

Análisis de la composición corporal empleando parámetros bioeléctricos en la población deportiva cubana

Wiliam Carvajal Veitia¹, Yanel Deturnell Campo², Ibis M. Echavarría García², Dianelis Aguilera Chavez²,
Lázaro R. Esposito Gutiérrez³, Antonio Cordova⁴

¹Universidad de las Ciencias de la Cultura Física y el Deporte. Cuba. ²Laboratorio de Cineantropometría. Subdirección de Control Médico. Instituto de Medicina del Deporte. Cuba. ³Instituto de Medicina del Deporte. Cuba. ⁴Seca GMBH & CO. KG, Hamburg, Germany.

Recibido: 24.06.2016

Aceptado: 19.01.2017

Resumen

Objetivos: La propuesta de este estudio es proveer datos de parámetros bioeléctricos de la población deportiva cubana, particularmente: resistencia (R), reactancia (Xc), impedancia (Z), ángulo de fase (AF), y los componentes del vector impedancia de acuerdo al análisis del vector bioeléctrico (BIVA), estableciendo valores de referencia en atletas de alto rendimiento.

Material y método: Se les realizó el análisis de bioimpedancia eléctrica (BIA) a 943 deportistas cubanos (620 masculinos, 323 femeninos) de 26 deportes diferentes. Los parámetros bioeléctricos R, Xc, Z y PA fueron obtenidos a una frecuencia de 50-kHz y en la gama de 1 a 1.000 kHz usando un analizador multifrecuencia. De estos parámetros, fueron calculados cinco índices (R/Estatura, Xc/ Estatura, Z/Estatura, reactancia en paralelo, y resistencia en paralelo) a 50 kHz. Se obtuvo el análisis del vector de bioimpedancia eléctrica (BIVA) y se realizó un modelado Cole-Cole. Una vez estimado R/Estatura y Xc/Estatura, fue realizado el análisis de BIVA. La media y la desviación estándar fueron calculadas para todas las variables. *La prueba t fue usada para detectar las diferencias entre ambos sexos.* Los BIVA fueron comparados usando la T² de Hotelling. Para contrastar la hipótesis nula de igualdad entre los parámetros examinados, se empleó el nivel de significación de $p < 0,05$.

Resultados: En comparación a la población masculina, la población femenina tuvo mayor R, R/Estatura, Xc, Xc/Estatura, Z, Z/Estatura y menor PA ($p < 0,05$). La precisión de BIVA fue diferente entre los sexos ($p < 0,05$) y de acuerdo al índice de masa corporal (≤ 25 y > 25). Las diferencias entre deportes estuvieron relacionadas al valor de Z y AF.

Conclusiones: El estudio mostró que la variabilidad de R, Xc, Z y AF dependió del género, de las características de la masa corporal de la población estudiada, y del deporte.

Palabras clave:
Parámetros bioeléctricos.
Análisis del vector impedancia bioeléctrica.
Ángulo de fase.
Modelo Cole-Cole.

Body composition analysis using bioelectrical parameters in Cuban sporting population

Summary

Objectives: The purpose of this study is to provide data on bioelectrical parameters in Cuban sport population, particularly: resistance (R), reactance (Xc), impedance (Z), impedance vector component according to bioelectrical impedance vector analysis (BIVA) and phase angle (PhA), establishing references values on athletes of high performance level.

Material and method: We performed bioelectrical impedance analysis (BIA) in 943 Cuban athletes (620 male, 323 female) of 26 sports modalities. Bioelectric parameters R, Xc, Z and PhA were obtained at 50-kHz frequency and multi-frequency from 1 to 1000 kHz using a multi-frequency measuring device. From these parameters, five bioimpedance ratios were calculated (R/Height, Xc/ Height, Z/ Height, the reactance paralate, and resistance paralate) at 50 kHz. Bioelectrical impedance vectors analysis (BIVA) and Cole-Cole modeled were performed. Once R/Height and Xc/Height were estimated, the BIVA was performed. Mean and standard deviations were calculated for all variables. Unpaired t-test was used to detect differences between sexes. BIVA vectors were compared using Hotelling's T² test. To eliminate a null hypothesis about the equality of the examined parameters, we used the level of probability of $p < 0.05$.

Results: Compared to male population, female population had higher R, R/ Height, Xc, Xc/ Height, Z, Z/ Height and lower PhA. The accuracy of specific BIVA was different in the two sexes ($p < 0.05$) and according to the Body Mass Index (≤ 25 and > 25). Differences between sports were found in order to Z and PhA.

Conclusions: The study showed that variability of R, Xc, Z and PhA measures depends on gender, body mass characteristics of the study population, and sport.

Key words:
Bioelectrical parameters.
Bioelectrical impedance vector analysis.
Phase angle.
Cole-Cole model.

Correspondencia: Wiliam Carvajal Veitia
E-mail: wiliam.carvajal@infomed.sld.cu

Introducción

El análisis de bioimpedancia eléctrica (BIA, en sus siglas en inglés) es un método indirecto de estimación de la composición corporal (CC) basado en un procedimiento diagnóstico simple, rápido y no invasivo que ha sido empleado tanto desde el punto de vista clínico como investigativo en la exploración molecular, celular y tisular en humanos¹.

La impedancia corporal (Z) es una función de 2 componentes: resistencia (R) y reactancia (Xc). La R representa la resistencia de los tejidos al paso de una corriente eléctrica y depende de la hidratación de los tejidos, mientras que Xc es la oposición adicional debida a la capacitancia de esos tejidos y las membranas celulares, es un parámetro fundamental para diferenciar líquido extra e intracelular así como el estado de las membranas celulares¹. El ángulo de fase (AF) es un indicador de calidad de vida, es el arco tangente $(Xc/R) \times 180^\circ/\pi$. Valores elevados del AF se interpretan como membranas celulares en buen estado, con una presión osmótica y concentración de iones correcta y elevada masa celular².

El resultado de la representación gráfica Xc vs. R en toda la gama de frecuencias (1kHz-1MHz), es un semicírculo con su centro por debajo del eje real correspondiente a la modelación llamada Cole-Cole³. El semicírculo caracteriza la bioimpedancia tisular en 4 parámetros conocidos como: resistencia a frecuencia 0 (R_0), resistencia en el infinito (R_∞), constante característica de tiempo (τ) y medida de la depresión del arco semicircular debajo del eje real (α). A partir del modelado experimental empleado, R_0 se corresponde con la resistencia extracelular y R_∞ con la resistencia intracelular^{3,4}.

Por otra parte, el análisis gráfico de la relación R, Xc, estandarizado por la estatura permite hacer una valoración de la composición corporal de un sujeto clasificando el estatus de hidratación y de la variación del tejido blando. Este es conocido como análisis del vector impedancia (BIVA, en sus siglas en inglés)^{5,6}.

A partir de un número de investigaciones poblacionales realizadas, existe una creciente aceptación internacional por el uso del AF y de BIVA para el análisis tisular y molecular de la CC. Muchos de ellos, han evidenciado la relación entre ciertos valores y diferentes estados patológicos en la población general⁵⁻⁹. No obstante Llamas *et al*⁷ plantearon que la falta de valores de referencias para el AF han limitado su uso en situaciones clínicas y epidemiológicas, mientras que Peine *et al*¹⁰ sugirieron la necesidad de establecer las características del BIVA y AF para las diferentes poblaciones, pues su uso puede estar limitado por la edad, sexo, etnia, nivel del índice de masa corporal, entre otros factores.

