarización de los parámetros bioeléctricos estimados por los diferentes analizadores existentes (Bodystat, Quadscan 4000, BioScan, RJL, Xitron, IS 4000, HYDRA ECF/ICF 4200, Hydral-4000B, Holtain, EZcomp).<sup>11-14</sup> En la comparación entre estos analizadores se han informado diferencias significativas de hasta 6 %, excepto entre el Bodystat y el RJL ( $\leq 0,6$  %).<sup>7</sup> Consecuentemente se produce la diversidad de valores de  $R$  y  $X_c$ , notificados con estos equipos.

Los investigadores prestan especial atención al establecimiento de un sistema de calidad confiable y reproducible, que permita la estimación correcta de los parámetros bioeléctricos para su estandarización y que los parámetros biológicos estimados a partir de ellos no difieran significativamente, lo cual es trascendente para la estimación e interpretación correctas de los parámetros bioeléctricos y biológicos en individuos aparentemente sanos y pacientes con diversas afecciones. De no tenerse en cuenta lo anterior, pudieran realizarse falsas interpretaciones de dichos parámetros y consecuentemente, el diagnóstico, pronóstico y conducta terapéutica serían erróneos.

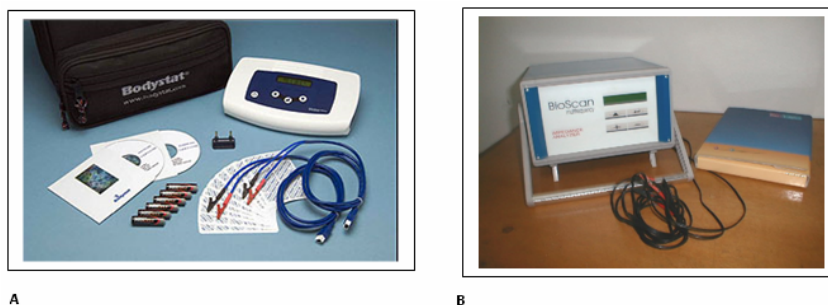
Con este artículo se pretende comparar los analizadores Bodystat®1500 MDD y BioScan®98 mediante la estimación de  $R$ ,  $X_c$ ,  $|Z|$  y  $\theta$ , en simulaciones *in vitro* (uso de calibradores de cada fabricante) y en estudios *in vivo* (adultos aparentemente sanos y niños con diferentes afecciones).

## MÉTODOS

Se efectuó un estudio comparativo de 2 analizadores comerciales de bioimpedancia eléctrica corporal (Bodystat<sup>®</sup>1500-MDD y BioScan<sup>®</sup>98), desde septiembre hasta octubre del 2009, para lo cual se realizó una simulación *in vitro* con los calibradores de cada equipo y un estudio *in vivo* de 32 adultos aparentemente sanos y 32 niños con diferentes afecciones.

Los detalles y procedimientos de esta investigación aparecen en: Martínez YL. Comparación de los analizadores Bodystat<sup>®</sup>1500 MDD y BioScan<sup>®</sup>98 mediante la medición de los parámetros bioeléctricos. [Trabajo de Diploma]. 2010. Facultad de Ingeniería Eléctrica, Especialidad Ingeniería Biomédica. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba. Los equipos utilizados fueron el Bodystat<sup>®</sup>1500-MDD y BioScan<sup>®</sup> 98 (figura). El Bodystat<sup>®</sup>1500-MDD mide las frecuencias de 5 y 50 kHz, mientras el BioScan<sup>®</sup>98 en el rango de 1 a 225 kHz. Ambos analizadores tienen una amplitud de la corriente de salida de 800  $\mu$ A y se comparan en 50 kHz. Previamente, el equipo BioScan<sup>®</sup>98 fue corregido mediante la introducción de los factores de corrección para R (14,7  $\Omega$ ) y Xc (22  $\Omega$ ), y también se le realizó un estudio de variación de sus parámetros en el tiempo.<sup>11</sup>

Un solo operario se entrenó para realizar todas las mediciones con ambos equipos, los cuales se calibraron antes de cada medición (con sus respectivos calibradores o circuito eléctrico patrón).



A

B

**Fig.** Analizadores de bioimpedancia eléctrica

A) Equipo Bodystat<sup>®</sup>15-MDD. Firma Bodystat, EE.UU.

