

Utilidad de la espectroscopia de impedancias para la determinación de la composición corporal en humanos

A. Peláiz-Barranco^a, E. Barranco-Hernández^b, O. García-Zaldívar^a, I. González-Carmenate^a y Ch. Magrans-Buch^c; pelaiz@fisica.uh.cu

a) Facultad de Física-Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, Universidad de La Habana. San Lázaro y L, Vedado. La Habana 10400, Cuba.

b) Servicio de Nefrología, Hospital "Hermanos Ameijeiras". Ciudad de La Habana, Cuba.

c) Instituto de Nefrología "Abelardo Buch López". Ciudad de La Habana, Cuba.

Recibido el 1/6/2006. Aprobado en versión final el 1/12/2006.

Sumario: La determinación de la composición corporal es muy importante para el análisis de la hidratación y nutrición en humanos. El paciente en hemodiálisis suele sufrir importantes variaciones de su hidratación y deterioro nutricional que repercute negativamente en su calidad de vida. Actualmente la técnica de bioimpedancia (espectroscopia de impedancias) muestra gran utilidad para estos estudios, sobre otras técnicas tradicionales, por ser un método simple, confiable, no invasivo y barato. Este trabajo presenta el estudio realizado en 20 personas sanas aplicando una corriente de 800 microamperes en un intervalo de 5-200 kHz. Los resultados se modelaron satisfactoriamente y se determinaron los parámetros físicos, posteriormente asociados a los parámetros clínicos de interés. Se obtuvieron resultados acordes a los reportados en la literatura, permitiendo validar el estudio realizado sobre la composición corporal con vistas a su aplicación en pacientes en hemodiálisis para su mejor evaluación clínica y la adecuación de su tratamiento.

Abstract. Measurements of body composition have become as important procedure in hydrate and nutrition assessments. The patients in hemodialysis usually suffer important variations of their hydrate and nutritional deterioration that rebounds negatively in their quality of life. Today, the bioimpedance technique (impedance spectroscopy) shows a better utility for these studies than that of other techniques because it is a simple, cheap, safe and noninvasive method. This paper presents the study carried out in 20 healthy people by using this technique, applying 800 microamperes of current in a wide frequency range (5-200 kHz). The experimental results showed a good agreement with the theoretical values, obtained by using the Cole-Cole representation. The physical parameters were determined and later associated to the clinical parameters. The clinical parameters showed a good agreement with previous reports, which validate this kind of study to be applied to patients in hemodialysis in order to make a better clinical analysis of them.

Palabras clave. Biological effects of electric fields, 87.50.Rr, electrical impedance electrical, 84.37.+q

1 Introducción

La determinación de la composición corporal se ha convertido en la actualidad en un importante procedimiento para el análisis del estado nutricional y de hidratación en humanos. Muchas enfermedades se acompañan

de cambios en la composición corporal. El nefrótico crónico en tratamiento en hemodiálisis (HD), suele sufrir importantes variaciones de su hidratación (por defecto o exceso) y deterioro nutricional, cuyos efectos repercuten negativamente en su calidad de vida. Diversas técnicas¹⁻³ han sido desarrolladas para la estimación de parámetros clínicos como el peso seco, el volumen total de agua en

el organismo, el peso graso, entre otros. Podemos mencionar la ecografía del diámetro de la vena cava inferior, la dilución de isótopos, la densitometría, métodos antropométricos, entre otras. Todas ellas son de alto costo, en general invasivas y establecen consideraciones que no son siempre válidas.

Con el objetivo de establecer un método de medición que resolviera las dificultades que se presentaban con las técnicas ya establecidas, se comenzó a emplear la espectroscopia de impedancias (denominada bioimpedancia en este tipo de estudio), la cual tenía ya una amplia aplicación en diversas ramas de la física y la química⁴.

El método de medición consiste en aplicar una corriente eléctrica alterna al cuerpo humano^{1,5}, imperceptible por la persona en cuestión, y la correspondiente medición de la impedancia eléctrica (Z) y el ángulo de fase (ϕ , desfase entre corriente y tensión eléctrica). A partir de estos parámetros físicos, ya sea a una frecuencia fija^{1,5,9} o en un amplio intervalo de frecuencias^{1,5,8,10} se pueden estimar el volumen de líquido extra- (ECW) e intra-celular (ICW), el volumen de agua total (TBW), el peso seco, entre otros parámetros^{1,5,11}. La estimación de estos parámetros clínicos se realiza a través de expresiones matemáticas que los relacionan con los parámetros físicos determinados experimentalmente, las cuales son validadas por las técnicas convencionales¹. El empleo de esta técnica representa un método seguro, rápido, no invasivo, y de menor costo que las técnicas tradicionalmente conocidas². Mediante ella es posible evaluar el estado nutricional y de hidratación del paciente simultáneamente¹².

