

Avances en el estudio de la función pulmonar en lactantes: maniobras de espiración forzada con volumen pulmonar aumentado

Javier Mallo^a y Viviana Aguirre^b

^aDepartamento de Medicina Respiratoria Infantil. Facultad de Ciencias Médicas. Hospital CRS El Pino. Universidad de Santiago de Chile (USACH). Santiago. Chile.

^bLaboratorio de Función Pulmonar. Departamento de Medicina Respiratoria Infantil. Hospital CRS El Pino. USACH. San Bernardo. Santiago. Chile.

En el lactante, las maniobras de espiración forzada desde un volumen pulmonar aumentado datan de 1989 y consisten en aumentar el volumen inspiratorio mediante la aplicación de una presión de inflación determinada, hasta un nivel cercano a la capacidad pulmonar total, para posteriormente proceder a una compresión toracoabdominal mediante la aplicación de una chaqueta inflable, con el fin de obtener una curva espiratoria forzada semejante a la obtenida en el adulto. La espiración forzada desde volúmenes pulmonares aumentados en el lactante, al igual que en sujetos mayores, es útil para el estudio funcional de la vía aérea, pues permite diagnosticar precozmente enfermedades obstructivas y evaluar su respuesta al tratamiento.

El objetivo de la presente revisión es dar a conocer las bases fisiológicas y los aspectos técnicos de uno de los exámenes de función pulmonar de mayor utilidad en el estudio de la vía aérea del lactante sano y patológico.

Palabras clave: *Función pulmonar en lactantes. Espiración forzada. Volúmenes pulmonares aumentados.*

Introducción

La maniobra de capacidad vital forzada (FVC) se usó por primera vez en 1947¹ para medir el flujo espiratorio forzado en adultos. Desde entonces la espirometría se ha convertido en el método más común para el estudio de la función pulmonar en niños mayores y adultos. Desde hace algunos años las maniobras de FVC desde un volumen cercano a la capacidad pulmonar total son factibles en niños menores de 2 años gracias al advenimiento de la técnica de compresión toracoabdominal rápida con volumen pulmonar aumentado (CTARVA).

La obtención de flujos espiratorios forzados en lactantes se realiza principalmente con la técnica de compresión toracoabdominal rápida (CTAR), que consiste básicamente en aplicar una presión positiva a la región

Advances in the Study of Infant Lung Function: Forced Expiratory Maneuvers From an Increased Lung Volume

Forced expiratory maneuvers from an increased lung volume in infants date from 1989 and consist of raising the inspiratory volume by applying a specific inflation pressure until a level close to the total lung capacity is reached. The chest and abdomen are then compressed by means of an inflatable jacket in order to obtain a forced expiratory flow-volume curve similar to that obtained for an adult. Forced expiration from an increased lung volume in infants is useful, just as the maneuver is in older patients, for studying airway function, diagnosing obstructive diseases early, and assessing response to treatment.

The objective of this review is to provide information on the physiological bases and technical aspects of a lung function test that has proven highly useful for the study of the airways of healthy infants as well as those with respiratory diseases.

Key words: *Infant lung function. Forced expiration. Raised lung volume.*

toracoabdominal al final de la inspiración. Durante las últimas 2 décadas la espiración forzada se ha realizado empleando CTAR en intervalos de volumen corriente y midiendo el flujo espiratorio forzado máximo al nivel de la capacidad residual funcional, para generar un parámetro conocido como flujo máximo en capacidad residual funcional ($V_{\text{máx FRC}}$)²⁻⁴.

Un importante avance producido en estos últimos años ha sido la introducción de la técnica de la CTAR desde un volumen pulmonar aumentado (CTARVA). En esta técnica se aplica una presión positiva predeterminada a la vía aérea en el momento en que se inicia la inspiración, con el fin de elevar el volumen pulmonar inspirado por encima del rango de volumen corriente, hasta valores cercanos a la capacidad pulmonar total, e inmediatamente se realiza la CTAR, con lo que se genera una curva de flujo-volumen completa⁵⁻¹⁰. En la técnica de la CTARVA el volumen pulmonar empleado se extiende desde un volumen cercano a la capacidad pulmonar total hasta el volumen residual, siendo ambos

Correspondencia: Dr. J. Mallo.
Clasificador 23, correo 9. Providencia. Santiago. Chile.
Correo electrónico: jmallo@usach.cl

Recibido: 8-8-2005; aceptado para su publicación: 14-11-2006.