Disponible en: <http://www.bodystat.com/products/1500mdd.php>

B) Equipo BioScan<sup>®</sup>98. Biológica Tecnología Médica SL, BL\_960141, Barcelona, España.

Disponible en: <http://www.bl-biologica.es>

### Simulaciones *in vitro*

Las mediciones se realizaron en el Servicio de Oncopediatría del Hospital Pediátrico Infantil Sur de Santiago de Cuba. Los valores de R y Xc se midieron en los calibradores del equipo Bodystat<sup>®</sup>1500-MDD (puramente resistivo y precisión de 0,1 %) y del equipo BioScan<sup>®</sup>98 (resistivo-capacitivo y precisión 0,1 %). También, se hizo un estudio del comportamiento temporal de los 2 equipos, mediante R, Xc, |Z| y  $\theta$ , en estos 2 calibradores (medidos cada 5 min, durante 45 min). Los valores de los parámetros eléctricos de dichos calibradores y ambos equipos, emitidos por cada fabricante, fueron verificados en la Oficina Territorial de Normalización de Santiago de Cuba.

En lo sucesivo, los parámetros bioeléctricos estimados con el Bodystat®1500-MDD se denominaron  $R_{\text{Bodystat}}$ ,  $X_{C_{\text{Bodystat}}}$ ,  $|Z|_{\text{Bodystat}}$  y  $\theta_{\text{Bodystat}}$ , respectivamente. Asimismo, los estimados con el BioScan®98 fueron  $R_{\text{BioScan}}$ ,  $X_{C_{\text{BioScan}}}$ ,  $|Z|_{\text{BioScan}}$  y  $\theta_{\text{BioScan}}$ .

- Mediciones *in vivo*

Las mediciones *in vivo* también se realizaron en el Servicio de Oncopediatría de dicho hospital; garantizaron el cumplimiento de la regla de las 3R (reducción, repetitividad y reproducibilidad) y las buenas prácticas tanto clínicas como médicas. Se efectuaron teniendo en cuenta las normas éticas de la Declaración de Helsinki, la cual se conoce por la Asociación Médica Mundial como un cuerpo de principios éticos que guían a la comunidad médica, y a otras personas dedicadas a la experimentación con seres humanos.<sup>15</sup>

Antes de realizar este estudio se elaboró un protocolo de investigación clínica, que fue aprobado por el Consejo Científico y Comité de Ética del Hospital Pediátrico Sur Docente y el Instituto Superior de Ciencias Médicas. En este protocolo participaron investigadores del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Departamento de Ingeniería Biomédica y del Servicio de Oncopediatría del Hospital Infantil Sur.

Las mediciones en los adultos aparentemente sanos y enfermos, previa coordinación y autorización, comenzaron cuando estos dieron su aprobación para participar en el estudio y firmaron el consentimiento informado, mediante el cual se les informó cuáles eran los objetivos y fines de esta investigación; se les orientó que estuvieran en ayuno (2 horas como mínimo) previo a las mediciones, con la vejiga vacía y que no debían practicar ningún ejercicio físico durante las 12 horas anteriores. En el caso de los niños, el padre (o tutor) firmó dicho consentimiento.

Asimismo, la medición de los parámetros bioeléctricos se hizo en 32 sujetos aparentemente sanos (14 hombres y 18 mujeres, entre 19 y 65 años de edad) y en 32 niños con diferentes afecciones (18 niños y 14 niñas, entre 3 y 15 años). Los adultos eran voluntarios del CNEA y los niños provenían del Servicio de Miscelánea de dicho hospital. Estos voluntarios sanos y enfermos de diferentes edades, tallas, sexos, pesos y colores de la piel se seleccionaron a expreso para comparar los 2 analizadores en situaciones extremas donde existía gran variabilidad de los parámetros bioeléctricos, y para conocer los factores de corrección máximos para  $R$  y  $X_c$  que se debían introducir al Bodystat®1500-MDD. Cabe señalar que en este estudio no era de interés evaluar cómo los parámetros bioeléctricos cambiaban por sexo, grupo etario y tipo de afección.

De igual modo, las mediciones de los parámetros bioeléctricos en pacientes con cáncer infanto-juvenil se realizaron por la persona adiestrada, todos los lunes en horas de la mañana, en un local a temperatura ambiente ( $30 \pm 2$  °C) y humedad ambiental entre 60 y 65 %, libre de equipos generadores de campo y radiaciones electromagnéticas (ambiente neutro).