Este trabajo reporta el estudio realizado en 20 personas sanas con relación al volumen de líquido extra- (ECW) e intra-celular (ICW), el volumen de agua total (TBW), masa libre de grasa (FFM) y masa grasa (FM), con el objetivo de validar el empleo de la técnica para su aplicación en pacientes en tratamiento en hemodiálisis para su mejor evaluación clínica y la adecuación de su tratamiento.

2 Principios Físicos

El empleo de la espectroscopia de impedancias en sistemas biológicos parte del principio de que los tejidos se comportan como conductores de la corriente eléctrica y/o dieléctricos dependiendo de su composición^{1,5,6}. Por ejemplo, en los tejidos blandos no grasos, los fluidos intra- y extra-celulares son muy buenos conductores; por su parte los huesos constituyen buenos aislantes y el tejido adiposo puede tener ambos tipos de comportamientos según su composición. La conducción eléctrica que se presenta es del tipo iónica y está relacionada con el contenido, concentración y movilidad de iones libres de sales, bases y ácidos.

El procedimiento experimental empleado se basa en la aplicación de una corriente eléctrica alterna al cuerpo humano^{1,5}, de una intensidad pequeña (imperceptible por

el cuerpo humano), y la correspondiente medición de la impedancia eléctrica (Z) y el ángulo de fase (ϕ).

El vector impedancia (Z), parámetro físico complejo (posee parte real e imaginaria), en un conductor cilíndrico es proporcional a la longitud (L) e inversamente proporcional a la sección transversal (A), $Z = \rho L/A$, donde ρ es la resistividad eléctrica. Precisamente en esta proporcionalidad se basa el cálculo de los volúmenes de los fluidos del cuerpo humano considerando al cuerpo humano como un cilindro isótropo. La impedancia Z representa la oposición del material en cuestión (biológico o de otro tipo) al paso de la corriente eléctrica. Se puede descomponer en diferentes componentes: resistencia, reactancia capacitiva, reactancia inductiva; todas dependientes de la frecuencia de medición.

En el caso de sistemas biológicos tendremos dos componentes: la resistencia (R), dada por el paso de la corriente eléctrica a través de los fluidos intra (ICW) y extra-celulares (ECW), y la reactancia (X_c), dada por las propiedades dieléctricas de los tejidos^{1,5}. Debe entenderse por propiedades dieléctricas las asociadas a la acumulación temporal de cargas sobre las membranas celulares o sobre otras interfaces, tal que físicamente pueden verse las estructuras como condensadores ante el paso de la corriente eléctrica. Matemáticamente tendremos,

$$Z^2 = X_c^2 + R^2 \quad (1)$$

donde la relación entre ambas componentes está dada por el ángulo de fase (ϕ) en la representación X_c vs R . En tal representación, Z estará dada por el vector que parte del origen hacia el punto que representa cada frecuencia de medición (Figura 1).

En los métodos de análisis convencionales^{1,5} se considera que el cuerpo es un conductor isótropo cilíndrico de sección constante, y con ecuaciones de regresión se estima el volumen eléctrico total (agua corporal total, TBW) a partir de la componente R , y de esta, asumiendo una hidratación constante de los tejidos blandos, la masa libre de grasa (FFM). Por diferencia de la masa libre de grasa del peso corporal es estimada la masa grasa (FM). En la mayor parte de las ecuaciones de regresión (ecuaciones de predicción) el componente X_c es ignorado. Ahora, un análisis más riguroso es el tipo vectorial, donde se consideran ambas contribuciones, R y X_c , del vector impedancia. En este caso no se hacen consideraciones iniciales sobre la isotropía de los tejidos ni sobre modelos de tejidos del cuerpo humano.