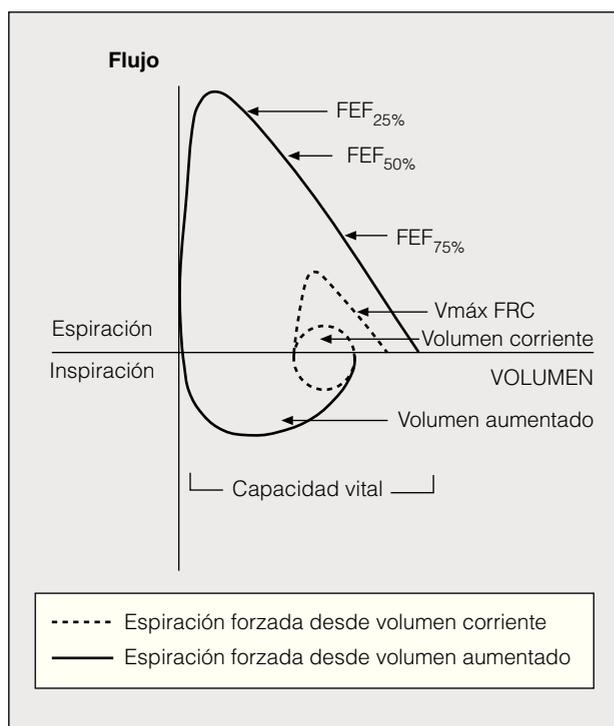


Fig. 1. Parámetros obtenidos de curvas espiratorias forzadas en el lactante. $FEF_{25\%}$, $FEF_{50\%}$, $FEF_{75\%}$: flujo espiratorio forzado en el 25, el 50 o el 75% de la capacidad vital forzada; $V_{máx}$ FRC: flujo máximo en capacidad residual funcional.

muy reproducibles y excelentes puntos de referencia. Los principales parámetros que se obtienen mediante esta técnica son los del volumen espiratorio forzado en un tiempo determinado, medido en segundos ($FEV_{0.4}$, $FEV_{0.5}$, $FEV_{0.75}$ o FEV_1) y flujos espiratorios forzados en relación con un porcentaje de la FVC ($FEF_{25\%}$, $FEF_{50\%}$, $FEF_{75\%}$ o $FEF_{25-75\%}$), semejantes a los obtenidos en una curva espirométrica del adulto (fig. 1).

Bases fisiológicas

En el lactante, dada la gran distensibilidad de la pared torácica, la capacidad residual funcional (FRC) debería ser sólo un 10% de la capacidad pulmonar total, lo que es incompatible con una apropiada estabilidad de la vía aérea periférica y, por ende, con un adecuado intercambio gaseoso. Por ello el lactante necesita una serie de estrategias de respiración para mantener su FRC por encima del valor determinado pasivamente (FRC dinámica)¹¹⁻¹³. El resultado es que los valores de FRC alcanzan aproximadamente el 40% de la capacidad pulmonar total y se traduce en que durante la respiración a volumen corriente el lactante inspira antes de que la espiración termine pasivamente^{14,15}.

Para poder realizar una maniobra de espiración forzada hasta el volumen residual sin que el lactante inspire antes del final de la espiración, se necesita provocar una pausa respiratoria, que se logra mediante hiperventilación mecánica (descenso de la presión arterial de anhídrido carbónico) y estimulación de los receptores de

distensión del pulmón (reflejo de Hering-Breuer), todo lo cual dará lugar a una interrupción breve del esfuerzo respiratorio. Esta pausa, en la que el sistema respiratorio está relajado, es lo bastante larga para permitir la realización de una maniobra de flujo-volumen espiratoria máxima sin que el lactante genere esfuerzo inspiratorio durante la espiración forzada¹⁶.

