

MONITORIZACIÓN AVANZADA DURANTE LA DESVINCULACIÓN DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA INVASIVA EN EL TRASPLANTE UNIPULMONAR

JUAN MARTÍN NÚÑEZ SILVEIRA¹, LEANDRO BORRAJO¹, VANESA R. RUIZ¹, IGNACIO CEBALLOS¹,
JOAQUÍN EMS¹, ADRIÁN GALLARDO²

¹Unidad de Terapia Intensiva, Hospital Italiano de Buenos Aires, ²Servicio de Kinesiología, Sanatorio Clínica Modelo de Morón, Morón, Buenos Aires, Argentina

Dirección postal: Adrián Gallardo, Sanatorio Clínica Modelo de Morón, República Oriental del Uruguay 234, 1708 Morón, Buenos Aires, Argentina

E-mail: adriankgallardo@gmail.com

Recibido: 23-XII-2022

Aceptado: 6-III-2023

Resumen

El trasplante de pulmón bilateral es el tratamiento de las enfermedades pulmonares en su etapa terminal. Sin embargo, a veces se realiza el trasplante de un solo pulmón. La técnica no está exenta de complicaciones como la hiperinsuflación aguda del pulmón nativo y cambios en el diafragma, predisponiendo a atelectasias e insuficiencia respiratoria que pueden derivar en resultados negativos. Por lo tanto, las pruebas de respiración espontánea pueden fallar y retrasar el proceso de desvinculación de la ventilación mecánica. La combinación de herramientas de monitorización avanzadas, como la tomografía por impedancia eléctrica y la ecografía, para diagnosticar la causa de este fallo, reconociendo y cuantificando la distribución del volumen pulmonar y su comportamiento dinámico, podría ser crucial para mejorar los resultados.

Presentamos el caso de un paciente con trasplante unipulmonar y ventilación prolongada que falla en repetidas ocasiones durante la desvinculación de la ventilación mecánica, donde utilizamos herramientas de monitoreo avanzado para detectar la causa de la falla.

Palabras clave: impedancia eléctrica, tomografía, ecografía, diafragma, trasplante pulmonar

Abstract

Advanced monitoring during weaning of invasive mechanical ventilation in single-lung transplantation

Bilateral lung transplantation is the treatment of end-stage lung diseases. However, sometimes a single lung transplant is performed. The technique is not exempt from complications such as acute hyperinflation of the native lung and changes in the diaphragm, predisposing to atelectasis and respiratory failure that can lead to negative results. Therefore, spontaneous breathing trials may fail and delay the weaning process. The combination of advanced monitoring tools, such as electrical impedance tomography and ultrasonography, to diagnose the cause of this failure, recognizing and quantifying the distribution of lung volume and its dynamic behavior could be crucial to improve outcomes.

We present the case of a patient with a one-lung transplant and prolonged mechanical ventilation who, after presenting successive failures in the weaning process, underwent advanced monitoring in order to find the causes of the failure.

Key words: electrical impedance, tomography, ultrasonography, diaphragm, lung transplantation

El trasplante de pulmón bilateral es el tratamiento de enfermedades pulmonares en etapa terminal. Sin embargo, en Argentina, los pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) avanzada pueden recibir trasplante de un solo pulmón debido a la escasez en la disponibilidad de órganos. Las complicaciones más frecuentes de esta técnica quirúrgica son la hiperinsuflación aguda del pulmón nativo y las alteraciones del diafragma¹. Ambas situaciones pueden conducir a resultados negativos, especialmente cuando la hiperinsuflación pulmonar dinámica desplaza el mediastino y comprime el pulmón injertado, predisponiendo a atelectasias e insuficiencia respiratoria². Por lo general, las pruebas de respiración espontánea (SBT) para evaluar la desvinculación de la ventilación mecánica se realizan diariamente; cuando fallan, se retrasa el proceso y es necesario diagnosticar la causa de esta falla.

