

# Tomografía por impedancia eléctrica. Estandarización del procedimiento para su aplicación en neumología

Bruno de Lema<sup>a</sup>, Pere Casan<sup>a</sup> y Pere Riu<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Unitat de Funció Pulmonar. Departament de Pneumologia. Hospital de la Santa Creu i de Sant Pau. Facultat de Medicina. Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona. España.

<sup>b</sup>Centre de Recerca i Enginyeria Biomèdica (CREB). Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona. España.

Las condiciones para la obtención de información en imágenes y en números más adecuadas con la tomografía por impedancia eléctrica serían las siguientes: *a)* paciente en bipedestación o en sedestación, con las manos en la nuca; *b)* respiración en reposo; *c)* adquisición de al menos 300 imágenes (frecuencia de adquisición de 10 Hz), y *d)* medidas en el sexto espacio intercostal.

**Palabras claves:** Tomografía por impedancia eléctrica. Neumología.

Electrical Impedance Tomography: Standardizing the Procedure in Pneumology

The following conditions are optimal for obtaining an adequate number of informative images by electric impedance tomography: *a)* patient seated or standing with hands at the nape of the neck; *b)* breathing at rest; *c)* recording of at least 300 images (at a frequency of 10 Hz), and *d)* readings taken at the sixth intercostal space.

**Key words:** Electrical impedance tomography. Pneumology.

## Introducción

Las nuevas técnicas de imagen (tomografía axial computarizada de alta resolución, ecografía, etc.) han aportado a la neumología una mayor posibilidad diagnóstica y la capacidad de evaluar diferentes enfermedades. Por otra parte, la cuantificación numérica sigue siendo un elemento importante del soporte científico de nuestra actividad (volumen espiratorio forzado en el primer segundo, presión arterial de oxígeno y anhídrido carbónico, etc.). Conjuguar imagen y números en un mismo procedimiento es aún, en muchos casos, una quimera difícil de alcanzar.

La tomografía por impedancia eléctrica (TIE) es una técnica no invasiva para obtener imágenes torácicas, a la vez que permite cuantificar diferentes aspectos de la fisiología respiratoria. Se fundamenta en la determinación de la bioimpedancia eléctrica a través del tórax, a partir de unos electrodos colocados a su alrededor. Por una parte, se inyecta corriente eléctrica de alta frecuencia y baja intensidad, y por otra, los electrodos adyacentes captan las diferencias de potencial. A partir de ello se generan imágenes dinámicas cuantificables sobre la ventilación o la perfusión pulmonar.

Aunque la TIE está muy introducida en el mundo industrial (resistencia de materiales, dinámica de fluidos, etc.), su utilización en medicina es relativamente reciente y en neumología se remonta a la década de los ochenta<sup>1,2</sup>. En España las aportaciones son de los últimos años y se concentran en el estudio de viabilidad celular miocárdica y en fisiología respiratoria<sup>3-5</sup>.

En cuanto a las aplicaciones neumológicas de la TIE, los estudios realizados hasta el momento indican que es una técnica capaz de generar imágenes cuantificadas sobre variables fisiológicas del pulmón, el corazón y la circulación en general. La información morfológica del tórax es de baja resolución, si se compara con las técnicas de imagen disponibles. Sin embargo, la información fisiológica que proporciona la TIE puede ser útil para: *a)* valorar la función pulmonar unilateral (FPU); *b)* monitorizar el patrón ventilatorio; *c)* estudiar la ventilación y la perfusión de una zona de interés en el tórax; *d)* analizar los cambios de morfología en la vía aérea superior; *e)* estimar el volumen de fluidos torácicos (procedimiento experimental en pacientes con insuficiencia cardíaca o con edema agudo de pulmón), y *f)* medir la presión en el circuito arterial pulmonar. Todas estas aplicaciones, además, con la ventaja de poder realizarse a la cabecera del paciente, de forma no invasiva, sin usar radiaciones ionizantes (con interés especial en prematuros y neonatos o durante el embarazo) y con un bajo coste.

Nuestro objetivo es describir la aplicación de la TIE y analizar su comportamiento en un pequeño número de individuos para conocer su aplicación real en neumología.