Descripción de la técnica

En nuestro Laboratorio de Función Pulmonar en Lactantes se realizan maniobras espiratorias forzadas usando la técnica con volumen aumentado, con inflaciones múltiples, de acuerdo con las normas de estandarización para las pruebas de función pulmonar en lactantes de la European Respiratory Society y la American Thoracic Society¹⁷⁻²⁰. Al lactante, previamente sedado con hidrato de cloral (70-100 mg/kg), se le coloca un dispositivo inflable en la parte anterior del tronco (desde el manubrio esternal a la sínfisis púbica), cubierto por una chaqueta de material inextensible; una vez dormido el lactante, se conecta al equipo de medición a través de una mascarilla unida a un neumotacógrafo. Mediante un sistema automático y en fase con la inspiración espontánea, se aplica dentro del sistema una presión de 30 cmH₂O, que se transmite al lactante y provoca un aumento del volumen inspiratorio (V_{30}); posteriormente esta presión se libera, lo que permite la espiración pasiva. Esta maniobra de inflación se repite varias veces (por lo general, de una a 10 veces), hasta que se produce la pausa respiratoria, durante la cual el pulmón del lactante se infla nuevamente hasta V_{30} . Una vez alcanzado ese volumen inspiratorio, se abre la válvula que conecta el dispositivo inflable al reservorio de presión, el cual se infla a una presión previamente determinada, y esto produce una espiración forzada que termina al llegar al volumen residual. Una vez que el flujo espiratorio llega a cero, se libera la presión compresiva y se reanuda la respiración espontánea. Las presiones compresivas de chaqueta aumentan progresivamente en 5 a 10 cmH₂O, hasta que no se obtienen más incrementos de flujo con mayores presiones de chaqueta. En este punto se considera que se ha obtenido la limitación de flujo, y la mejor curva será aquella técnicamente aceptable en la que se han alcanzado los mayores flujos con la menor presión de chaqueta¹⁶.

Los criterios de aceptabilidad empleados en nuestro laboratorio son los siguientes: a) flujo máximo alcanzado dentro de la porción inicial de la curva; b) curva de flujo-volumen espiratoria adecuada, regular y suave; c) trazado espiratorio sin presencia de esfuerzo inspiratorio en su porción final, y d) pausa respiratoria claramente identificable. La forma de la curva obtenida con la técnica de CTARVA (V_{30}) y su reproducibilidad se aprecian en la figura 2; los parámetros son similares a los de una espirometría en niños mayores o adultos: FVC, $FEV_{0.4}$, $FEV_{0.5}$, $FEF_{50\%}$, $FEF_{75\%}$, $FEF_{85\%}$ y $FEF_{25-75\%}$. Recientemente se han publicado tanto los datos normativos como las ecuaciones de predicción para los valores de función pulmonar espirométricos que se obtienen mediante esta técnica en lactantes²¹. Los parámetros de

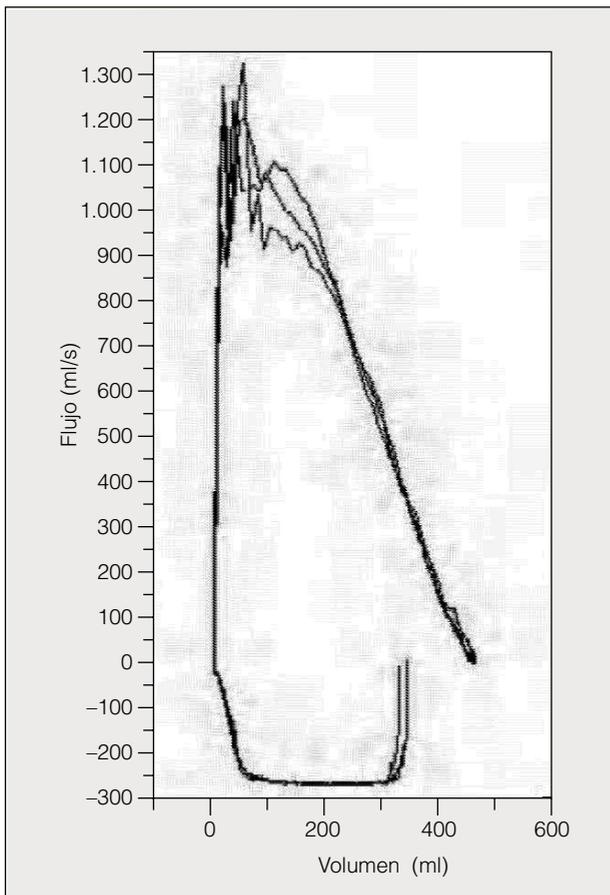


Fig. 2. Forma y reproducibilidad de las curvas flujo-volumen (volumen pulmonar con presión de inflación de 30 cmH₂O) en un mismo lactante.