El análisis de impedancia puede efectuarse mediante diferentes métodos^{1,5,10}. Los más comunes son a una frecuencia fija (generalmente 50 kHz) o barriendo un amplio intervalo de frecuencias (1kHz-1MHz), donde se manifiestan principalmente fenómenos de polarización y relajación en las interfases (efecto Maxwell-Wagner)¹³. Cada tejido contribuirá con sus propiedades dieléctricas según sea el estado clínico del organismo. Los estudios a frecuencia fija se basan en ecuaciones empíricas y no permiten la determinación precisa de parámetros de interés como el ICW. Por su parte, el método de estudio

considerando además variables como sexo, peso y edad. Partiendo de los resultados obtenidos a partir del modelado de la respuesta experimental, se determinaron estos parámetros clínicos, partiendo de ecuaciones establecidas en la literatura especializada, considerando su exactitud y la rigurosidad de su validación mediante otras técnicas. Se tuvo en cuenta además que las ecuaciones empleadas fuesen establecidas mediante el método de multifrecuencias (nuestro caso), pues muchas de las ecuaciones propuestas y validadas son referidas al método de medición a una frecuencia simple (generalmente 50 kHz). La Tabla 2 muestra las expresiones utilizadas en cada caso, su correlación (r^2), desviación estándar (DS), la referencia correspondiente y la técnica de validación empleada.

Para el caso de los parámetros ICW y FM se emplearon la expresiones (3) y (4), que los relacionan con los parámetros previamente conocidos o calculados:

$$ICW = TBW - ECW \quad (3)$$

$$FM = P - FFM \quad (4)$$

La Tabla 3 muestra los resultados medios para los parámetros TBW, ECW, ICW, FFM y FM con su correspondiente desviación estándar. Los resultados obtenidos son similares a los reportados por otros autores^{6-7,10}, con mejores valores para la desviación estándar. Luego, la técnica empleada nos permite obtener buenos resultados para los parámetros clínicos de interés, lo cual la valida para su aplicación en pacientes en tratamiento en hemodiálisis.

Adicionalmente a este tipo de análisis, que permite cuantificar de forma directa determinados parámetros clínicos con parámetros eléctricos, pueden realizarse valoraciones adicionales a través del análisis vectorial de la respuesta eléctrica mediante la dependencia X_c vs R y su análisis vectorial⁶. 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. Es decir, a través de la bioimpedancia es posible abordar diferentes aspectos de importancia para el tratamiento en hemodiálisis con vistas a una mejor evaluación clínica y la adecuación del tratamiento.

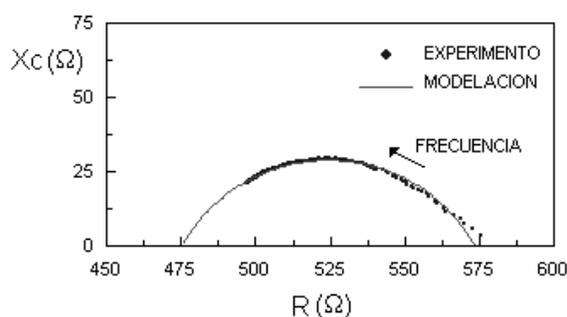


Figura 2. Dependencia experimental y teórica X_c - R obtenida en uno de los casos estudiados, como ejemplo del resultado obtenido en todas las personas analizadas.

5 Conclusiones

Se presentó el estudio realizado en 20 personas sanas con relación al volumen de líquido extra- (ECW) e intra-celular (ICW), el volumen de agua total (TBW), masa libre de grasa (FFM) y masa grasa (FM), empleando el análisis de impedancia eléctrica en un amplio intervalo de frecuencias. Los resultados experimentales fueron modelados lográndose muy buen ajuste entre los datos experimentales y la curva teórica derivada del empleo circuito equivalente correspondiente. A partir de los parámetros eléctricos se calcularon los parámetros clínicos, obteniéndose resultados en correspondencia a los reportados en la literatura. Esto permitió validar el estudio realizado sobre la composición corporal, mediante la bioimpedancia, con vistas a su aplicación en pacientes en tratamiento en hemodiálisis para su mejor evaluación clínica y la adecuación de su tratamiento.

Tabla I

Características físicas de las personas estudiadas y parámetros eléctricos determinados a partir del modelado de la respuesta experimental.

	Total (n=20)		Hombres (n=13)		Mujeres (n=7)	
	Valor Medio	DS	Valor Medio	DS	Valor Medio	DS
Edad (años)	29.85	10.36	27.31	6.71	34.57	14.48
Peso (kg)	63.0	9.96	67.85	9.29	63.43	11.25
Estatura (m)	1.69	0.09	1.71	0.09	1.65	0.08
BMI (kg/m ²)	23.26	3.48	23.17	2.95	23.40	4.57
$R_0=R_{ECW}$ (Ω)	617.31	43.84	596.02	25.35	656.86	44.65
R_∞ (Ω)	451.49	41.74	430.58	31.79	490.31	28.08
R_{ICW} (Ω)	1748.96	451.94	1605.43	399.76	2015.54	446.82
X_c en f_c (Ω)	53.34	22.10	52.27	23.96	55.19	20.17

Tabla II

Ecuaciones para adultos, recomendadas en la literatura por su exactitud y la rigurosidad de su validación mediante otras técnicas. Se muestra en cada caso su correlación (r^2), desviación estándar (DS), la referencia correspondiente y la técnica de validación empleada.