Ha sido demostrado que la población deportiva constituye un segmento amplio de variabilidad fisiológica que puede mostrar valores de AF y BIVA similares a los de personas con estados patológicos anormales, pero en su caso son considerados adaptaciones al deporte^{11,12}. Por su parte, en la literatura especializada en deportistas, no están bien documentadas las características poblacionales de los parámetros bioeléctricos de la CC, lo que pudiera contribuir al estudio de los límites alcanzados por estos indicadores y a su empleo más racional en el campo de la evaluación nutricional y del control biomédico del entrenamiento.

Basado en los planteamientos anteriores, los autores se propusieron: 1) establecer las características generales de los parámetros bioeléctricos en deportistas elites cubanos de ambos sexos a la frecuencia de 50 Hz

y la característica, 2) establecer las características del vector BIVA, en relación al sexo y el nivel del índice de masa corporal, 3) Establecer las diferencias poblacionales para el ángulo de fase entre la población investigada y una de referencia, y 4) comparar los deportes evaluados utilizando los parámetros Impedancia corporal y Ángulo de Fase.

Material y método

Tipo de estudio y universo

Se realizó una investigación descriptiva y prospectiva en el periodo desde 14 de Marzo al 20 de Octubre del 2013. La población estudiada estuvo constituida por 936 que formaban las selecciones nacionales cubanas de mayores en 26 deportes. Del sexo masculino fueron evaluados 620 sujetos y del sexo femenino 323, cuya distribución se ofrece en la Tabla 1. La edad promedio de los participantes fue de $22,75 \pm 4,11$ y $22,38 \pm 3,53$ años para el sexo masculino y femenino, respectivamente.

Métodos y procedimientos

Antes de comenzar el estudio todos los sujetos fueron informados y dieron su consentimiento para su participación. El estudio fue aprobado por el comité de ética de Instituto de Medicina del Deporte de Cuba.

Tabla 1. Composición de la muestra según sexo y deporte.

	Masculino	Femenino	Total
Baloncesto	27	54	81
Balonmano	36	15	51
Beisbol	47	0	47
Boxeo	25	0	25
Canotaje	38	11	49
Esgrima	37	32	69
Fútbol	63	13	76
Gimnasia artística	13	1	14
Gimnasia rítmica	0	12	12
Halterofilia	31	13	44
Hockey sobre césped	22	17	39
Judo	18	25	37
Lucha grecorromana	36	0	36
Lucha libre	46	27	73
Patinaje artístico	2	2	4
Patinaje de carrera	10	2	12
Pelota vasca	5	5	10
Pentatlón moderno	7	4	11
Polo acuático	13	0	13
Remos	53	18	71
Tenis de mesa	3	5	8
Tiro deportivo	8	8	8
Triatlón	7	4	11
Vela	15	6	21
Voleibol	47	41	88
Voleibol de playa	11	8	19
Total	620	323	943

La investigación fue realizada en horas de la mañana por personal entrenado, en un local climatizado a 23 °C. Para garantizar la validez y confiabilidad fue diseñado un protocolo que tuvo en cuenta: 1) no usar diuréticos desde una semana antes, 2) no beber alcohol por 48 horas antes del examen, 3) no haber realizado ejercicio intenso por lo menos 12 horas antes, 4) no haber ingerido alimentos ni bebidas 4 horas anteriores al inicio de las pruebas, 5) realizar la última micción y/o defecación 30 minutos antes del inicio de las pruebas programadas, 6) en el caso de las mujeres, se tuvo en cuenta la fase del ciclo menstrual en la que se encontraban, realizándose la valoración solo durante la fase estrogénica.

Para la determinación de la Bioimpedancia fue utilizado el analizador multifrecuencia mBCA 514/515 (*medical Body Composition Analyser*, en sus siglas en inglés) de fabricación alemana (Seca 514/515 GmbH & co. kg, Hamburg) (Figura 1A), el mismo estuvo acoplado a dos unidades con comunicación inalámbrica compuesta por una PC con un software Seca Analytics mBCA 115 (Figura 1B) y un estadiómetro de transmisión inalámbrica 360° Wireless Seca 284 (Seca GmbH & co. kg, Hamburg) (Figura 1C). Las unidades poseían una precisión de 50 g y 1mm para el peso y estatura, respectivamente.

Una vez introducidos los datos generales en la PC (número de identidad, edad, etnia, deporte) se midió la estatura (E) en el estadiómetro de transmisión inalámbrica 360° Wireless Seca 284 (Seca GmbH & co. kg, Hamburg) y se transfirió al analizador utilizando un interruptor. La estatura fue evaluada según los requerimientos de la Sociedad Internacional para el Avance en Cineantropometría¹³: el sujeto se paró descalzo sobre la base del estadiómetro con los talones juntos, los bordes mediales de los pies en ángulo de 60° entre sí, la cara posterior de los glúteos y la parte posterior de la espalda apoyada en el estadiómetro. La cabeza se ubicó en plano de Frankfurt, con leve tracción de esta hacia arriba unida a la inspiración simultánea realizada por el sujeto.

Figura 1. Unidades inalámbricas utilizadas para el desarrollo de la investigación.



Posteriormente los individuos se colocaban sobre el analizador en posición de bipedestación y con una flexión de la articulación escapulo-humeral de 30°. El analizador está compuesto de una pareja de electrodos que hacen contacto con los pies (metatarso-calcáneo) y tres parejas en los barandales que están a diferentes alturas y se ajustaban a la estatura de cada sujeto. En esta posición se evaluó el peso corporal y el índice de masa corporal, y se introdujo una corriente de 100 µA a través de los electrodos estimuladores, en tanto la caída de voltaje (V) se detectó por los electrodos sensores, de acuerdo con la ley de Ohm ($Z = \text{Voltaje} / \text{Intensidad de la corriente}$).

Las medidas de la BIA fueron evaluadas a las frecuencias 1, 1.5, 2, 3, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750 y 1,000 kHz. Las 19 frecuencias fueron empleadas para la modelación del arco Cole-Cole para determinar la resistencia cuando la frecuencia tiende a infinito (R_{∞}), la resistencia cuando la frecuencia tiende a cero (R_0), la frecuencia característica (F_c) y ángulo de depresión, de modo que a partir de sus valores se estimaron: la capacidad de membrana (C_m), las resistencias extracelular (R_0) e intracelular (R_{∞}) y el radio del arco (r), el área debajo de la curva. Para la obtención de los valores promedio de R/E , X_c/E , Z/E , R_p/E , X_{cp}/E y AF fue empleada la frecuencia a 50 kHz, mientras que para R_0/E , R_{∞}/E , C_m/E , y AF fue empleada la F_c que arrojó el modelo Cole-Cole. La resistencia y reactancia en paralelo (R_p y X_{cp}) y la capacidad de membrana (C_m) se estimaron mediante las siguientes fórmulas:

$$R_p = R + \frac{X_c^2}{R}$$

$$X_{cp} = X_c + \frac{R^2}{X_c}$$

$$C_m = X_c + \frac{1}{2 \pi F_c X_{cp}}$$

La obtención de los gráficos para el análisis de BIVA se realizó con el software diseñado por Picolli y Patori (2002) para proceder al análisis del BIVA (Picolli A, Patori G: BIVA software. Department of Medical and Surgical Sciences, University of Padova, Padova, Italy, 2002 (disponible en: E-mail: apicolli@unipd.it).

Análisis estadístico

La data poblacional obtenida del análisis fue exportada a una hoja Excel y posteriormente, exportada al paquete estadístico IBM-SPSS 20.0 para Windows donde fue realizada la estadística descriptiva.