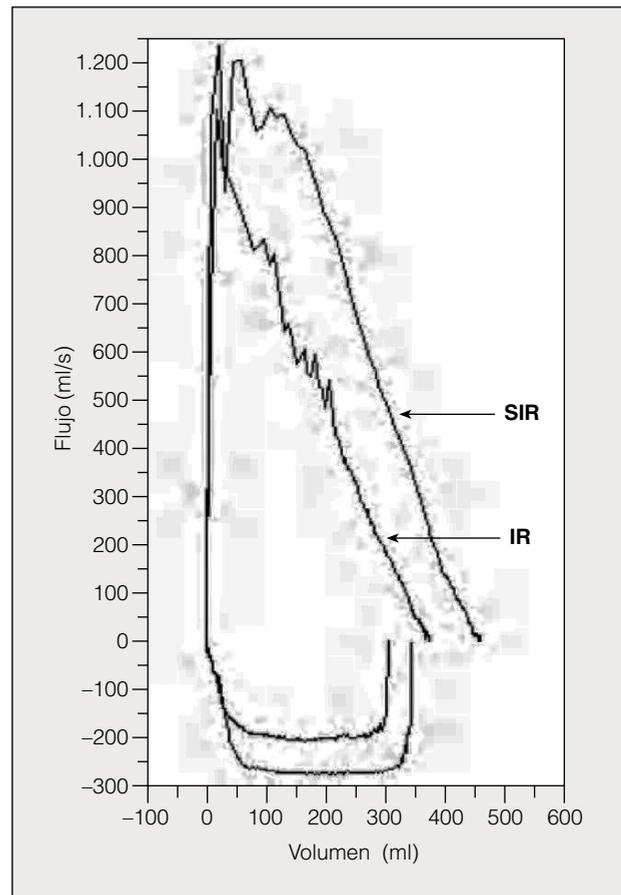


Fig. 3. Curvas de un mismo paciente con infección respiratoria (IR) y sin infección respiratoria (SIR), con un mes de diferencia.

mayor utilidad, menor variabilidad y más comúnmente descritos son: FVC, FEV_{0,5}, FEF_{75%} y FEF_{25-75%}. Debido al rápido vaciamiento pulmonar, en los lactantes menores de 3 meses debería registrarse el FEV_{0,4}, ya que a menudo no se logran mediciones más allá de los 0,5 s.

Hay varias fuentes potenciales de variabilidad al realizar maniobras de función pulmonar en lactantes, y entre ellas se encuentran las que se derivan de cambios posturales del cuello, el soporte de la mascarilla facial y la forma en que se aplica la chaqueta inflable²². El simple cambio de posición del lactante durante las mediciones de flujo máximo en FRC aumenta la variabilidad del 10 al 18,2%²³, mientras que la presión de inflación de la vía aérea puede ocasionar diferencias significativas en los valores absolutos de FVC, FEV_{0,5} y FEF_{75%}²⁴. Otra fuente de variabilidad es el grado de sedación en el momento de las mediciones, y se ha descrito depresión respiratoria significativa en lactantes con sibilancias que se hallaban convalecientes de una bronquiolitis²⁵. Todo esto ha llevado a recomendar que las mediciones estén muy bien estandarizadas^{26,27}, que las realice personal bien entrenado y que durante las pruebas se produzcan mínimos cambios en las condiciones; además, cada laboratorio debe informar en detalle de la técnica empleada y de su propia variabilidad²⁸.

Indicaciones para la medición de maniobras de espiración forzada en lactantes

Aunque los exámenes de función pulmonar en niños menores de 2 años se han usado principalmente con fines de investigación, en los últimos años han adquirido una mayor importancia en el manejo clínico del paciente. Wildhaber et al²⁹ demostraron que las mediciones con volumen pulmonar aumentado representan una ventaja con respecto a las mediciones espiratorias forzadas con volúmenes corrientes para evaluar y realizar el seguimiento de la enfermedad pulmonar obstructiva. En un estudio reciente de Jones et al³⁰ con lactantes que presentaban sibilantes recurrentes, tanto asintomáticos como sintomáticos en el momento del examen, esta técnica demostró ser útil para distinguir a los que presentaban obstrucción bronquial en el momento del examen y diferenciar la población sana de los pacientes con sibilantes. Éste es un hallazgo que nosotros también hemos observado en nuestros lactantes con sibilancias recurrentes, y en la figura 3 se muestran las curvas de un mismo paciente con y sin síntomas respiratorios agudos en el momento de la medición.