Actualmente se utilizan la presión de oclusión en el primer milisegundo (P0.1) y la presión de oclusión (Poc) como pruebas diagnósticas del esfuerzo respiratorio, pero en casos de sistemas respiratorios asimétricos, estas pruebas probablemente no reflejen la situación real. Reconocer y cuantificar la distribución del volumen pulmonar y su comportamiento dinámico, así como la capacidad del diafragma para desarrollar fuerza, es un desafío. Sin embargo, a través de la tomografía de impedancia eléctrica (TIE) es posible apreciar, de forma no invasiva, la distribución del volumen pulmonar, las constantes de tiempo, el índice de heterogeneidad y los espacios silentes³. Además, mediante ecografía (US) es posible observar la capacidad de contracción y el grosor del diafragma. Hasta donde sabemos, no hay informes sobre el uso de TIE y US durante el proceso de desvinculación en pacientes con EPOC y con trasplante de un solo pulmón e hiperinsuflación del pulmón nativo. El objetivo de esta comunicación es presentar un caso en el que se utilizó monitorización avanzada para determinar las causas del fracaso de la desvinculación en un paciente con EPOC y con trasplante unipulmonar.

Caso clínico

Hombre de 67 años, EPOC Gold D, enfisematoso, con requerimientos de oxigenoterapia crónica domiciliar y en

rehabilitación pulmonar durante cuatro años. Ingresó a la unidad de cuidados intensivos (UCI) en el postoperatorio de trasplante de pulmón izquierdo, hemodinámicamente estable, requiriendo ventilación mecánica invasiva (VMI). Al ingreso, la radiografía simple de tórax y la tomografía computarizada (TC) mostraron menor expansión del hemitórax izquierdo e hiperinsuflación aguda del pulmón nativo. Luego de la admisión en la UCI, el paciente estaba bajo sedación profunda con ventilación protectora pulmonar. Ante la probabilidad de VMI prolongada, se realizó traqueotomía precoz. El día 9 se observó disfunción primaria del injerto con relación $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ de 204 mmHg y atelectasia del pulmón trasplantado. Esta complicación llevó a una hipoxemia grave con requerimientos de FiO_2 del 100%. Debido a la hipoxemia refractaria, se administró óxido nítrico inhalado como puente a la oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO). Al día 18 se retiró la ECMO y se inició el proceso de desvinculación de la ventilación mecánica. El día 20, se realizaron SBT con tubo en T y oxígeno suplementario.

Tras varios SBT fallidos y descartando otras causas de fracaso⁴, se utilizaron TIE (módulo de tomografía de impedancia eléctrica Fluxmed®) y US (ecógrafo M-Turbo™) en tres situaciones diferentes para determinar las causas del fracaso del destete: ventilación controlada por presión continuamente espontánea, (PC-CSV), presión positiva continua en las vías respiratorias (CPAP) y ventilación espontánea con pieza de tubo en T. La primera medición, en adelante denominada tiempo 0 (T0), se realizó en posición semi-Fowler en PC-CSV, presión inspiratoria de 7 cmH_2O y presión positiva al final de la espiración (PEEP) de 5 cmH_2O , FiO_2 30% y duró 15 min, determinados por la tolerancia del paciente (Tabla 1). Después de cada medición, se tomaron 10 min para volver a la situación de referencia. El Tiempo 1 (T1) se realizó durante 15 min en CPAP 5 cmH_2O , FiO_2 30% y el Tiempo 2 (T2), 15 min con 3 L/m de oxígeno suplementario y sin PEEP. Cabe señalar que tomamos T0 como base para las mediciones posteriores.

Las mediciones de TIE permitieron corroborar la hiperinsuflación pulmonar y los resultados de la US explicaron las causas que contribuyeron al fracaso del destete. Se utilizaron múltiples estrategias, con el objetivo de aumentar la elastancia del pulmón nativo, pero las SBT no tuvieron éxito.