Después de realizar un análisis exploratorio se obtuvieron los valores promedio (X) y la desviación estándar (DE), absolutos y relativos a la estatura, de R , X_c , Z , R_p , X_{cp} y AF a la frecuencia de 50 kHz, mientras que para R_0 , R_{∞} , C_m , Z y AF fueron obtenidos a la frecuencia F_c .

La prueba t de Student para muestras independientes fue empleada para contrastar la hipótesis de igualdad de medias entre sexos para cada uno de los indicadores bioeléctricos estudiados, previa comprobación de los supuestos estadísticos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

La comparación entre vectores BIVA de diferentes categorías del Índice de Masa Corporal ($IMC \leq 25 \text{Kg/m}^2$ vs $IMC > 25 \text{Kg/m}^2$) y entre

sexos fue establecida a través de la prueba T² Hotelling, previa comprobación de los supuestos estadísticos de normalidad y homogeneidad de varianza.

El nivel de significación empleado para descartar la hipótesis nula de igualdad de medias o de vectores para los contrastes fue $p < 0,05$.

La distribución normal del AF fue verificada utilizando el ploteo de los cuantiles en un gráfico Q-Q y a través de la inspección visual derivada del análisis exploratorio efectuado. La superposición de distribuciones normales de la población estudiada y la de un estudio alemán de referencia¹⁰ fueron comparadas, y determinada el área de superposición para establecer las semejanzas poblacionales, adaptando el método de Zona de Superposición Bivariada de Norton & Olds¹⁴.

Para la descripción de los resultados por deportes fue establecida la distribución percentilar para Z y el AF, en los percentiles (p) 5, 10, 25, 50, 75,90 y 95. De los mismos derivaron los canales C1 (<5p), C2 (5-10p), C3 (10-25p), C4 (25-50p), C5 (50-75p), C6 (75-90p), C7 (90-95p), C8 (>95p).

Para establecer la tendencia central del Ángulo de fase, la Impedancia corporal e IMC para cada deporte se utilizó el promedio (X), como índice de variabilidad se uso el coeficiente de variación (CV).

Resultados

Características antropométricas y parámetros bioeléctricos (50Hz)

La Tabla 2 muestra las estadísticas descriptivas de las características antropométricas y los parámetros bioeléctricos subdivididos por sexos.

Los deportistas del sexo masculino mostraron un peso y estatura promedios significativamente superiores a los del sexo femenino ($p = 0,00$) evidenciando el dimorfismo pondo-estatural existente en ambos parámetros. El índice de masa corporal mostró valores promedio similares, pero significativamente diferentes entre ambos sexos ($p = 0,00$).

Tabla 2. Valores estimados de parámetros bioeléctricos a 50KHz (X±DE).

	Masculinos	Femeninos
Peso (Kg)	81,0±14,0**	68,0±11,0
Estatura (cm)	180,0±10,0**	171,0±10,0
IMC (Kg/m ²)	24,0±3,0**	23,0±2,0
R (Ω)	506,2±60,7	628,0±69,1**
Xc (Ω)	58,9±6,7	63,7±7,2**
Z	509,6±60,8	632,2±69,0**
R/Estatura (Ω/m)	280,6±34,7	367,7±41,9**
Xc/Estatura (Ω/m)	32,7±4,6	37,3±4,8**
Z/Estatura (Ω/m)	282,6±34,9	369,0±42,0**
AF (°)	6,7±0,6**	5,8±0,6
Rp (Ω)	513,0±61,0	635,0±69,3**
Xcp (Ω)	4444,4±782,0	6334,7±1133,0**
Rp/Estatura (Ω/m)	284,5±85,1	3716,0±42,2**
Xcp/Estatura (Ω/m)	2457,7±400,0	3699,7±655,0**

*Significativo ($p < 0,05$); **Muy significativo ($p < 0,01$).

Los parámetros bioeléctricos de la población deportiva estudiada, a la frecuencia de 50Hz, estuvieron representados por una resistencia significativamente menor al paso de la corriente para el sexo masculino ($506,2\Omega < 628,0\Omega$) en comparación con el sexo femenino ($p = 0,00$). La Xc mostró mayor oposición al paso de la corriente, debida a la capacitancia de esos tejidos y las membranas celulares, en el sexo femenino ($63,7\Omega > 58,9\Omega$) ($p = 0,00$). Estas diferencias repercutieron en los valores de R/E, Xc/E, Z/E, Rp, Xcp, Rp/E, Xcp/E, los cuales mostraron valores promedios de resistencia, reactancia e impedancia significativamente superiores para el sexo femenino ($p = 0,00$). El AF del sexo masculino ($6,7^\circ$) fue significativamente superior al encontrado para el sexo femenino ($5,8^\circ$), evidenciando mayor masa celular relativa ($p = 0,00$).

Resultados de los parámetros a partir del modelo Cole-Cole

Estos mismos parámetros se determinaron también sobre la base de la frecuencia característica (Tabla 3), a fin de poder caracterizar mejor a la población, y en este caso los resultados se semejaron a los de 50 kHz.

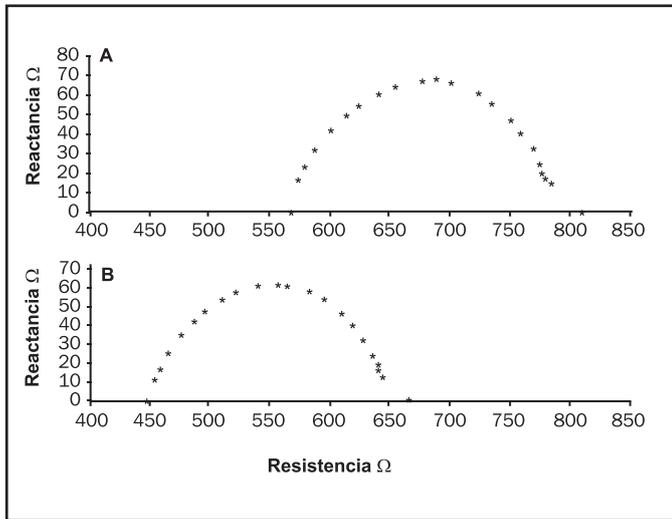
En los datos obtenidos según el modelo de Cole - Cole (Tabla 3) se obtuvo que la resistencia cuando la frecuencia tiende a infinito (R_∞), la resistencia cuando la frecuencia tiende a cero (R_0) y la resistencia intracelular (R_{intra}) tuvieron valores promedios significativamente inferiores en el sexo masculino ($p = 0,00$). También la diferencia de resistencias entre ambos extremos del arco de Cole (ΔR), el radio (r) y el área debajo de la curva fueron significativamente inferiores para el sexo masculino a la frecuencia característica ($p = 0,00$). Estas características se ampliaron a los indicadores relativos R_∞/E , R_0/E , R_{intra}/E , Z/E (Ω/m) las cuales mostraron diferencias significativas ($p = 0,00$). Tanto el AF como la capacidad de

Tabla 3. Valores estimados según el modelo Cole-Cole en población deportiva cubana de ambos sexos, determinados a la frecuencia característica (X±DE).