Recientemente, mediante el uso de mediciones de espiración forzada (V₃₀ y V_{máx} FRC), se han descrito

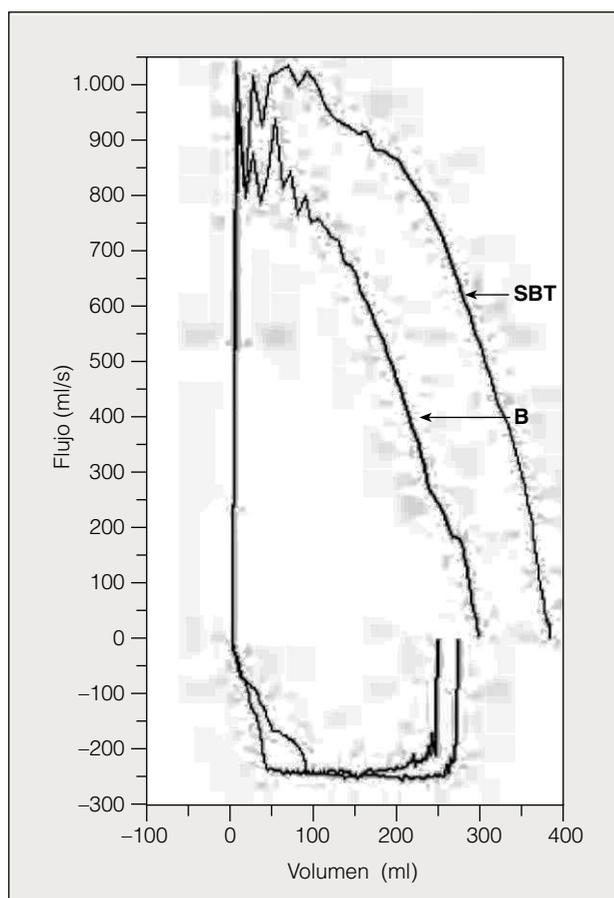


Fig. 4. Efecto broncodilatador en un lactante asmático: basal (B) y con 400 g de salbutamol (SBT).

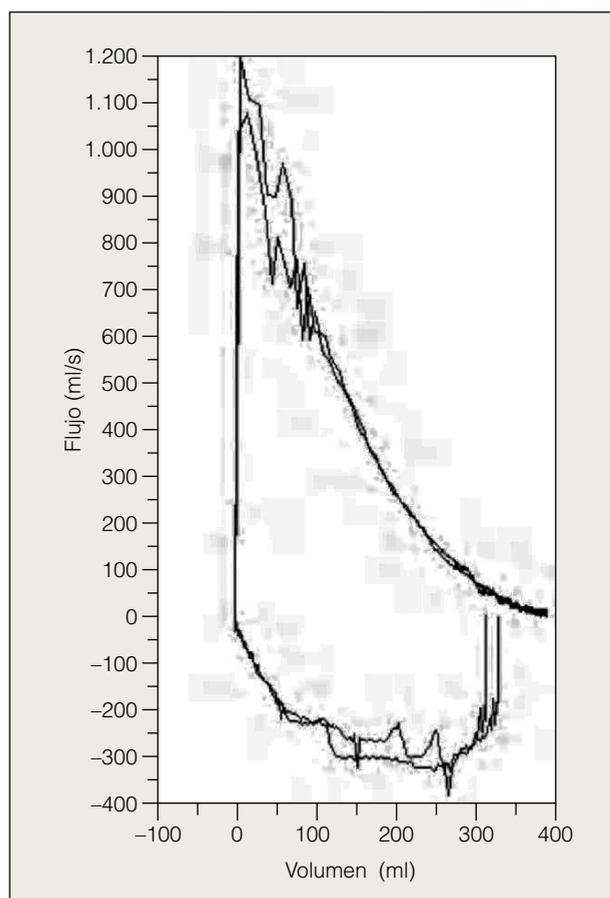


Fig. 5. Ausencia de efecto broncodilatador en lactante con displasia broncopulmonar (superposición de curvas basal y con salbutamol).