Discusión

Después del trasplante de pulmón, se espera que mejore la actividad mecánica del diafragma debido a la restauración de su curvatura normal secundaria a la reducción del volumen pulmo-

nar. En este caso se observó mediante ecografía una función asimétrica de ambos diafragmas, pero una capacidad disminuida del lado trasplantado para desarrollar fuerza, similar a otros hallazgos ya reportados en la literatura⁵. Por otro lado, el grosor normal del diafragma en hombres adultos oscila entre 0.12 y 0.22 cm⁶. En este caso observamos una reducción del grosor del diafragma izquierdo (pulmón trasplantado) (Tabla 1), estas características pueden atribuirse al proceso quirúrgico y su posterior inflamación local. La situación crítica y los días de VMI no afectaron al diafragma correspondiente al pulmón nativo. A pesar de estas diferencias, se conservaba la contractilidad de ambos músculos, aunque el músculo del lado trasplantado presentaba valores de TFdi por encima de lo normal en PC-CSV y CPAP (valor de referencia 20-35%). En cambio, en el lado nativo se encontraron valores cercanos a la respiración en reposo. Aun-

que no es posible establecer una correlación con la fuerza ejercida por los músculos medidos, el diafragma del pulmón trasplantado pareció presentar mayor actividad en el momento de la medición. Esto último puede deberse a la mayor carga elástica del colapso que sufre el pulmón trasplantado por la actividad vicariante del pulmón nativo. El diafragma del pulmón nativo mantuvo su actividad habitual ya que no se modificó su situación previa al trasplante⁷.

Los pacientes con EPOC trasplantados de un solo pulmón presentan una distribución desigual del volumen a favor del pulmón trasplantado⁸. Sin embargo, este paciente mostró lo contrario, probablemente debido a la hiperinsuflación y al comportamiento vicariante del pulmón nativo. La TIE mostró falta de homogeneidad, con diferencias en la distribución del volumen, diferentes constantes de tiempo⁹ y atrapamiento aéreo (Fig. 1, T0 Paneles B).

Tabla 1 | Mediciones de ecografía, tomografía por impedancia eléctrica, Presión de oclusión de la vía aérea y presión de oclusión en los primeros 100 milisegundos en Tiempo 0, Tiempo 1 y Tiempo 2

Mediciones	T0	T1	T2
TFdi derecho, %	30	46	50
Grosor, cm	0.16	0.16	0.14
TFdi izquierdo, %	90	80	80
Grosor, cm	0.10	0.10	0.10
P.01, cmH ₂ O	-2	-5	-3
Pocc, cmH ₂ O	3	13	10
GI Total	0.67	0.5748	0.6858
GI derecho	0.57	0.4570	0.8656
GI izquierdo	0.61	0.5335	0.5140
EELI total	12 412	21 527	27 477
EELI derecho	6032	10 823	13 004
EELI izquierdo	6192	10 369	14 122
TZ Total	22 003	16 406	16 343
TZ derecho	16 569	12 350	13 051
TZ izquierdo	5893	5027	4004

Las mediciones en T0 fueron realizadas en modo ventilatorio asistido controlado por presión (PC-CSV); con una presión inspiratoria de 7cmH₂O, presión positiva al final de la espiración (PEEP) de 5cmH₂O y una FIO₂ de 30%. Las mediciones en T1 se realizaron con CPAP 5cmH₂O. Las mediciones en T2 se realizaron con ventilación con pieza de tubo T y oxígeno suplementario a 2L/min

TFdi: fracción de acortamiento del diafragma; P.01: presión de oclusión en los primeros 100 milisegundos; Pocc: presión de oclusión simple; GI: índice de inhomogeneidad; EELI: impedancia pulmonar al final de la espiración, medida como la intensidad acumulada de los valores de imagen de la tomografía por impedancia eléctrica; TZ: cambio en la impedancia