Variables	Masculinos	Femenino
$R_\infty(\Omega)$	446,9±43,0	567,9±46,7**
$R_0(\Omega)$	665,1±43,0	810,1±46,7**
$R_{intra}(\Omega)$	1429,1±272,1	1980,6±402,0**
$C_m(nF)$	6,9±1,50**	5,3±2,50
$F_c(KHz)$	44,89±3,9*	43,02±4,6
$Z(\Omega)$	559,3±60,0	692,4±73,0**
AF(°)	6,26±0,61**	5,7±0,70
Ángulo de depresión $\alpha(^\circ)$	0,51±0,17	0,52±0,18*
$\Delta R(\Omega)$	209,1±21,7	232,8±24,2**
r(Ω)	84,7±53,1	93,8±57,8**
Área(Ω ²)	9857,2±2155,0	11205,9±2305,8**
$R_\infty/E(\Omega/m)$	369,5±23,9	473,7±27,3**
$R_0/E(\Omega/m)$	247,5±23,9	332,1±27,3**
$R_{intra}/E(\Omega/m)$	793,9±151,2	1158,2±235,1**
$C_m/E(nF/m)$	3,8±7,0**	3,1±6,5
$Z/E(\Omega/m)$	310,7±40,8	404,9±47,0**

*Significativo ($p < 0,05$); **Muy significativo ($p < 0,01$)

Figura 2. Diferencias en el arco del modelo Cole-Cole para el sexo femenino (a) y masculino (b) a través de la dependencia experimental Xc-R.



membrana en su valor absoluto (C_m) y relativo (C_m/E) mostraron valores promedios significativos y mayores en el sexo masculino ($p = 0,00$).

El análisis gráfico del modelo Cole-Cole (Figura 2) evidenció diferencias entre las resistencias del sexo masculino y el femenino: El valor de R_{∞} fue inferior para el sexo masculino, mientras que la X_c se fue máxima coincidiendo con el valor R_{∞} para el sexo femenino. Por otra parte, se obtuvo que los valores R_c fueron considerablemente mayores en el sexo femenino, mientras que el valor máximo de X_c , a la frecuencia crítica, se alcanzaron a valores de resistencia óhmica muy superiores.

Características del vector BIVA a nivel poblacional y en relación con el IMC

El resultado del análisis gráfico del BIVA se presenta en la Figura 3. Esta muestra los gráficos que forman los pares R/E vs X_c/E para cada sexo, donde la longitud media de los vectores, y la elipse de confianza reflejan las características de la composición corporal en población evaluada.

Al analizar la figura, el vector BIVA tuvo mayor longitud y mostró menor ángulo con respecto a las abscisas para el sexo femenino. La separación de las elipses de confianza entre ambos sexos confirmó las diferencias significativas entre estos al establecer el contraste T^2 de Hotelling ($p = 0,00$). Las deportistas del sexo femenino evidenciaron una elipse de mayor tamaño que los del sexo masculino, lo que reflejó gran heterogeneidad en las características del BIVA.

Los valores promedios del IMC para las categorías de $IMC > 25 \text{ Kg/m}^2$ fueron de $27,0 \pm 2,0$ y $28,0 \pm 5,08 \text{ Kg/m}^2$ para el sexo masculino y femenino, respectivamente. Para la categoría $IMC \leq 25 \text{ Kg/m}^2$ fueron de $22,0 \pm 1,8$ y $21,6 \pm 2,1 \text{ Kg/m}^2$ para el mismo orden de sexos.

Cuando se examinó visualmente el efecto del IMC sobre las características del vector BIVA (Figura 4), el sexo masculino mostró una menor longitud, independiente de la categoría del IMC ($M > 25$, $M \leq 25$), al ser comparado con el sexo femenino ($F \leq 25$ y $F > 25$). En el sexo masculino

Figura 3. Vector bioimpedancia y elipse de confianza al 95% de la población deportiva cubana de ambos sexos.

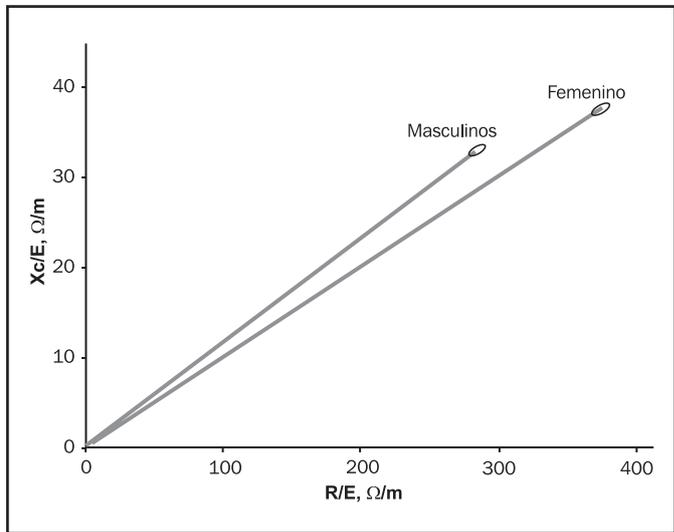
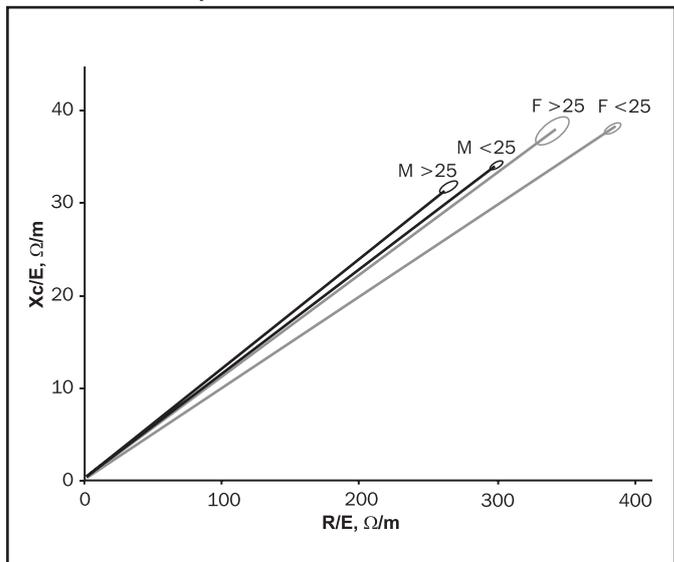


Figura 4. Vector bioimpedancia y elipse de confianza al 95% de la población deportiva cubana de ambos sexos, según estratos del índice de masa corporal.



la longitud del vector fue inferior para los que tuvieron un IMC mayor a 25 Kg/m^2 ($M > 25$), mientras que en el sexo femenino esta fue ligeramente mayor para los que tuvieron la misma categoría ($F > 25$).

Cuando se compararon las elipses de confianza que forman los pares R/E vs X_c/E , para cada sexo, se encontraron diferencias significativas entre los BIVA empleando la prueba de T^2 Hotelling ($p = 0,00$). Las deportistas del sexo masculino evidenciaron diferencias significativas entre categorías del IMC ($p = 0,00$), mientras que las deportistas del sexo femenino, de una u otra categoría del IMC, mostraron diferencias entre sí ($p = 0,00$).

Figura 5. Ploteo del Ángulo de fase normal comparando los valores del ángulo de fase con la distribución normal estándar para sujetos del sexo masculino (a la izquierda) y femenino (a la derecha).