El interrogatorio y examen físico estuvieron a cargo del mismo personal paramédico, que a su vez realizaron y midieron la talla a 0,5 cm más cercano y el peso a 0,5 kg más cercano, en una balanza SMIC Health Scale, de fabricación china, que poseía un margen de error de  $\pm 0,1$  cm y  $\pm 0,5$  kg, respectivamente.

Posteriormente, se colocaron los pacientes sin prendas, en decúbito supino sobre una superficie no conductora, sin almohada bajo la cabeza, con los brazos separados 30°

del tórax y las piernas separadas en ángulo de 45° sin contacto entre ellas, por lo menos de 5 a 10 minutos, para distribuir de forma homogénea los fluidos corporales. El tiempo de medición fue de 2 minutos.

Los electrodos de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl) con una superficie mayor de 4 cm<sup>2</sup>, similares a los empleados en electrocardiografía, se ubicaron cuidadosamente en la piel de forma tal que garantizaran una adecuada conducción eléctrica. El método tetrapolar se utilizó para minimizar la impedancia por contacto entre la piel y los electrodos. Estos electrodos se colocaron luego de limpiar la piel con alcohol a 70 %; los de inyección fueron ubicados en posición medial de las superficies dorsales de las manos y de los pies, próximas a la tercera articulación metacarpo y metatarsal.

Por otra parte, los electrodos detectores se ubicaron entre las epífisis distales del radio y del cubito, al nivel de la eminencia pisciforme, así como en el punto medio entre ambos maléolos, respectivamente. La distancia entre los electrodos inyectoros y detectores fue de 5 cm; 2 electrodos sensores se aplicaron en la prominencia pisiforme de la muñeca y entre el maléolo medial y lateral del tobillo, posición que, a partir de ese momento, se denominó estándar. Al estudiar el efecto de la posición de los electrodos en la R y Xc, se encontró que una colocación ipsilateral (brazo derecho/pierna derecha o brazo izquierdo/pierna izquierda) y contralateral (brazo derecho/pierna izquierda o brazo izquierdo/ pierna derecha) produjo una diferencia media de R menor de 1,7 %. La R corporal total más baja se obtuvo en la posición ipsilateral derecha; hecho que se explica probablemente por diferencias en la masa muscular.<sup>1-3,11</sup>

Los resultados se expresaron como media y desviación estándar (error estándar de la media). Las diferencias entre los parámetros bioeléctricos estimados con ambos analizadores, se evaluaron con la prueba t-student para muestras pareadas, con un nivel de significación de 5 %.

El criterio de Bland-Altman se utilizó para comparar ambos equipos, teniendo en cuenta los resultados del estudio *in vivo* y el conocimiento de los factores de corrección que debían ser introducidos al Bodystat® 1500-MDD. Este criterio se utilizó para los grupos: I (adultos aparentemente sanos, N= 32), II (niños con diferentes afecciones, N = 32) y III (individuos de los grupos I y II, N = 64). El tercer grupo se conformó para que la muestra fuera más heterogénea y se pudieran conocer los factores de corrección máximos para R y Xc.

Toda la información sobre el paciente, aunque podía ser revisada por otros investigadores, autoridades hospitalarias y regulatorias estatales o quienes estas designaran, no fue publicada en ningún caso. Su identidad no fue revelada en ninguna publicación científica. La información se conservó durante 15 años por el grupo cubano de bioelectricidad.

Para el procesamiento de la información se emplearon planillas de recogidas de datos, y se creó una base de datos en el programa Microsoft Excel. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SPSS para Windows®, versión 11.5.1. (SPSS Inc.) (2002).