Trabajo financiado en parte por la Red Respira. Instituto de Salud Carlos III-SEPAR (Expediente PI 20387) y Fundació Mataró TV3 (Proyecto 041530/31)

Correspondencia: Dr. P. Casan.

Unitat de Funció Pulmonar. Departament de Pneumologia.

Hospital de la Santa Creu i de Sant Pau.

Antoni M. Claret, 167. 08025 Barcelona. España.

Correo electrónico: pcasan@santpau.es

Recibido: 6-9-2005; aceptado para su publicación: 5-11-2005.

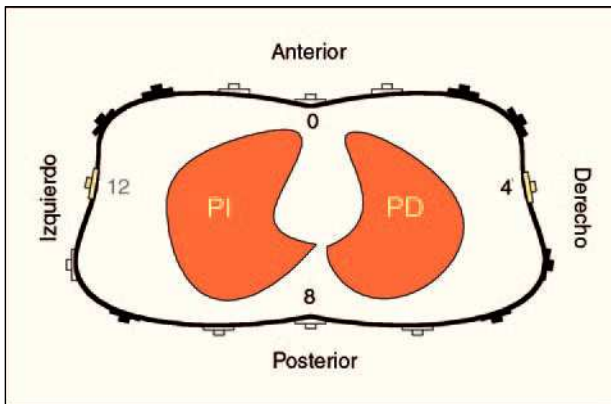


Fig. 1. Posición de los electrodos en el perímetro de una sección transversal del tórax. PD: pulmón derecho; PI: pulmón izquierdo.

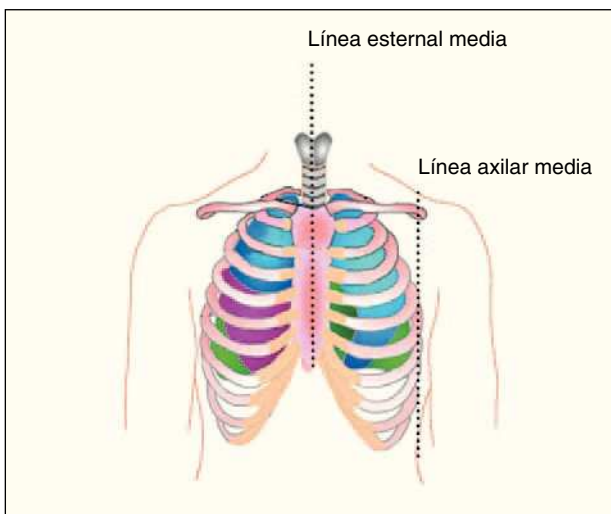


Fig. 2. Puntos y líneas anatómicas de referencia de la caja torácica.

## Métodos

### Determinaciones en voluntarios sanos

Realizamos las determinaciones en 10 voluntarios sanos (5 mujeres y 5 varones), con edad comprendida entre los 26 y los 48 años –edad media ( $\pm$  desviación estándar) de  $32 \pm 5$  años–. Los criterios de inclusión fueron no tener antecedentes de cirugía torácica o mamaria previa, no padecer malformaciones de la caja torácica ni enfermedades cutáneas en el tórax y aceptar libremente la participación en el estudio, previa información sobre la prueba. En este caso, el objetivo fue determinar la participación unilateral de cada pulmón.

### Procedimiento de utilización

Se utilizó un tomógrafo de impedancia eléctrica no comercial, un prototipo denominado TIE<sub>sys-4</sub>, diseñado y construido en la Universidad Politécnica de Cataluña. El equipo constaba de 16 conectores para electrodos. Éstos eran del tipo que se utiliza para pruebas de esfuerzo y para electrocardiografía convencional (Red Dot 3M para pruebas de esfuerzo). Para colocar los electrodos se seleccionó un conjunto de puntos, de forma similar a como lo hacen Holder y Temple<sup>6</sup>. En nuestro caso, seleccionamos 4 puntos de localización anatómica, de la forma más sencilla y práctica posible. A partir de estos 4 puntos base (electrodos base) se colocaron todos los demás (fig. 1). El esquema fue el siguiente: partiendo de los electrodos base trazamos una línea recta imaginaria paralela al eje sagital del cuerpo. El eje anterior correspondería al esternón y el posterior a la columna vertebral. Los puntos laterales corresponderían a la línea axilar media derecha e izquierda, respectivamente. Luego trazamos una línea que seguía el perímetro torácico (éste era el plano tomográfico para la medición) a la altura del cuarto y sexto espacios intercostales. Entre cada uno de los electrodos base se colocaron, de forma equidistante, los 3 electrodos intermedios. De esta forma, al final quedaron colocados los 16 electrodos en un plano tomográfico similar (figs. 1 y 2).