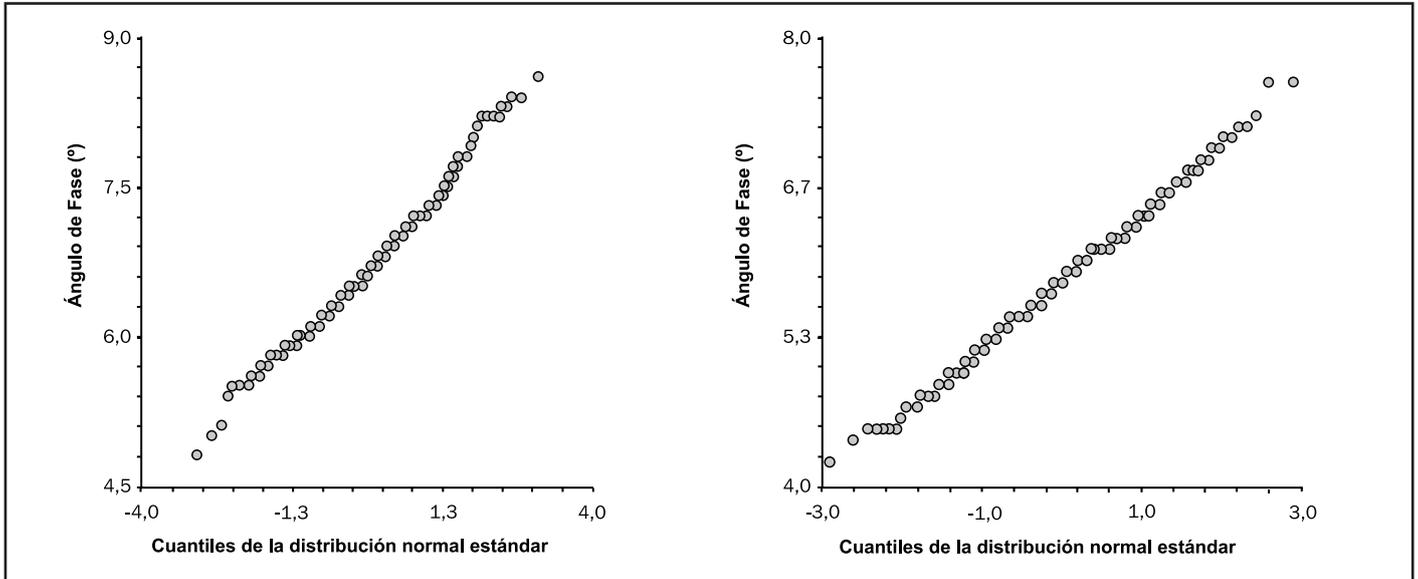
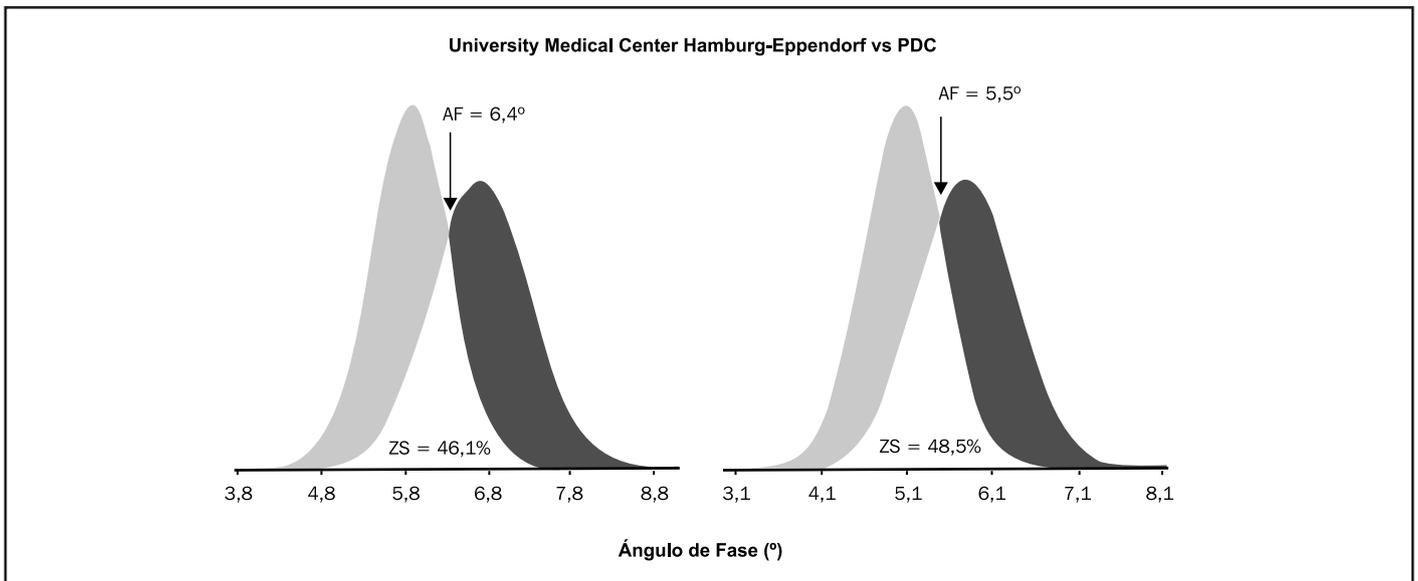


Figura 6. Zona de Superposición (ZS) entre la muestra del estudio University Medical Center Hamburg-Eppendorf y la PDC. La gráfica de la izquierda muestra la población del sexo masculino y la de la derecha la del sexo femenino para ambos estudios.



Características poblacionales del ángulo de fase

El valor promedio del AF del sexo masculino para la población estudiada ($6,7 \pm 0,6^\circ$) fue significativamente superior al del sexo femenino ($5,8 \pm 0,6^\circ$) ($p < 0,05$), mientras que los cuantiles 25, 50 y 75 para el sexo masculino ($6,2^\circ$ - $6,70^\circ$ - $7,1^\circ$) mostraron un rango de amplitud mayor al del sexo femenino ($5,5^\circ$ - $5,8^\circ$ - $6,2^\circ$).

Al contrastar los valores promedio del AF para el sexo masculino con el de una población alemana de referencia del mismo sexo ($n = 528$, $AF = 5,9 \pm 0,5^\circ$) se encontraron diferencias significativas ($p = 0,00$), mientras

que el sexo femenino mostró el mismo resultado cualitativo al comparar las poblaciones cubana y alemana ($n = 518$, $AF = 5,0 \pm 0,5^\circ$) ($P = 0,00$).

Una vez verificada la distribución normal del AF, de acuerdo al ploteo Q-Q que se encuentra en la Figura 5, se reflejó el análisis de superposición poblacional entre las poblaciones comparadas (Figura 6).

El sexo masculino mostró menor grado de superposición con respecto a la distribución de referencia (46,1%) que el sexo femenino (48,5%), no obstante la distribución para las poblaciones deportivas se encontraron desplazadas a la derecha de los valores de referencia, los valores de coincidencia de ambas distribuciones $6,4$ y $5,5^\circ$ coincidieron

Tabla 4. Percentiles para el vector impedancia y el ángulo de fase en población deportiva cubana de ambos sexos.

			X±DE	5	10	25	50	75	90	95
Z	Masculino	Ω	509,6±60,8	416,7	434,9	476,2	512,3	558,2	602,6	625,3
	Femenino	Ω	632,2±69,0	512,4	549,1	596,3	634,3	684,1	724,6	768,1
AF	Masculino	°	6,70±0,6	5,7	5,9	6,2	6,70	7,1	7,3	7,6
	Femenino	°	5,80±0,6	4,8	5,0	5,5	5,80	6,2	6,6	6,9

Tabla 5. Estadística descriptiva del vector impedancia y el ángulo de fase según deportes (X [CV]).