## RESULTADOS

Las medias y las desviaciones estándar (errores estándar de la media) de  $R$ ,  $X_c$ ,  $|Z|$  y  $\theta$  estimados con ambos equipos y el calibrador del Bodystat® 1500-MDD, para 10 mediciones, revelaron que:  $|Z|_{\text{Bodystat}} = 500,80 \pm 0,42 (0,13) \Omega$ ,  $R_{\text{Bodystat}} = 500,70 \pm 0,48 (0,11) \Omega$ ,  $X_{c\text{Bodystat}} = 0,40 \pm 0,19 (0,06) \Omega$  y  $\theta_{\text{Bodystat}} = 0,04 \pm 0,05 (0,02)^\circ$ ; sin embargo,  $|Z|_{\text{BioScan}} = 496,50 \pm 0,85 (0,27) \Omega$ ,  $R_{\text{BioScan}} = 495,60 \pm 0,67 (0,22) \Omega$ ,  $X_{c\text{BioScan}} = 35,00 \pm 0,00 (0,00) \Omega$  y  $\theta_{\text{BioScan}} = 4,90 \pm 0,00 (0,00)^\circ$ . Las diferencias de las medias (la diferencia en porcentajes, la probabilidad) del Bodystat® 1500 MDD respecto al BioScan para  $|Z|$ ,  $R$ ,  $X_c$  y  $\theta$ , fueron de  $4,30 \Omega (0,87 \%, p = 0,00)$ ,  $5,10 \Omega (1,03 \%, p = 0,00)$ ,  $- 34,60 \Omega (98,85 \%, p = 0,00)$ ,  $- 4,86^\circ (99,18 \%, p = 0,00)$ , respectivamente. El análisis de los resultados indicó una correlación baja entre estos pares ( $r \leq - 0,395$ ).

Asimismo, las medias y desviaciones estándar (errores estándar de la media) de  $R$ ,  $X_c$ ,  $|Z|$  y  $\theta$  estimados con ambos equipos y el calibrador del BioScan®98, para 10 mediciones, revelaron que:  $|Z|_{\text{Bodystat}} = 588,90 \pm 0,10 (0,32) \Omega$ ,  $R_{\text{Bodystat}} = 536,70 \pm 0,15 (0,48) \Omega$ ,  $X_{c\text{Bodystat}} = 242,15 \pm 0,08 (0,24) \Omega$  y  $\theta_{\text{Bodystat}} = 24,29 \pm 0,01 (0,03)^\circ$ ; no obstante,  $|Z|_{\text{BioScan}} = 667,50 \pm 0,22 (0,71) \Omega$ ,  $R_{\text{BioScan}} = 667,40 \pm 0,31 (0,97) \Omega$ ,  $X_{c\text{BioScan}} = 216,60 \pm 0,16 (0,52) \Omega$  y  $\theta_{\text{BioScan}} = 20,36 \pm 0,03 (0,11)^\circ$ . Además, las diferencias de las medias (la diferencia en porcentajes, la probabilidad) del Bodystat® 1500-MDD respecto al BioScan® 98 para  $|Z|$ ,  $R$ ,  $X_c$  y  $\theta$ , fueron de  $- 78,60 \Omega (11,78 \%, p = 0,00)$ ,  $- 130,70 \Omega (1,03 \%, p = 0,00)$ ,  $25,60 \Omega (11,82 \%, p = 0,00)$ ,  $3,93^\circ (19,26 \%, p = 0,00)$ , respectivamente. El análisis estadístico reveló una correlación baja entre estos pares ( $r \leq - 0,445$ ).

En las tablas 1 y 2 se muestran las medias y desviaciones estándar (errores estándar de la media) de  $R$ ,  $X_c$ ,  $|Z|$  y  $\theta$  estimados en 32 sujetos aparentemente sanos y en 32 pacientes con afecciones diferentes, respectivamente. Los resultados de la tabla 1 revelaron que las diferencias de las medias (la diferencia en porcentajes, la probabilidad) del Bodystat® 1500-MDD respecto al BioScan® 98 para  $|Z|$ ,  $R$ ,  $X_c$  y  $\theta$  fueron  $- 6,88 \Omega (1,27 \%, p = 0,03)$ ,  $- 5,97 \Omega (1,11 \%, p = 0,14)$ ,  $- 25,71 \Omega (31,74 \%, p = 0,00)$  y  $- 3,07^\circ (33,37 \%, p = 0,00)$ , respectivamente. El análisis de los resultados mostró una alta correlación para  $|Z|$  ( $r = 0,986$ ),  $R$  ( $r = 0,978$ ) y  $\theta$  ( $r = 0,938$ ), y baja para  $X_c$  ( $r = 0,782$ ).