La selección del plano torácico se fundamentó en experiencias publicadas por otros grupos<sup>7</sup>. La posición de los individuos fue semejante a como se muestra en la figura 3: cómodamente sentados o en bipedestación y con las manos sujetadas y unidas detrás de la nuca. El sujeto respiraba espontáneamente en reposo.

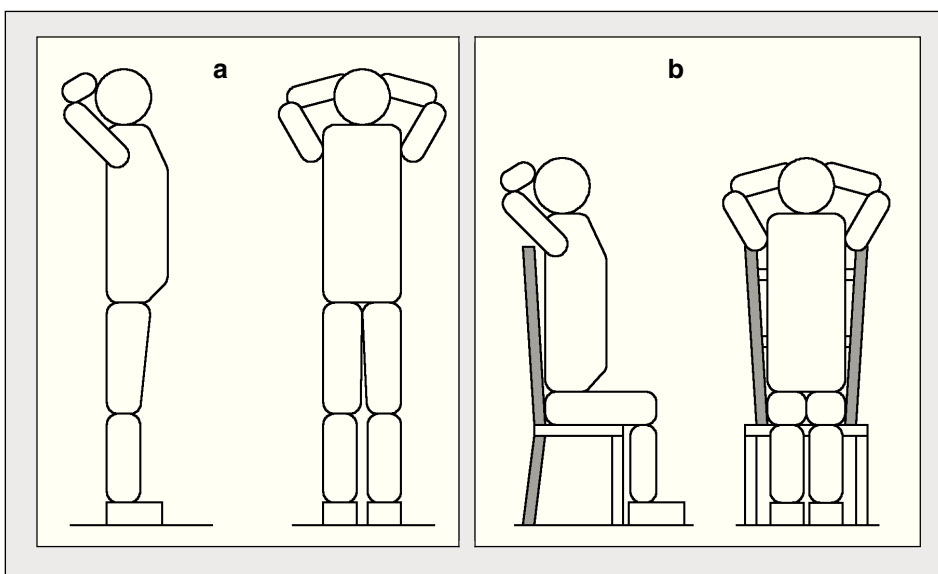


Fig. 3. Posturas corporales evaluadas: a) en bipedestación, con brazos detrás de la nuca, y b) en sedestación, con brazos detrás de la nuca.

Se compararon los resultados con el test t de Student entre los datos obtenidos con aquellos considerados como normales por Svangberg<sup>8</sup> en 1957, debido a que en sujetos sanos no es razonable la aprobación del uso de la gammagrafía actualmente. Por FPU como Svangberg estableció que el pulmón derecho aporta el 53% de la ventilación total y el pulmón izquierdo el 47% cuando el sujeto está en respiración espontánea. El nivel de significación fue  $p < 0,05$ .

## Resultados

Las pruebas de la t de Student mostraron lo siguiente:

–No se observó diferencia significativa entre la bipedestación y la sedestación: los valores obtenidos para el pulmón izquierdo fueron del  $46,7\% \pm 3,9\%$  en el primer caso y del  $46\% \pm 4,8\%$  en el segundo; los valores de las medias fueron semejantes a los obtenidos en el estudio de Svanberg<sup>8</sup> en respiración espontánea.

–Las maniobras ventilatorias máximas cambiaron significativamente los resultados al  $49,9\% \pm 2,8\%$  y al  $50,4\% \pm 2,6\%$  para la bipedestación y la sedestación, respectivamente.

## Simplificación del procedimiento

La colocación de 16 electrodos en el tórax puede resultar bastante engorrosa. Uno de nuestros objetivos fue establecer cuál es el número mínimo de electrodos necesarios para obtener una imagen que aporte la información funcional para estimar la FPU, así como determinar qué espacio intercostal, el cuarto o el sexto, es más adecuado para calcular la FPU. Para el primer objetivo, a partir de la información obtenida previamente se crearon imágenes con cada vez menos electrodos, hasta que se llegó a 8 electrodos. La imagen que se reconstruía con 8 electrodos era de peor calidad morfológica, pero no había diferencias estadísticamente significativas entre la información de la FPU obtenida con 16 u 8 electrodos (fig. 4)<sup>9</sup>.

