

DetECCIÓN DEL ESTADO DE LA FUNCIÓN PULMONAR MEDIANTE TOMOGRAFÍA POR IMPEDANCIA ELÉCTRICA

Rosales-Nachón M.A.¹, Herrera-Mosqueda M.¹, Serrato-Fuentes J.P.¹, Murillo-Arredondo R.¹, Balleza-Ordaz J.M.¹

¹Departamento de Ingeniería Física, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato, Campus - León.

*Primer autor de correspondencia: ma.rosalesnachon@ugto.mx

*Segundo autor de correspondencia (Asesor): jm.balleza@ugto.mx

Resumen

En el presente estudio se analizaron los cambios de impedancia eléctrica debidos a la ventilación pulmonar mediante tomografía por impedancia eléctrica (TIE) usando diferentes configuraciones de 4 electrodos seleccionadas del arreglo principal de 16 electrodos de la TIE. Este estudio se realizó en un grupo de 10 pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). Para ello, de las matrices de reconstrucción TIE de cada maniobra respiratoria se seleccionaron aquellas configuraciones de electrodos cuyas líneas equipotenciales abarcarán ambos pulmones. De esta selección, los pares de inyección fueron 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 y 5-6, con sus respectivos pares de detección 9-10, 10-11, 11-12 y 12-13. Del análisis de los cambios de impedancia, se evidenció que las menores determinaciones fueron determinadas con el par detector 10-11. Además, se evidenció que las varianzas de las determinaciones de impedancia no fueron significativas para los pares de inyección 1-2, 2-3 y 3-4 usando el par detector 10-11. De estos resultados podemos concluir que usando las configuraciones anteriores es posible detectar cambios en el parénquima pulmonar debido a alguna afección o causa externa.

Palabras clave: tomografía por impedancia eléctrica; respiración; EPOC.

Introducción

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) es una patología que se ve frecuentemente en las consultas de atención primaria (AP) y de neumología; y es considerada como una de las mayores causas de morbilidad y mortalidad en los países industrializados. A diferencia de otras enfermedades crónicas, la EPOC presenta un gran potencial para modificar su incidencia, prevalencia y morbilidad mediante la prevención del factor de riesgo (tabaquismo) y una atención multidisciplinaria en los centros sanitarios. Actualmente en el campo de la neumología no existe técnica que permita monitorizar de manera no invasiva el estado de la función pulmonar en pacientes con EPOC. El método de referencia, el neumotacómetro, al necesitar una boquilla y una pinza nasal modifica de forma espontánea el comportamiento de la respiración (Gilbert *et al* 1972; Askanazi *et al* 1980; Perez y Tobin 1985; Paek y MacCool 1992). Estos elementos modifican el patrón ventilatorio incrementando sus determinaciones. Los métodos alternativos, en especial la pletismografía por bandas inductivas, se han abandonado casi por completo debido a los problemas de calibración que resultaban muchas veces insoslayables (Whyte *et al* 1991; Stick *et al* 1992; Cohen *et al* 1997). Por lo anterior, nuestro equipo de investigación propone el uso de la tomografía por impedancia eléctrica (TIE) para monitorizar de la función pulmonar. La TIE es una técnica no invasiva y libre de radiaciones que permite generar una imagen tomográfica de los pulmones a través de la reconstrucción de una serie de medidas de impedancia obtenidas de un arreglo de electrodos superficiales colocados alrededor del tórax a nivel del sexto espacio intercostal. El objetivo general del presente proyecto es analizar las señales obtenidas por TIE correspondientes a la ventilación pulmonar de un grupo de pacientes con EPOC. Los cambios de impedancia se obtendrán a partir de una serie de medidas tetrapolares obtenidas del arreglo principal de 16 electrodos. Posteriormente se analizarán las matrices de reconstrucción para determinar las variaciones de impedancia.

Material y métodos

Tomografía por impedancia eléctrica (TIE)

El equipo de tomografía por impedancia eléctrica (TIE4-sys) es la cuarta versión de un prototipo diseñado por el Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica de Cataluña. El TIE4-sys permite obtener de la representación gráfica de una sección transversal al nivel del sexto espacio intercostal, una señal volumen-tiempo. La calibración del equipo se efectuó mediante una imagen de referencia de 64 x 64 píxeles. Inicialmente la adquisición de señales se consigue a partir de 16 electrodos colocados alrededor del tórax (Red Dot 2560 de 3M, London, Ontario, Canadá) (fig. 1). El equipo TIE-4 genera una corriente a una frecuencia de 48 kHz, que es conducida a un par de

multiplexores, que posteriormente la inyectarán al paciente mediante otro par de electrodos. El resto de los electrodos mide secuencialmente la tensión que se induce en la superficie del paciente, con ayuda de un sistema de detección. Una vez que todas las medidas se han realizado para ese par inyector, se trasladan los puntos de inyección y se comienza un nuevo ciclo de medida. El procedimiento se repite hasta haber utilizado todos los electrodos como inyectores y detectores. El equipo, probado previamente, se utiliza para otros registros en el laboratorio (Serrano *et al.*, 2002).