Se realizó un análisis similar en niños con diferentes enfermedades (tabla 2) y se obtuvo que las diferencias de las medias (la diferencia en porcentajes, la probabilidad) del Bodystat® 1500-MDD respecto al BioScan®98 para  $|Z|$ ,  $R$ ,  $X_c$  y  $\theta$  fueron:  $- 19,00 \Omega (2,70 \%, p = 0,02)$ ,  $- 19,56 \Omega (2,75 \%, p = 0,00)$ ,  $- 54,05 \Omega (45,65 \%, p = 0,01)$ ,  $- 3,13^\circ (37,26 \%, p = 0,00)$ , respectivamente. El análisis estadístico reveló una alta correlación para  $|Z|$  ( $r = 0,937$ ),  $R$  ( $r = 0,982$ ) y  $\theta$  ( $r = 0,792$ ), y baja para  $X_c$  ( $r = 0,193$ ).

**Tabla 1.** Media, desviación estándar y error estándar de la media para los pares de parámetros bioeléctricos en adultos aparentemente sanos

Pares de parámetros bioeléctricos		Número de muestra	Media ( $\Omega$ )	Error estándar( $\Omega$ )	Desviación estándar( $\Omega$ )
Z	Z  <sub>Bodystat</sub>	32	535,53	18,33	103,67
	Z  <sub>BioScan</sub>	32	542,41	18,39	104,01
R	R <sub>Bodystat</sub>	32	529,81	18,49	104,61
	R <sub>BioScan</sub>	32	535,78	18,37	103,93
Xc	Xc <sub>Bodystat</sub>	32	55,32	1,37	7,74
	Xc <sub>BioScan</sub>	32	81,03	2,03	11,48
$\theta$	$\theta$ <sub>Bodystat</sub>	32	6,10	0,19	1,11
	$\theta$ <sub>BioScan</sub>	32	9,18	0,16	0,89

**Tabla 2.** Media, desviación estándar y error estándar de la media de los pares de parámetros bioeléctricos en niños con diferentes afecciones

Pares de parámetros bioeléctricos		Número de muestra	Media ( $\Omega$ )	Error estándar( $\Omega$ )	Desviación estándar( $\Omega$ )
Z	Z  <sub>Bodystat</sub>	32	680,66	22,79	128,90
	Z  <sub>BioScan</sub>	32	699,66	21,61	122,25
R	R <sub>Bodystat</sub>	32	684,09	20,87	118,04
	R <sub>BioScan</sub>	32	703,66	20,78	117,56
Xc	Xc <sub>Bodystat</sub>	32	62,67	2,11	11,94
	Xc <sub>BioScan</sub>	32	116,72	19,54	110,55
$\theta$	$\theta$ <sub>Bodystat</sub>	32	5,29	0,18	0,99
	$\theta$ <sub>BioScan</sub>	32	8,42	0,13	0,74

La tabla 3 muestra las diferencias entre R y Xc estimados con ambos equipos, mediante el uso del método Bland-Altman para los 3 grupos de poblaciones y los valores de R y Xc obtenidos de los 2 analizadores sin corrección (BioScan<sup>®</sup>98 corregido y Bodystat<sup>®</sup>1500-MDD no corregido), así como de ambos equipos corregidos. El análisis estadístico se realizó para R y X<sub>c</sub>, puesto que |Z| y  $\theta$  se calcularon a partir de estos 2 parámetros bioeléctricos. Además, se muestran los factores de corrección que debían introducirse al Bodystat<sup>®</sup>1500-MDD (- 3  $\Omega$  para R y + 9  $\Omega$  para X<sub>c</sub>).

**Tabla 3.** Método de Bland-Altman para comparar los analizadores Bodystat® 1500-MDD y BioScan®98 en los 3 grupos de poblaciones

Grupos de poblaciones	Resultados del método de Bland-Altman									
	PB	Media *	95 %	CI	Media **	95	CI	Media ***	95 %	CI
I	R ( $\Omega$ )	6	-50	38	9	-35	53	6	-38	50
	X <sub>c</sub> ( $\Omega$ )	-26	-40	-11	-4	-18	11	5	-10	19
II	R ( $\Omega$ )	-20	-65	24	-2	-48	43	-5	-51	40
	X <sub>c</sub> ( $\Omega$ )	-55	-276	166	-14	-36	9	-5	-27	17
III	R ( $\Omega$ )	-13	-59	33	3	-42	49		-45	45
	X <sub>c</sub> ( $\Omega$ )	-40	-197	117	-9	-29	12		-21	21