Figura 1 |

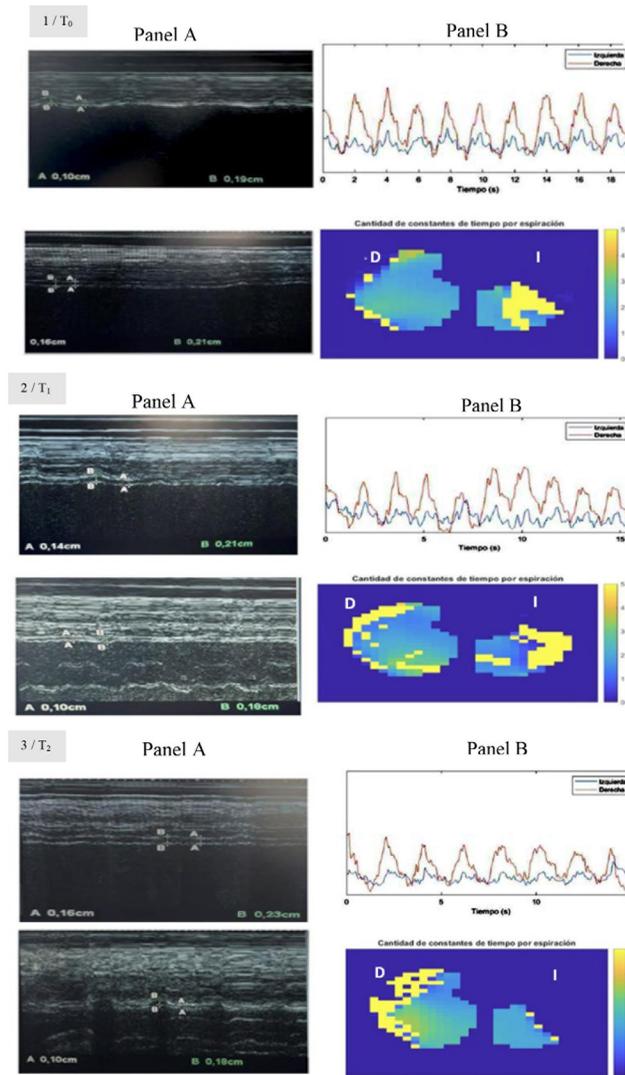


Figura 1. $1/T_0$. Mediciones con tomografía de impedancia eléctrica basal y ecografía diafragmática (T_0). Panel A: La figura anterior muestra la variación del engrosamiento del diafragma del pulmón trasplantado en la fase inspiratoria y espiratoria del ciclo respiratorio. Luego se calculó la fracción de engrosamiento (TFdi). A continuación, se muestra la variación del engrosamiento del diafragma del pulmón nativo en las fases inspiratoria y espiratoria. Luego se calculó la fracción de engrosamiento (TFdi)

Panel B: La figura anterior muestra las curvas de cambio de impedancia con el tiempo en cada ciclo respiratorio de ambos pulmones como unidades independientes (color rojo = pulmón derecho, color azul = pulmón izquierdo). En la siguiente figura se muestran las constantes de tiempo por pixel de ambos pulmones (la imagen del lado izquierdo corresponde al pulmón derecho y la imagen del lado derecho corresponde al pulmón izquierdo)

Figura 1. $2/T_1$. Mediciones con tomografía de impedancia eléctrica y ecografía diafragmática en el Tiempo 1 (T_1). Panel A: La figura anterior muestra la variación del engrosamiento del diafragma del pulmón nativo en la fase inspiratoria y espiratoria. Luego se calculó la fracción de engrosamiento. A continuación, se muestra la variación del engrosamiento del diafragma del pulmón trasplantado en las fases inspiratoria y espiratoria. Luego se calculó la fracción de engrosamiento

Panel B: La figura anterior muestra las curvas de cambio de impedancia a lo largo del tiempo en cada ciclo respiratorio de ambos pulmones por separado (color rojo = pulmón derecho, color azul = pulmón izquierdo). En la siguiente figura se muestran las constantes de tiempo por pixel de ambos pulmones (la imagen del lado izquierdo corresponde al pulmón derecho y la imagen del lado derecho corresponde al pulmón izquierdo)