Ecuación	r^2	DS	Referencia	Técnica de Validación
$TBW = 0.60 + \left(0.50 \frac{H^2}{R_o}\right) + (0.186 \cdot P)$	0.85	2.1	10	2H_2O
$ECW = 1.2 + \left(0.194 \frac{H^2}{R_o}\right) + (0.115 \cdot P)$	0.65	2.2	10	NaBr
$FFM(\text{Hombres}) = 0.115 + \left(0.518 \frac{H^2}{R_o}\right) + (0.231 \cdot P) + (0.130 \cdot X_C)$	0.97	1.8	15	DXA
$FFM(\text{Mujeres}) = -4.104 + \left(0.518 \frac{H^2}{R_o}\right) + (0.231 \cdot P) + (0.130 \cdot X_C)$	0.97	1.8		

Tabla III

Parámetros clínicos calculados a partir de la bioimpedancia eléctrica.

	Total (n=20)		Hombres (n=13)		Mujeres (n=7)	
	Valor Medio	DS	Valor Medio	DS	Valor Medio	DS
TBW (l)	36.24	4.10	37.86	3.36	33.22	3.79
ECW (l)	17.87	1.95	18.56	1.95	16.57	1.90
ICW (l)	18.37	2.18	19.30	1.74	16.64	1.91
FFM (kg)	44.72	6.08	47.87	4.38	39.30	4.64
FM (kg)	20.97	7.06	19.12	6.44	24.13	7.43

Agradecimientos

La Dra. A. Peláiz-Barranco desea agradecer a la Academia de Ciencias del Tercer Mundo (TWAS) por el apoyo financiero para el proyecto RG/PHYS/LA No. 99-050.

Referencias

- Kyle U. G., Boseaus I., De Lorenzo A. D., Deurenberg P., Elias M., Gómez J. M., Heitmann B. L., Kent-Smith L., Melchior J. C., Pirlich M., Scharfetter H., Schols A. M. W. J., Pichard C., *Clinical Nutrition* 23, 1126 (2004).
- Jaeger J. Q., Mehta R. L., *Journal of American Society of Nephrology* 10, 392 (1999).
- Rodríguez H. J., Domenci R., Diroli A., Goykhman I., *Kidney International* 68, 854 (2005).
- Macdonald J. R., in *Impedance Spectroscopy* (John & Sons, 1987).
- Kushner R. F., Facn M. D., *Journal of American College of Nutrition* 11, 199 (1992).
- Piccoli A., Nescolarde L. D., Rosell J., *Nefrología XXII*, 228 (2002).
- Van Marken Lichtenbelt W. D., Westerterp K. R., Wouters L., Luijendijk S. C. M., *American Journal of Clinical Nutrition* 60, 159 (1994).
- Piccoli A., Pastori G., Guizzo M., Rebeschini M., Naso A., Cascone C., *Kidney International* 67, 301 (2005).
- Di Iorio B. R., Scalfi L., Terracciano V., Bellizzi V., *Kidney International* 65, 2435 (2005).
- Cornish B. H., Ward L. C., Thomas B. J., Jebb S. A., Elia M., *European Journal of Clinical Nutrition* 50, 159 (1996).
- Guida B., Laccetti R., Trio R., Procino A., Romano G., Memoli B., *Kidney International* 67, 1637 (2005).
- Kushner R. F., De Vries P. M. J. M., Gudivaka R., *American Journal of Clinical Nutrition* 64, 503S (1996).
- Jonscher A. K., in *Dielectric Relaxation in Solids* (Chelsea Dielectrics Press, London, 1983).
- Cole K. S., Cole R. H., *Journal of Chemical Physics* 9, 341 (1941).
- Kyle U. G., Genton L., Karsegard L., Slosman D. O., Richard C., *Nutrition* 17, 248 (2001).
- Houtkooper L. B., Lohman T. G., Going S. B., Howell W. H., *American Journal of Clinical Nutrition* 64, 436S (1996).
- Johnson D., in *ZView 2.1b* (Scribner Associates, Inc., 1990).
- Dumler F., Kilates M. C., *Hong Kong Journal of Nephrology* 5, 24 (2003).