Grupo I (adultos aparentemente sanos, N = 32), Grupo II (niños enfermos con diferentes afecciones, N = 32), Grupo III (formado por los sujetos de los grupos I y II, N= 64), PB (Parámetros bioeléctricos) y CI (Intervalo de confianza)

\*Bodystat®1500-MDD y BioScan®98 no corregidos

\*\*Bodystat®1500-MDD no corregido y BioScan®98 corregido

\*\*\*Bodystat®1500-MDD y BioScan®98 corregidos

## DISCUSIÓN

En este estudio se compararon el Bodystat®1500-MDD y el BioScan®98 por medio de R, X<sub>c</sub>, |Z| y  $\theta$  obtenidos de las simulaciones *in vitro* y mediciones en adultos aparentemente sanos y en niños con diferentes afecciones (estudios *in vivo*). Los resultados muestran que estos 2 analizadores se diferencian significativamente cuando sus parámetros bioeléctricos no son corregidos. Diferentes causas pueden explicar estas discrepancias, tales como fuentes de error o incertidumbre (parámetro asociado al resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores), diferencias en el diseño de estos 2 analizadores (en cuanto a la precisión y calidad de los componentes eléctricos que se usan), interacción de los analizadores con los voluntarios (presencia de capacitancias parásitas, la impedancia de la piel-electrodo y características específicas de cada uno de los analizadores en el proceso de medición), acoplamiento capacitivo del voluntario y del analizador con la tierra, diferencia en las longitudes de los cables y otros errores que existen sobre los que no han ejercido ningún control, lo cual concuerda con otras investigaciones.<sup>12-14</sup> Es importante señalar que los errores aleatorios no influyeron significativamente en los resultados.

Aunque los resultados no se muestran, en esta investigación se hizo un experimento colateral donde se corroboró que una mala adherencia y envejecimiento de los electrodos, y/o una ubicación incorrecta de los mismos causan también errores en la medición de los parámetros bioeléctricos. Además, un desplazamiento de estos entre 1 y 2 cm produce una variación de la R en 2 % adicional, lo cual coincide con obtenido por otros investigadores<sup>1-3,11</sup> Cabe agregar que estos 2 aspectos son de vital importancia para garantizar la exactitud, repetibilidad y reproducibilidad de los resultados.

También se demostró que entre estos 2 analizadores no existen diferencias significativas cuando se introducen sus respectivos factores de corrección para R y X<sub>c</sub>. De la comparación de los mismos resultó que los valores de R y X<sub>c</sub> estimados con el Bodystat®1500-MDD deben ser corregidos con -3 y +9  $\Omega$ , respectivamente. Esto certifica que los 4 parámetros bioeléctricos estimados con el Bodystat®1500-MDD y el BioScan®98 sean los mismos valores y también los diferentes parámetros biológicos que se estimen a partir de R y X<sub>c</sub>, mediante el uso de sus respectivas ecuaciones de



estimación. Este aspecto tiene gran relevancia en el orden clínico porque estos 2 analizadores pueden usarse indistintamente para estimar tanto los parámetros bioeléctricos y biológicos en sujetos aparentemente sanos y/o en pacientes con diferentes afecciones.

Lo anterior abre la posibilidad de usar ambos equipos en la estimación de diferentes parámetros de la composición corporal y del balance hidromineral en sujetos aparentemente sanos y enfermos, como se notifica en otros estudios.<sup>16-19</sup>

A partir de estos resultados, el Bodystat®1500-MDD se emplea en la estimación de los parámetros bioeléctricos y biológicos en niños con cáncer (tumores sólidos y no sólidos) y enfermedades genéticas (monogénicas, cromosómicas y multifactoriales).