Voluntarios

Se analizaron los datos de un grupo de 10 pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). Los pacientes fueron diagnosticados en el Departamento de Neumología del Hospital de la Santa Creu i Sant Pau, Barcelona, España. La monitorización de la función pulmonar mediante tomografía por impedancia eléctrica de cada paciente se realizó en un estudio previo realizado por Balleza *et al.*, 2007, 2009.

Matrices de reconstrucción y configuraciones de electrodos tetrapolares

En este estudio se analizaron 494 matrices de reconstrucción, donde la primera matriz representa el estado inicial respecto al cual se obtendrán las variaciones de conductividad. A esta matriz se le conoce como matriz de referencia. En este estudio para estimar las variaciones de volumen circulante (VC) se generó una matriz de referencia a partir del promedio de 200 matrices con un tiempo aproximado de adquisición de 12 segundos. A partir de estas matrices se obtuvieron los cambios de bioimpedancia eléctrica correspondientes a los electrodos de inyección 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 y 5-6, cada uno con sus respectivos electrodos de detección 9-10, 10-11, 11-12 y 12-13. Estos pares se muestra en la Figura 1.

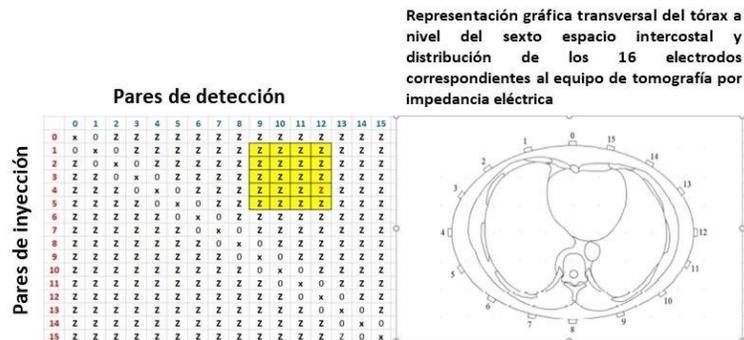


Figura 1. Pares de electrodos de inyección y detección donde se obtuvieron los cambios de bioimpedancia eléctrica debidos a la ventilación pulmonar. En color amarillo se evidencias los elementos correspondientes a cada electrodo de inyección y detección.

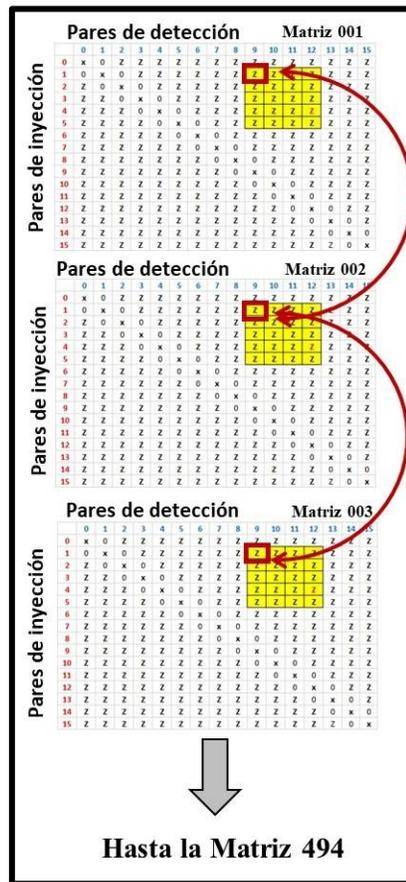


Figura 2. Esquema de detección de los cambios de bioimpedancia eléctrica correspondientes a los pares de inyección y detección de cada matriz de reconstrucción.

Algoritmo de obtención de señales tetrapolares de bioimpedancia eléctrica

El algoritmo utilizado en este estudio detecta las determinaciones de impedancia correspondientes a un determinado par de electrodos tanto de inyección como detección de las 494 matrices de reconstrucción que se obtuvieron de la monitorización del volumen circulante de cada paciente diagnosticado con EPOC, ver Figura 2. Para el programa se utilizó el software libre Python.