Con respecto a la determinación de cuál era el espacio intercostal más adecuado, se observó que las reconstrucciones de imágenes en el cuarto espacio intercostal presentaban un número de artefactos significativamente mayor que el sexto espacio intercostal, y que esta diferencia hacía que la obtención de la FPU en el cuarto espacio intercostal fuera más difícil o imposible. Así, de los 10 pacientes estudiados, en todos se pudieron reconstruir las imágenes en el sexto espacio intercostal, pero en 3 de ellos fue imposible estimar la FPU en el cuarto espacio intercostal<sup>9</sup>. La sedestación es evidentemente una posición más fácil de tolerar por los sujetos sanos y seguramente aún más en los pacientes.

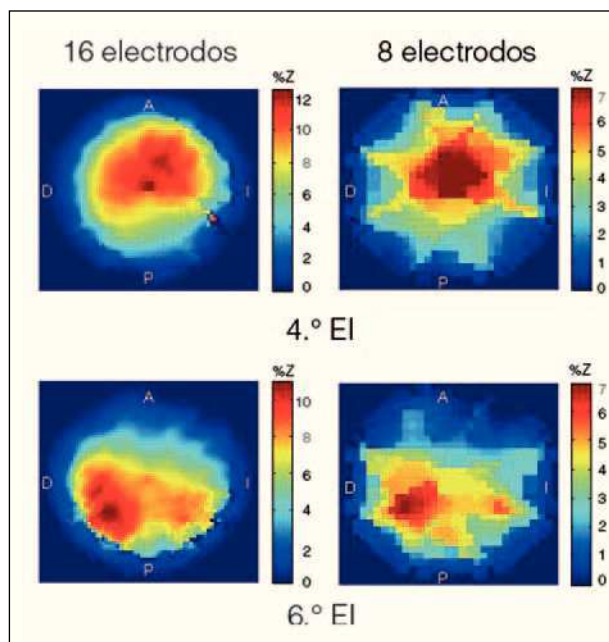


Fig. 4. Comparación de imágenes con 16 u 8 electrodos en los espacios intercostales (EI) cuarto y sexto.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Barber DC, Brown BH. Applied potential tomography. *J Br Interplanet Soc.* 1989;42:391-3.
2. Harris ND, Suggett AJ, Barber DC, et al. Applications of applied potential tomography (APT) in respiratory medicine. *Clin Phys Physiol Meas.* 1987;8:155-65.
3. De Lema B, Serrano E, Feixas T, et al. Tomografía por impedancia eléctrica. Estandarización del procedimiento para su uso en neumología. *Arch Bronconeumol.* 2001;37:131.
4. Serrano E, De Lema B, Casas O, et al. Use of electrical impedance tomography (EIT) for the assessment of unilateral pulmonary function. *Physiol Meas.* 2002;23:211-20.
5. Riu P, Rosell J, Lozano A, et al. Multifrequency static imaging in electrical impedance tomography. Part 1: instrumentation requirements. *Med Biol Eng Comput.* 1995;33:784-92.
6. Holder D, Temple A. Effectiveness of the Sheffield EIT system in distinguishing patients with pulmonary pathology from a series of normal subjects. En: Holder DS. *Clinical and physiological applications of electrical impedance tomography.* Londres: UCL Press; 1993. p. 277-98.
7. Frerichs I. Electrical impedance tomography (EIT) in applications related to lung and ventilation: a review of experimental and clinical activities. *Physiol Meas.* 2000;21:1-21.
8. Svandberg L. Influence of posture on lung volumes, ventilation and circulation in normals; a spirometric-bronchospirometric investigation. *Scand J Clin Lab Invest.* 1957;9 (Suppl 25):1-195.
9. Serrano E, Riu P, De Lema B, et al. Assessment of the unilateral pulmonary function by means of electrical impedance tomography using a reduced electrode set. *Physiol Meas.* 2004;25:803-13.