Existen diferencias significativas entre los parámetros bioeléctricos estimados con el Bodystat®1500-MDD y el BioScan®98 cuando no son corregidos, no así cuando se les introducen sus respectivos factores de corrección para la resistencia eléctrica y la reactancia capacitiva, aspecto de relevancia para que se puedan utilizar indistintamente en voluntarios aparentemente sanos y en pacientes con diferentes afecciones.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores de este artículo agradecen al Ing. Antonio Gómez Yépez (Grupo de Terapia Metabólica, Veracruz, México), por la donación del Bodystat® 1500-MDD; al Dr. Xavier Rosell (Universidad Politécnica de Cataluña, España), por donar el BioScan®98. También se desea agradecer la valiosa ayuda de la Dra. Ana Ibis Nuñez Bourón, la Ing. Maelis González Castillo, las enfermeras del Servicio de Oncopediatría del Hospital Infantil Sur y a los miembros del grupo de bioelectricidad.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Piccoli A. Bioelectric impedance measurement for fluid status assessment. *Contrib Nephrol.* 2010;164:143-52.
2. Oshima Y, Shiga T, Namba H, Kuno S. Estimation of whole-body skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis in the standing position. *Obesity Research & Clinical Practice.* 2010;4(1):e1-e7.
3. Murphy A, White M, Davies P. Body composition of children with cancer. *AM J Clin Nutr.* 2010;92(1):55-60.
4. Sonati J, Modeneze D, Vilarta R. Body weight as an indicator of fat-free man in active elderly women. *Ther Apher Dial.* 2011;15:58-65.
5. Zollinger BL, Farrow RL, Lawrence TE, Latman NS. Prediction of beef carcass salable yield and trimmable fat using bioelectrical impedance analysis. *Meat Sci.* 2010;84(3):449-54.
6. Ros Nogales R, Manso Gil MT, Palacios García G, Rodríguez Peña J. Bioimpedancia vectorial y espectroscópica: valoración del estado de hidratación con ambos métodos en hemodiálisis. *Enferm Nefrol.* 2013;16(1):7-14.

7. L'Abée C, Poorts-Borger PH, Gorter EH, Piccoli A, Stolk RP, Sauer PJ. The bioelectrical impedance vector migration in healthy infants. *Clin Nutr.* 2010;29(2):222-6.
8. Moncada ME, Saldarriaga MP, Bravo AF, Pinedo CR. Medición de impedancia eléctrica en tejido biológico. *Rev Tecnológicas.* 2010;25:51-76.
9. Sánchez Jaeger A, Barón MA. Uso de la bioimpedancia eléctrica para la estimación de la composición corporal en niños y adolescentes. *An Venez Nutr.* 2009;22:105-10.
10. Cigarrán Guldrís S. Aplicaciones futuras de la bioimpedancia vectorial (BIVA) en nefrología. *Nefrología.* 2011;31(6):6-10.
11. Lafargue AL, Cardonne MM, Bonne JC, Larramendi RM, Montoya AR, Bourón AIN. Methodology to the verification and correction of electrical bioimpedance devices. 7 International Symposium "Metrology 2008";2008 May 27-29; Havana, Cuba. p. 225-32.
12. Smye SW, Sutcliffe J, Pitt E. A comparison of four commercial systems used to measure whole-body electrical impedance. *Physiol Meas.* 1993;14(4):473-8.
13. Smith DN. Comments on "A comparison of four commercial systems used to measure whole-body electrical impedance". *Physiol Meas.* 1994;15(2):231-4.
14. Patterson RP, Latterel T. Evaluations of a commercial impedance spectroscopy instrument inaccuracies and their corrections. *Proceedings 17<sup>th</sup> Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* [CD-ROM 341]. Montreal; 1995.
15. Willian J. The Declaration of Helsinki and public health. *Bulletin of the World Health Organization.* 2008;86(8).
16. Alvero Cruz JR, Correas Gómez L, Ronconi M, Fernández Vázquez R, Porta i Manzañido J. La bioimpedancia eléctrica como método de estimación de la composición corporal: normas prácticas de utilización. *Rev Andal Med Deporte.* 2011;4(4):167-74.
17. Rieken R, Calis EA, Tibboel D, Evenhuis HM, Penning C. Validation of skinfold measurements and bioelectrical impedance analysis in children with severe cerebral palsy: A review. *Clin Nutr.* 2010;29(2):217-21.
18. Valenzuela Landaeta K, Rojas P, Basfi-fer K. Evaluación nutricional del paciente con cáncer. *Nutr Hosp.* 2012;27(2):516-23.
19. López Gómez JM. Evolución y aplicaciones de la bioimpedancia en el manejo de la enfermedad renal crónica. *Nefrología.* 2011;31(6):630-4.

Recibido: 10 de junio del 2013.

Aprobado: 15 de junio del 2013.

*Alcibíades Lara Lafargue.* Avenida de las Américas s/n, Santiago de Cuba, Santiago de Cuba, Cuba. Correo electrónico: [berguesc@yahoo.com](mailto:berguesc@yahoo.com)