alteración precoz de la función de la vía aérea en lactantes con fibrosis quística³¹⁻³⁴, disminución de la función pulmonar en lactantes sanos expuestos pasivamente al humo de tabaco^{35,36} y obstrucción al flujo aéreo sin efecto broncodilatador en lactantes con sibilancias y sin respuesta al tratamiento antiasmático³⁷. Este tipo de examen también ha permitido evaluar objetivamente la reactividad bronquial en pacientes sanos y con sibilancias recurrentes³⁸, así como el efecto a corto y largo plazo de fármacos empleados comúnmente en enfermedades bronquiales obstructivas en lactantes, como broncodilatadores y corticoides inhalados³⁹⁻⁴¹. En las figuras 4 y 5 puede apreciarse la diferencia en la forma de la curva de 2 pacientes con sibilancias recurrentes o permanentes, uno con respuesta positiva al salbutamol y el otro, afectado de displasia broncopulmonar, sin respuesta. En la figura 6 se muestran los cambios ocurridos en la función pulmonar de un lactante con sibilancias recurrentes durante una infección respiratoria aguda viral y las mediciones realizadas un mes después en período asintomático; también se aprecia en la misma figura el efecto broncodilatador parcial del salbutamol en la obstrucción producida durante el cuadro respiratorio viral. Finalmente, esta técnica nos ha permitido ampliar los conocimientos sobre el desarrollo y creci-

miento pulmonar en este grupo etario, confirmando el crecimiento asimétrico entre la vía aérea y el volumen pulmonar en los primeros años de vida^{21,42}.

El empleo de este examen hará posible investigar el efecto de ciertos eventos que ocurren tempranamente en la vida sobre la función pulmonar (tabaquismo en el embarazo, enfermedades respiratorias neonatales, contaminación ambiental, altura, ventilación mecánica, entre otros), evaluar determinantes de la función pulmonar (crecimiento, edad, sexo, raza, tamaño corporal, historia familiar de atopia), ayudar en las decisiones terapéuticas y en su evaluación, reconocer precozmente la enfermedad, identificar daños iatrogénicos, determinar el tipo y la gravedad de la alteración pulmonar y evaluar la reactividad de la vía aérea en diferentes afecciones. Sin embargo, como toda técnica nueva, tiene sus limitaciones y es preciso demostrar el alcance de su utilidad mediante la realización de una mayor cantidad de estudios comparativos para conocer mejor su papel en el manejo clínico del paciente menor de 2 años con enfermedad respiratoria⁴³.

La estrecha similitud de esta técnica con la espirometría de niños y adultos la sitúa como una de las pruebas de función pulmonar en lactantes más prometedoras, y constituye un verdadero avance para la evaluación y el

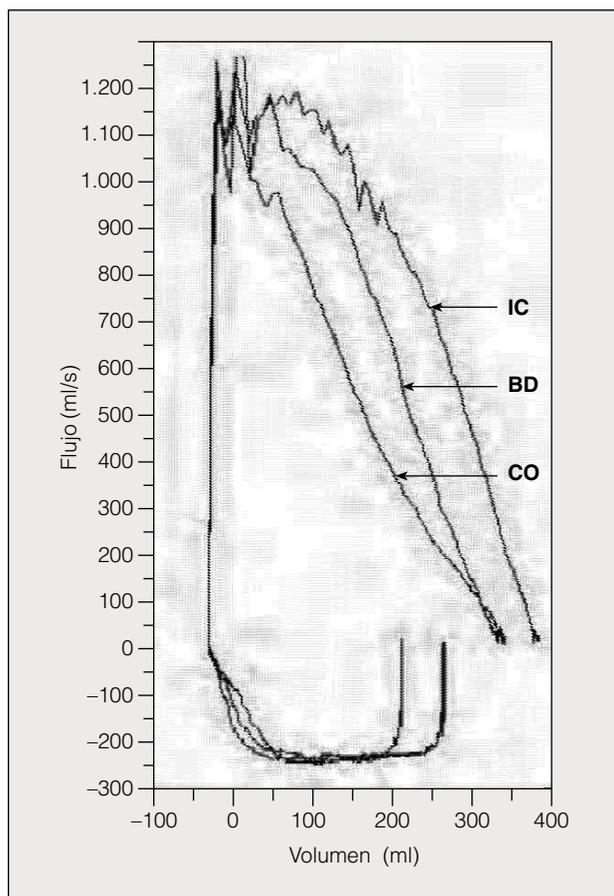


Fig. 6. Lactante con sibilancias recurrentes durante una crisis obstructiva (CO), con efecto broncodilatador en crisis (BD) y curva intercrisis (IC).