Análisis estadístico

La distribución de los datos se realizó mediante una prueba de Shapiro-Wilk. En caso de evidenciar una distribución normal, estos se representarán mediante media y desviación estándar. En caso contrario, estos se representarán mediante cuartiles al 25%, 50% y 75%. Los cambios de bioimpedancia eléctrica correspondientes a los pares inyectores y sus cuatro respectivos pares detectores se analizaron mediante una prueba estadística de BONFERRONI, para analizar la variabilidad de las varianzas de cada configuración. El valor de significancia fue establecido en $p < 0.05$.

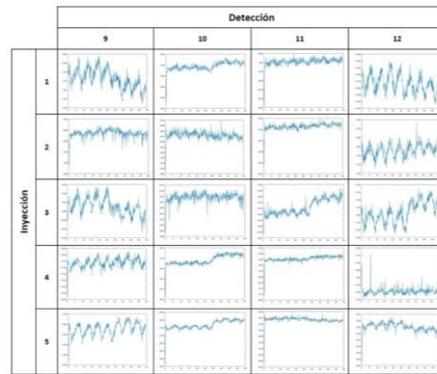


Figura 3. Cambios de las determinaciones de bioimpedancia eléctrica obtenidos a partir de los electrodos de inyección 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 y 5-6; y sus respectivos electrodos de detección 9-10, 10-11, 11-12 y 12-13.

Resultados

Se registraron y analizaron los cambios de bioimpedancia eléctrica de cada paciente debidos a la ventilación pulmonar usando las distintas configuraciones de 4 electrodos obtenidas del arreglo principal de 16 electrodos de la TIE, ver Figura 3. De las determinaciones de bioimpedancia eléctrica se evidenció que las menores determinaciones se registraron usando todos los electrodos de inyección y el par de electrodos de detección 10-11. Este resultado es de interés debido a que el valor de impedancia evidencia en mayor medida el estado del parénquima pulmonar. Los datos de esta configuración se representan en términos de los cuartiles al 25%, 50% y 75%, ver Figura 4. Esto debido a que los datos no evidenciaron una distribución normal (Shapiro-Wilk, $p < 0.05$). El valor del cuartil al 25%, 50% y 75% usando los electrodos de inyección 1-2 fue de 144 Ω , 206 Ω y 250 Ω ; usando los electrodos de inyección 2-3 fue de 177 Ω , 193 Ω y 231 Ω ; con el par 3-4 fue de 269 Ω , 294 Ω y 331 Ω ; usando el par 4-5 fue de 267 Ω , 394 Ω y 429 Ω ; finalmente, usando el par de inyección 5-6 fue de 223 Ω , 346 Ω y 500 Ω . En donde, la menor variabilidad se evidenció usando los pares de inyección 1-2, 2-3 y 3-4, con el par detector 10-11 (Bonferroni $p > 0.05$). Estos datos se presentan en la Figura 4.

Electrodos de Inyección detectando por el par de electrodos 10 - 11					
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
1	137	66	110	110	199
2	60	102	114	243	208
3	382	338	295	440	558
4	74	213	357	288	201
5	197	196	264	477	665
6	328	174	284	406	386
7	164	186	314	261	268
8	241	190	345	392	306
9	215	237	293	436	520
10	253	329	337	396	440
25%	144	177	269	267	223
50%	206	193	294	394	346
75%	250	231	331	429	500

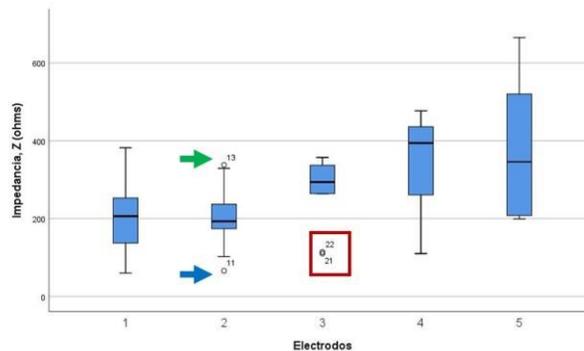


Figura 4. Valores del cuartil al 25%, 50% y 75% de las determinaciones de bioimpedancia usando los electrodos de inyección 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 y 5-6; y su respectivo par de electrodos de detección 10-11.