Deporte	Masculino				Femenino			
	IMC (Kg/m ²)	Z (Ω)	AF (°)	EVA	IMC(Kg/m ²)	Z (Ω)	AF (°)	EVA
Baloncesto	24,7 (10,6)	520,3 (7,9)	6,5 (7,4)	C5>C4	24,1 (10,7)	640,6 (7,9)	5,8 (8,2)	C5>C4
Balónmano	25,6 (11,4)	496,8 (12,7)	6,4 (7,2)	C3<C4	23,2 (9,6)	634,0 (10,7)	5,8 (8,8)	C4=C4
Béisbol	27,1 (13,5)	528,6 (14,1)	6,6 (11,0)	C5>C4	-	-	-	-
Boxeo	23,5 (12,0)	542,7 (10,9)	6,7 (7,4)	C5>C4	-	-	-	-
Canotaje	25,1 (6,2)	490,4 (7,8)	7,0 (5,7)	C4<C5	23,8 (7,8)	574,6 (10,3)	6,5 (4,8)	C3<C7
Esgrima	23,2 (9,2)	546,7 (9,5)	6,4 (8,5)	C5>C4	22,5 (9,7)	678,9 (7,5)	5,7 (8,5)	C5>C4
Fútbol	23,1 (7,1)	547,0 (8,6)	6,4 (7,3)	C5>C4	22,6 (8,4)	648,7 (11,5)	5,3 (10,4)	C5>C3
Gimnasia artística	22,8 (5,5)	494,2 (11,4)	7,0 (7,8)	C4<C5	21,2 (0,3)	668,6 (5,1)	7,0 (1,3)	C5<C8
Gimnasia rítmica	-	-	-	-	18,7 (5,1)	738,6 (8,5)	5,1 (6,8)	C7>C3
Halterofilia	29,5 (15,2)	423,8 (10,6)	7,7 (7,6)	C2<C8	27,0 (16,4)	554,7 (10,0)	6,8 (7,1)	C3<C7
Hockey	23,4 (8,3)	538,6 (8,0)	6,6 (8,5)	C5>C4	22,3 (7,7)	639,4 (7,3)	5,6 (8,9)	C5>C4
Judo	27,6 (23,2)	471,5 (9,9)	6,8 (8,5)	C3<C5	25,3 (19,1)	550,2 (9,6)	6,2 (8,8)	C3<C5
Lucha	26,6 (8,2)	464,1 (8,9)	7,0 (6,9)	C3<C5	24,9 (8,7)	565,1 (9,5)	6,2 (8,0)	C3<C5
Nado sincronizado	-	-	-	-	19,1 (8,5)	703,3 (6,6)	5,6 (6,2)	C6>C4
Patinaje artístico	23,3 (2,4)	483,5 (5,2)	6,8 (2,6)	C3<C5	23,0 (5,0)	628,3 (6,0)	5,0 (5,7)	C4>C2
Patinaje de carrera	22,4 (8,2)	542,0 (6,9)	6,7 (6,5)	C5>C4	22,6 (0,3)	670,0 (4,3)	6,1 (9,1)	C5=C5
Pelota vasca	25,0 (9,8)	512,8 (7,0)	6,6 (9,3)	C5>C4	23,8 (10,2)	645,2 (8,9)	5,7 (6,8)	C5>C4
Pentatlón	22,7 (10,6)	543,5 (9,9)	6,5 (9,9)	C5>C4	22,4 (4,4)	663,2 (8,6)	6,0 (9,9)	C5=C5
Polo acuático	25,6 (7,7)	498,7 (9,4)	6,5 (7,0)	C4=C4	-	-	-	-
Remo	24,7 (8,0)	504,9 (7,3)	6,6 (7,8)	C4=C4	22,1 (7,1)	625,3 (6,7)	5,8 (7,0)	C4=C4
Tenis de mesa	24,4 (11,6)	554,2 (14,8)	6,6 (8,0)	C5>C4	22,8 (4,8)	650,4 (7,0)	5,7 (9,5)	C5>C4
Tiro deportivo	25,6 (13,4)	554,6 (12,4)	6,2 (8,7)	C5>C3	23,8 (13,9)	707,4 (7,9)	5,0 (11,4)	C6>C2
Triatlón	23,9 (7,0)	482,6 (7,0)	7,8 (4,2)	C4<C8	21,4 (6,6)	625,3 (3,2)	5,9 (2,6)	C4<C5
Vela	22,3 (8,3)	558,4 (11,0)	6,5 (6,1)	C6>C4	22,8 (7,0)	596,0 (9,0)	5,7 (11,2)	C3<C4
Voleibol	22,7 (8,0)	550,3 (8,3)	6,3 (6,3)	C5>C4	20,6 (6,6)	667,8 (8,0)	5,6 (5,3)	C5>C4
Voleibol de playa	22,8 (10,8)	550,5 (9,1)	6,3 (7,5)	C5>C4	22,2 (6,9)	642,7 (4,9)	6,0 (8,0)	C5=C5

con el 25 percentil de las distribuciones de ambos del sexo masculino y femenino, respectivamente.

Valores de referencia para el vector impedancia corporal y el ángulo de fase por deportes

La Tabla 4, refleja la gama percentilar de Z y el AF a nivel poblacional. Las diferencias entre sexos aparecen reflejadas de manera descriptiva en cada percentil de la gama.

La Tabla 5 muestra la estadística descriptiva del IMC, el vector Z y del AF, así como la evaluación correspondiente a su distribución percentilar por deportes de acuerdo a la Tabla 4.

Desde el punto de vista descriptivo, los deportistas de halterofilia, judo, beisbol, lucha, polo acuático, balónmano y canotaje mostraron los valores promedio más elevados para el IMC en el sexo masculino, mientras que la halterofilia, el judo la lucha, baloncesto y el canotaje mostraron mayores valores promedio en el sexo femenino.

Por otra parte, los deportistas de halterofilia, lucha, judo, patinaje, triatlón, gimnasia artística y canotaje mostraron un valor promedio del vector Z más discreto que el resto de los deportes en el sexo masculino. Coincidentemente los deportistas de triatlón, canotaje, gimnasia artística, lucha, judo, patinaje artístico y halterofilia tuvieron valores promedios más elevados para el AF que el resto de los deportes.

Al establecer las características individuales de los parámetros Z y AF, de acuerdo a los estándares de la Tabla 4, los deportistas de halterofilia y triatlón quedaron ubicados en los canales percentilares C2 y C4 para la longitud de Z y C8 para el estimado promedio del ángulo de fase (Tabla 5).

En el sexo femenino, los deportistas de halterofilia, lucha, judo, triatlón, y canotaje mostraron un valor promedio del vector Z más discreto que el resto de los deportes. Coincidentemente los deportistas de canotaje, gimnasia artística, lucha, judo y halterofilia tuvieron los valores promedios más elevados para el AF.

La distribución percentilar del valor promedio estimado para cada deporte arrojó valores más extremos de Z y AF fueron los de halterofilia y canotaje quienes se ubicaron en el canal C3 para la longitud de Z y C7 para el estimado promedio del AF, mientras que la distribución de las de gimnasia rítmica fue opuesta. Las deportistas de gimnasia artística mostraron una distribución C5<C8 (Tabla 5).

Discusión

Esta investigación promueve el uso de parámetros bioeléctricos de la composición corporal a través de BIA. La misma, establece los estándares en una población específica no estudiada con anterioridad bajo esta tecnología.

Se encontró un claro dimorfismo sexual en los parámetros estudiados, así como diferencias entre sujetos con diferente nivel del Índice de Masa Corporal y pertenecientes a distintos deportes. Esto se encuentra en concordancia con lo apreciado en la literatura especializada para sujetos sanos^{15,16}.

Al comparar los valores obtenidos en cada sexo, las diferencias absolutas y relativas encontradas en la R y la Xc reflejaron que existió dimorfismo sexual, basado en los parámetros estudiados. Núñez et al.¹⁶ consideraron que una menor R favorece el mayor riego sanguíneo, facilitado por la mejor conducción de la corriente, tanto en el medio extracelular como intracelular.