Figura 1. $3/T_2$. Mediciones con tomografía de impedancia eléctrica y ecografía en el Tiempo 2 (T_2). Panel A: La figura anterior muestra la variación del engrosamiento del diafragma del pulmón nativo en las fases inspiratoria y espiratoria. Luego se calculó el porcentaje de engrosamiento (TFdi). A continuación, se muestra la variación del engrosamiento del diafragma del pulmón trasplantado en las fases inspiratoria y espiratoria. Luego se calculó el porcentaje de engrosamiento (TFdi)

Panel B: La figura anterior muestra las curvas de cambio de impedancia con el tiempo en cada ciclo respiratorio de ambos pulmones como unidades independientes (color rojo = pulmón derecho, color azul = pulmón izquierdo). En la siguiente figura se muestran las constantes de tiempo por pixel de ambos pulmones (la imagen del lado izquierdo corresponde al pulmón derecho y la imagen del lado derecho, al izquierdo)

Cabe señalar que los valores de P.01 y Pocc no se asocian con un aumento significativo de la presión muscular o del impulso central (Tabla 1). Con estos datos, y conociendo la asimetría entre ambos diafragmas, optamos por la SBT con tubo en T, ya que favorecía la homogeneidad ventilatoria y disminuía las constantes de tiempo pulmonar nativas.

El objetivo del trasplante de pulmón es mejorar la calidad de vida y las tasas de supervivencia. Sin embargo, aún no pudimos lograr la desvinculación de la VMI en este paciente, con la consiguiente disminución de su calidad

de vida. Quizás un abordaje integral desde el momento de la obtención de pulmones de donantes multiórganos pueda aumentar la disponibilidad de pulmones para trasplante, la posibilidad de trasplantes bipulmonares y evitar estos casos¹⁰.

La monitorización avanzada es útil y podría ayudar a diagnosticar las causas del fracaso en la desvinculación de la ventilación mecánica en casos de heterogeneidad pulmonar. Sin embargo, se requieren más estudios para determinar la utilidad clínica de estas herramientas en pacientes trasplantados de un solo pulmón.

Bibliografía

1. Similowski T, Yan S, Gauthier AP, Macklem PT, Bellemare F. Contractile properties of the human diaphragm during chronic hyperinflation. *N Engl J Med* 1991; 325: 917-23.
2. Shehata IM, Elhassan A, Urits I, et al. Postoperative management of hyperinflated native lung in single-lung transplant recipients with chronic obstructive pulmonary disease: a review article. *Pulm Ther* 2021; 7: 37-46.
3. Rauseo, M., Spinelli, E., Sella, N. et al. Documento de opinión de expertos: "Tomografía de impedancia eléctrica: aplicaciones desde la unidad de cuidados intensivos y más allá". *J Anesth Analg Crit Care* 2022; 2: doi.org/10.1186/s44158-022-00055-6.
4. Windisch W, Dellweg D, Geiseler J, et al. Prolonged weaning from mechanical ventilation. *Dtsch Arztebl Int* 2020;117: 197-204.
5. Wanke T, Merkle M, Formanek D, et al. Effect of lung transplantation on diaphragmatic function in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 1994; 49: 459-64.
6. Santana PV, Cardenas LZ, Albuquerque ALP de, Carvalho CRR de, Caruso P. Diaphragmatic ultrasound: a review of its methodological aspects and clinical uses. *J Bras Pneumol* 2020; 46: e20200064.
7. LoMauro A, Righi I, Privitera E, et al. The impaired diaphragmatic function after bilateral lung transplantation: a multifactorial longitudinal study. *J Heart Lung Transplant* 2020; 39: 795-804.
8. Ramanathan K, Mohammed H, Hopkins P, et al. Single-lung transplant results in position dependent changes in regional ventilation: an observational case series using electrical impedance tomography. *Can Respir J* 2016; doi: 10.1155/2016/2471207.
9. Piraino T. An introduction to the clinical application and interpretation of electrical impedance tomography. *Respir Care* 2022; 67: 721-9.
10. Ruiz VR, Terrasa SA, Bauque S, et al. Lung donation and donor lung management: a survey among health care professionals in Argentina. *Rev Bras Ter Intensiva* 2022; 33: 557-64.