seguimiento de la función pulmonar en niños menores de 2 años, tanto en investigación como en la práctica clínica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Tiffeneau R, Pinelli A. Air circulant et air captif dans l'exploration de la fonction ventilatrice pulmonaire. *Paris Med.* 1947;133:624-8.
2. Adler S, Wohl ME. Flow-volume relationship at low lung volumes in healthy term newborn infants. *Pediatrics.* 1978;61:636-40.
3. Taussig LM, Landau L, Godfrey S, Arad I. Determinants of forced expiratory flows in newborn infants. *J Appl Physiol.* 1982;53:1220-7.
4. Tepper RS, Morgan WJ, Cota K, Wright A, Taussig LM. Physiologic growth and development of the lung during the first year of life. *Am Rev Respir Dis.* 1986;134:513-9.
5. Turner DJ, Stick SM, LeSouëf KL, Sly PD, LeSouëf PN. A new technique to generate and assess forced expiration from raised lung volume in infants. *Am J Respir Crit Care Med.* 1995;151:1441-50.
6. Tepper R, Feher A, McLean A. Comparison of forced expiratory flows initiated at end-tidal inspiration and at elevated lung volumes in normal infants [resumen]. *Am Rev Respir Dis.* 1993;147:A222.
7. Castile R, Filbrun D, Flucke R, Shani N, McCoy K. Measurement of full flow-volume curves in sedated infants [resumen]. *Am J Respir Crit Care Med.* 1994;149:A37.