Por otra parte, estos autores¹⁶ refirieron que una mayor capacidad de membrana, refleja un mayor volumen de las fibras musculares, debido a que este parámetro se relaciona con el área y el grosor de las membranas celulares del organismo, mientras que el menor valor del área bajo la curva, coincidentemente con la R y el radio, pudiera deberse a un mayor número de mitocondrias para producir energía; resultado que proporciona al músculo un metabolismo oxidativo más eficaz y permitiría, al rendir en mayor medida, optimizar su rendimiento en el sexo masculino.

Así mismo, la representación gráfica del fenómeno, a través del diagrama Cole-Cole, facilitó el entendimiento del dimorfismo, aportando información acerca de que una menor resistencia extracelular e intracelular para el sexo masculino, refiere una mayor hidratación de los compartimentos extra e intracelular de este sexo¹⁶.

La hiperhidratación o deshidratación puede evaluarse a partir del acortamiento o alargamiento del vector impedancia, mientras la variación de la cantidad de tejidos blandos a través de la variación del ángulo de fase^{5,15,17}. En este sentido se observó una mayor hidratación del sexo masculino, independiente del valor del IMC. Este indicador también fue predictor del estado de hidratación al establecer que quienes mostraron un mayor IMC estuvieron más hidratados, independiente del sexo.

Por otra parte, con el análisis del vector BIVA se confirmaron las diferencias en la composición corporal entre ambos sexos. La menor longitud del vector, asociado a un alto valor de IMC sugirió menos masa grasa, mientras que la elipse de menor tamaño indicó mayor uniformidad en la composición corporal para el sexo masculino en cualquiera de las representaciones gráficas realizadas.

Los valores promedio encontrados para el AF en la presente investigación (6,7° y 5,8°) fueron muy inferiores a los reportados por Barbosa-Silva et al.¹⁸ para la población americana del sexo masculino (8,02°) y femenino (6,98°), mientras que los valores encontrados en población alemana¹⁹ para el sexo masculino (6,89°) y femenino (5,98°) fueron similares a los estimados obtenidos en esta investigación. Kyle et al.²⁰ reportaron valores de 7,5° y 6,6° para la población Suiza del sexo masculino y femenino, respectivamente. Los valores encontrados en la presente investigación coincidieron con los valores reportados en la población americana para la tercera edad, y con los encontrados en la población alemana y suiza entre 50 y 60 años, aproximadamente¹⁸.

En población deportiva han sido reportados escasos valores relativos al AF. Uno de los estudios encontrados reportó valores de 6,62° y 6,28° para jugadoras de voleibol de la República Checa y la Federación Rusa, superiores a los encontrados para voleibolistas cubanas del mismo nivel competitivo en la presente investigación (5,6°)¹¹. Otra investigación reportó valores de 7,0° y 7,7° para deportistas españolas pre juvenil y juveniles de nado sincronizado²¹.

Aunque un valor elevado para el ángulo de fase evidencia desarrollo de la masa celular y buen estatus nutricional, los autores consideran que las diferencias encontradas a nivel poblacional en la literatura, evidencian que este es buen discriminante entre individuos de diferente origen étnico y constitución física^{7,8,15-17}. De ahí que, las diferencias encontradas entre las jugadoras de voleibol estudiadas, las rusas y las checas no sean definitorias en este análisis. Al igual sucede para las deportistas de nado sincronizado españolas, quienes mostraron valores muy superiores a la mayoría de los deportistas cubanos²¹.

La comparación realizada con el estudio matriz de la University Medical Center Hamburg-Eppendorf evidenció que existen diferencias poblacionales para la evaluación del ángulo de fase. Mientras en la población alemana los rangos de normalidad se encuentran entre 5,03-6,73° y 4,28-5,82° para evaluar al sexo masculino y femenino¹⁴, la presente investigación arrojó valores entre 6,02-7,1° y 5,5-6,2°. Esto sugiere que los puntos de corte que poseen los analizadores como SECA mBCA son específicos de la población alemana de referencia y sobrestiman la evaluación cualitativa de la población deportiva.

A nivel individual, se evidenció que con la relación Z-AF se realiza una discriminación adecuada del estatus de hidratación y el nivel nutricional presentado. El análisis de casos extremos como la gimnasia rítmica y la halterofilia en el sexo femenino, evidencian que para las deportistas de gimnasia rítmica un vector Z ubicado en uno de los canales más altos

(C7) y un AF ubicado por los canales más bajos (C3) representan bajos niveles de hidratación y de masa celular respaldados por el más bajo valor del IMC existente. Para la halterofilia se encontró una hidratación elevada y una alta calidad celular, basada en una mayor masa celular y proteínas estructurales intersticiales hidrófilas, o mejor estado nutricional, lo que sugiere que el IMC elevado puede reflejar hipertrofia y no obesidad. En el sexo masculino, la halterofilia mostró el mismo resultado que en su homólogo femenino, mientras que los deportistas de vela mostraron un AF promedio (C4) con un mayor tamaño del vector Z que refleja la menor cantidad de fluidos corporales en estos.

Los resultados encontrados a nivel individual se corresponden con los descritos por Kim *et al.*¹⁷ quien pudo establecer la relación entre el vector Z y el AF con el tipo corporal estimado por el somatotipo y el IMC. Para este autor, bajos valores de R y altos del AF están asociados a deportistas de gimnasia artística, mientras que bajos de AF y altos de R se corresponden con deportistas de gimnasia rítmica, danza y ballet.

La principal limitación que posee la presente investigación radica en el hecho de que no se contrastaron los resultados con los de la población general, lo que impide establecer los límites de la adaptación a la práctica del deporte en el entorno que se investiga. Por otra parte, dada la extensión de la investigación no se pudo especificar el impacto del factor deporte sobre las características del vector BIVA, lo que hubiera arrojado más detalles sobre las características tisulares, celulares y moleculares de la composición corporal bajo los diferentes regímenes de entrenamiento.

A pesar de lo señalado, la investigación aporta resultados que pueden ser utilizados como referencia en la práctica clínica y médico-deportiva, así como en investigaciones que se quieran llevar a cabo con mayor confiabilidad que cuando se emplean las ecuaciones indirectas disponibles en los analizadores, pues estos están exentos de asunciones para su determinación.

Conclusiones

A través de los valores de referencias aportados se pudo evaluar el poder discriminatorio de los parámetros bioeléctricos de la Bioimpedancia, así como su utilidad en el análisis de la composición corporal de la población deportiva. El estudio mostró que la variabilidad de los parámetros bioeléctricos Impedancia Corporal, Resistencia, Reactancia, Ángulo de fase y del Análisis del Vector Bioimpedancia dependió del género, de las características de la masa corporal de la población estudiada, y del deporte.