Discusión y conclusiones

El objetivo general del presente trabajo de investigación fue analizar los cambios de bioimpedancia eléctrica debido a la ventilación pulmonar mediante TIE usando diferentes configuraciones de cuatro electrodos. Estos arreglos fueron

seleccionados del arreglo principal de 16 electrodos colocados alrededor del tórax en un grupo de pacientes con EPOC. Para ello se analizaron las matrices de reconstrucción de cada paciente destinadas para obtener las imágenes TIE correspondientes a la respiración circulante. De cada matriz se identificaron aquellos elementos donde se obtenían las determinaciones de impedancia para los pares de inyección 1-2, 2-3, 4-5 y 5-6, y sus respectivos pares de detección 9-10, 10-11, 11-12 y 12-13. Estos pares fueron seleccionados debido a que sus líneas equipotenciales se distribuían a lo largo de la sección transversal del tórax.

De los resultados obtenidos se evidenció que los menores cambios de impedancia fueron determinados por el par de electrodos de detección 10-11. Usando este par de electrodos, no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre las variancias de las determinaciones de impedancia obtenidas con los pares de inyección 1-2, 2-3 y 3-4. En cambio, la variabilidad fue significativa entre los pares de inyección 4-5 y 5-6. Esto puede deberse a 1) las características antropométricas de cada paciente, 2) que ambos arreglos de electrodos (4-5 y 5-6 junto con el par detector 10-11) evidencian valores de impedancia debida a la distribución del tejido adiposo alrededor del tórax, y 3) a los artefactos producidos durante el ejercicio respiratorio.

De lo anterior, se concluye que las configuraciones idóneas para monitorizar el estado del tejido del parénquima pulmonar son usando los pares de inyección 1-2, 2-3 y 3-4 con el par detector 1011. Estas configuraciones garantizan que las variaciones de bioimpedancia eléctrica estarán determinadas por las áreas de las líneas equipotenciales de ambos pulmones. Se plantea la hipótesis que con estas configuraciones es posible monitorear los cambios del parénquima pulmonar bajo la influencia de un agente externo (ejemplo consumo de tabaco), sin embargo, para comprobar nuestro planteamiento es necesario comparar los cambios de impedancia de dichas configuraciones con los parámetros de las pruebas de función pulmonar, lo que define la siguiente etapa de la investigación.

Referencias

- Askanazi J., Silverberg P. A., Foster R. J., Hyman A. I. (1980). Effects of respiratory apparatus on breathing pattern. *J Appl Physiol*, 48:577-580.
- Cohen K. P., Ladd W. M., Beams, D. M., Sheers W. S., Radwin R. G., Tompkins W. J., Webster J. G. (1997). Comparison of impedance and inductance ventilation sensors on adults during breathing, motion and simulated airway obstruction. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 44(7):555-566.
- Gilbert, R., Auchincloss J. H., Brodsky J., Boden W. (1972). Changes in tidal volume, frequency and ventilation induced by their measurement. *J Appl Physiol*, 33:252-254.
- Paek D. and McCool D. (1992) Breathing patterns during varied activities. *J Appl Physiol*, 73:887-893.
- Perez, W. and Tobin M. J. (1985) Separation of factor responsible for change in breathing pattern induced by instrumentation. *J Appl Physiol*, 59:1515-1520.
- Stick S. M., Ellis E., LeSouëf P. N., Sly P. D. (1992). Validation of respiratory inductance plethysmography ("Respirace") for the measurement of tidal breathing parameters in newborns. *Pediatric Pulmonology*, 14(3):187-191.
- Whyte K. F., Gugger M., Gould G. A., Molloy J., Wraith P. K., Douglas N. J. (1991). Accuracy of respiratory inductive plethysmograph in measuring tidal volume during sleep. *J Appl Physiol*, 71:1866-1871.
- Serrano E, De Lema B, Casas O, Feixas T, Calaf N, Camacho V, *et al*. Use of electrical impedance tomography (EIT) for the assessment of unilateral pulmonary function. *Physiol Meas*, 23 (2002), pp. 211-20
- Balleza, M., Fornos, J., Calaf, N., Feixas, T., Gonzalez, M., Anton, D., ... & Casan, P. (2007). Monitoring of breathing pattern at rest by electrical impedance tomography. *Archivos de Bronconeumología* ((English Edition)), 43(6), 300-303.
- Balleza, M., Calaf, N., Feixas, T., González, M., Antón, D., Riu, P. J., & Casan, P. (2009). Measuring breathing pattern in patients with chronic obstructive pulmonary disease by electrical impedance tomography. *Archivos de Bronconeumología* ((English Edition)), 45(7), 320-324.