Bibliografía

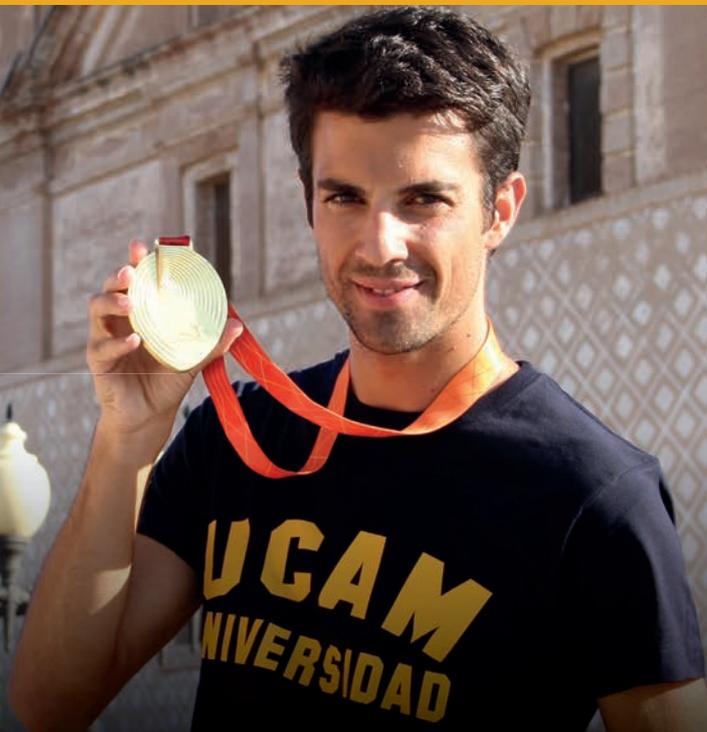
1. Alvero-Cruz JR, Correas-Gómez L, Ronconi M, Fernández-Vázquez R, Porta-Manzanaido JL. La Bioimpedancia eléctrica como método de estimación de la composición corporal: normas prácticas de utilización. *Rev Andal Med Deporte*. 2011;4(4):167-74.

2. Llames L, Baldomero V, Iglesias ML, Rodota LP. Valores del ángulo de fase por bioimpedancia eléctrica; estado nutricional y valor pronóstico. *Nutr Hosp*. 2013;28(2):286-95.
3. Cole KS, Cole RH. "Dispersion and absorption in dielectrics". *J. Chem. Phys.* 1941;9:341-51.
4. Simić-Krstić JB, Kalauzi AJ, Ribar SN, Matija LR, Misevic GN. Electrical properties of human skin as aging biomarkers. *Exp Gerontol*. 2014;57:163-7.
5. Micheli ML, Pagani L, Marella M, Gulisano M, Piccoli A, Angelini F, Burtcher M, Gatterer H. Bioimpedance and Impedance Vector Patterns as Predictors of Male Elite Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform*. 2014;9:532-9.
6. Marini E, Buffa R, Saragat B, Coin A, Toffanello ED, Berton L, Manzato E, Sergi G. The potential of classic and specific bioelectrical impedance vector analysis for the assessment of sarcopenia and sarcopenic obesity. *Clin Interv Aging*. 2012;7:585-91.
7. Kyle UG, Genton L, Pichard C. Low phase angle determined by bioelectrical impedance analysis is associated with malnutrition and nutritional risk at hospital admission. *Clin Nutr*. 2013;32(2):294-9.
8. Buffa R, Mereu E, Comandini O, Ibañez ME, Marini E. Bioelectrical impedance vector analysis (BIVA) for assessment of two-compartment body composition. *Eur J Clin Nutr*. 2014;68:1234-240.
9. Nescolarde L, Yanguas J, Lukaski H, Alomar X, Rosell-Ferrer J, Rodas G. Localized bioimpedance to assess muscle injury. *Physiol Meas*. 2013;34(2):237-45.
10. Peine S, Knabe S, Carrero I, Brundert M, Wilhelm J, Ewert A, *et al*. Generation of normal ranges for measures of body composition in adults based on bioelectrical impedance analysis using the Seca mBCA. *IJBCR*. 2013;11(3):67-76.
11. Utter AC, McNulty SR, Riha BF, Pratt BA, Grose JM. The validity of multifrequency bioelectrical impedance measures to detect changes in the hydration status of wrestlers during acute dehydration and rehydration. *J Strength Cond Res*. 2012;26(1):9-15.
12. Maly T, Mala L, Zahalka F, Balaš J, Čada M. Comparison of body composition between two elite women's volleyball teams. *Acta Univ Palacki Olomuc Gymn*. 2011;4(1):15-22.
13. ISAK. International Standards for Anthropometric Assessment. International Society for the Advancement of Kinanthropometry. 2011; p.139.
14. Norton K, Olds T. Morphological evolution of athletes over the 20th century: causes and consequences. *Sports Med*. 2001;31(11):763-83.
15. Koury JC, Trugo N, Torres AG. Phase angle and bioelectrical impedance vectors in adolescent and adult male athletes. *Int J Sports Physiol Perform*. 2014;9(5):798-04.
16. Núñez AI, Román A, Lara A, Morales R, Marañón M, Castillo J, *et al*. Modificaciones de parámetros bioeléctricos después del entrenamiento en atletas de béisbol. *Bio & Fis. Med Cubana*. 2004;37-43.
17. Kim CH, Park JH, Kim H, Chung S, Park SH. Modeling the human body shape in bioimpedance vector measurements. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2010:3872-4.
18. Barbosa MC, Barros AJ, Wang J, Heymsfield SB, Pierson RN Jr. Bioelectrical impedance analysis: population reference values for phase angle by age and sex. *Am J Clin Nutr*. 2005;82(1):49-52.
19. Bosty-Westphal A, Danielzik S, Dörhöfer RP, Later W, Wiese S, Müller MJ. Phase angle from bioelectrical impedance analysis: population reference values by age, sex, and body mass index. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2006;30(4):309-16.
20. Kyle UG, Genon L, Karsgaard VL, Raguso CA, Dupertuis YM, Pichard C. Percentiles (10,25,75 and 90th) for phase angle (PhA), determined by bioelectrical impedance analysis (BIA) in healthy adults aged 20-75 yr [abstract]. *Clin Nutr*. 2004;23:758.
21. Irurtia A, Carrasco M, Rodríguez L, Iglesias X, Brotons D, Rodríguez FA. Bioelectrical impedance vector migration induced by training in young competitive synchronized swimmers. En: Mason B. (Ed.). *Proceedings of the XIIth International Symposium for Biomechanics and Medicine In Swimming*. Canberra: Australian Institute of Sport; 2014.p.426-430.

Espíritu **UCAM** Espíritu Universitario

Miguel Ángel López

Campeón del Mundo en 20 km. marcha (Pekín, 2015)
Estudiante y deportista de la UCAM



- **Actividad Física Terapéutica** ⁽²⁾
- **Alto Rendimiento Deportivo:**
 - Fuerza y Acondicionamiento Físico** ⁽²⁾
- **Performance Sport:**
 - Strength and Conditioning** ⁽¹⁾
- **Audiología** ⁽²⁾
- **Balneoterapia e Hidroterapia** ⁽¹⁾
- **Desarrollos Avanzados de Oncología Personalizada Multidisciplinar** ⁽¹⁾
- **Enfermería de Salud Laboral** ⁽²⁾
- **Enfermería de Urgencias, Emergencias y Cuidados Especiales** ⁽¹⁾
- **Fisioterapia en el Deporte** ⁽¹⁾
- **Geriatría y Gerontología:**
 - Atención a la dependencia** ⁽²⁾
- **Gestión y Planificación de Servicios Sanitarios** ⁽²⁾
- **Gestión Integral del Riesgo Cardiovascular** ⁽²⁾
- **Ingeniería Biomédica** ⁽¹⁾
- **Investigación en Ciencias Sociosanitarias** ⁽²⁾
- **Investigación en Educación Física y Salud** ⁽²⁾
- **Neuro-Rehabilitación** ⁽¹⁾
- **Nutrición Clínica** ⁽¹⁾
- **Nutrición y Seguridad Alimentaria** ⁽²⁾
- **Nutrición en la Actividad Física y Deporte** ⁽¹⁾
- **Osteopatía y Terapia Manual** ⁽²⁾
- **Patología Molecular Humana** ⁽²⁾
- **Psicología General Sanitaria** ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Presencial ⁽²⁾ Semipresencial