8. Turner DJ, Lanteri CJ, LeSouëf PN, Sly PD. Pressure transmission across the respiratory system at raised lung volumes in infants. *J Appl Physiol.* 1994;77:1015-20.
9. Turner DJ, Sly PD, LeSouëf PN. Assessment of forced expiratory volume-time parameters in detecting histamine-induced bronchoconstriction in wheezy infants. *Pediatr Pulmonol.* 1993;15:220-4.
10. Feher A, Castile R, Kisling J, Angelicchio C, Filbrun D, Flucke R, et al. Flow limitation in normal infants: a new method for forced expiratory maneuvers from raised lung volumes. *J Appl Physiol.* 1996;80:2019-25.
11. Kosch PC, Stark AR. Dynamic maintenance of end-expiratory lung volume in full-term infants. *J Appl Physiol.* 1984;57:1126-33.
12. Kosch PC, Hutchison AA, Wozniak JA, Carlo WA, Stark AR. Posterior cricoarytenoid and diaphragm activities during tidal breathing in neonates. *J Appl Physiol.* 1988;64:1968-78.
13. Mortola JP, Magnante D, Saetta M. Expiratory pattern of newborn mammals. *J Appl Physiol.* 1985;58:528-33.
14. Stark AR, Cohlman BA, Waggner TB, Frantz ID, Kosch PC. Regulation of end-expiratory lung volume during sleep in premature infants. *J Appl Physiol.* 1987;62:1117-23.
15. LeSouëf PN, England SJ, Bryan AC. Passive respiratory mechanics in newborn and children. *Am Rev Respir Dis.* 1984;129:552-6.
16. Stocks J, Sly PD, Tepper RS, Morgan WJ. Infant respiratory function testing. New York: John Wiley & Sons; 1996.
17. Frey U, Stocks J, Coates A, Sly P, Bates J. Specifications for equipment used for infant pulmonary function testing. ERS/ATS Task Force on Standards for Infant Respiratory Function Testing. *Eur Respir J.* 2000;16:731-40.
18. Frey U, Stocks J, Sly P, Bates J. Specifications for signal processing and data handling used for infant pulmonary function testing. ERS/ATS Task Force on Standards for Infant Respiratory Function Testing. *Eur Respir J.* 2000;16:1016-22.
19. ATS/ERS Workshop Summary. The raised volume rapid thoracoabdominal compression technique. *Am J Respir Crit Care Med.* 2000;161:1760-2.
20. ATS/ERS Statement. Raised volume forced expiration in infants. Guidelines for current practice. *Am J Respir Crit Care Med.* 2005;172:1463-71.
21. Jones M, Castile R, Davis S, Kisling J, Filbrun D, Flucke R, et al. Forced expiratory flows and volumes in infants. Normative data and lung growth. *Am J Respir Crit Care Med.* 2000;161:353-9.
22. LeSouëf PN, Hughes DM, Landau L. Effect of compression pressure on forced expiratory flow in infants. *J Appl Physiol.* 1986;61:1639-46.
23. Mallol J, Hibbert M, Robertson C, Olinsky A, Phelan PD, Sly PD. Inherent variability of pulmonary function tests in infants with bronchiolitis. *Pediatr Pulmonol.* 1988;5:152-7.
24. Lum S, Hoo AF, Stocks J. Effect of airway inflation pressure on forced expiratory maneuvers from raised lung volume in infants. *Pediatr Pulmonol.* 2002;33:130-4.
25. Mallol J, Sly PD. Effect of chloral hydrate on arterial oxygen saturation in wheezy infants. *Pediatr Pulmonol.* 1988;5:96-9.
26. Gaultier C, Fletcher ME, Beardmore C, England S, Motoyama E. Respiratory function measurements in infants: measurements conditions. Report of working group/ERS-ATS statement. *Eur Respir J.* 1995;8:1057-66.
27. Quanjer PH, Sly PD, Stocks J. Respiratory function measurements in infants: symbols, abbreviations and units. Report of working group/ERS-ATS statement. *Eur Respir J.* 1995;8:1039-56.
28. Mallol J, Aguirre VL, Wandalsen G. Variability of the raised volume rapid thoracic compression technique in infants with recurrent wheezing. *Allergol Immunopathol.* 2005;33:74-9.
29. Wildhaber JH, Dore ND, Devadason SG, Hall GL, Hamacher J, Arheden L, et al. Comparison of subjective and objective measures in recurrently wheezy infants. *Respiration.* 2002;69:397-405.
30. Jones MH, Howard J, Davis S, Kisling J, Tepper RS. Sensitivity of spirometric measurements to detect airway obstruction in infants. *Am J Respir Crit Care Med.* 2003;167:1283-6.
31. Ranganathan S, Bush A, Dezateux C, Carr S, Hoo A-F, Lum S, et al, and the London Collaborative Cystic Fibrosis Group. Relative ability of full and partial forced expiratory maneuvers to identify diminished airway function in infants with cystic fibrosis. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002;166:1350-7.
32. Davis S, Jones M, Kisling J, Howard J, Tepper RS. Comparison of normal infants and infants with cystic fibrosis using forced expiratory flows breathing air and heliox. *Pediatr Pulmonol.* 2001;31:17-23.

33. Ranganathan SC, Bush A, Dezateux C, et al. Relative ability of full and partial forced expiratory maneuvers to identify diminished airway function in infants with cystic fibrosis. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002;15:1350-7.
34. Ranganathan SC, Goetz I, Hoo AF, Lum S, Castle R, Stocks J; London Collaborative Cystic Fibrosis Group. Assessment of tidal breathing parameters in infants with cystic fibrosis. *Eur Respir J.* 2003;22:761-6.
35. Tepper RS, Williams-Nkomo T, Martínez T, Kisling J, Coates C, Dagg J. Parental smoking and airway reactivity in healthy infants. *Am J Respir Crit Care Med.* 2005;171:78-82.
36. Wandalsen G, Aguirre V, Mallol J. Espirometria em lactentes com sibilancia recorrente. *Rev Bras Alerg Immunopatol.* 2003;26:41-52.
37. Saito J, Harris WT, Gelfond J, Noah TL, Leigh MW, Jonson R, et al. Physiologic, bronchoscopic, and bronchoalveolar lavage fluid findings in young children with recurrent wheeze and cough. *Pediatr Pulmonol.* 2006;41:709-19.
38. Hayden MJ, Devadason SG, Sly PD, Wildhaber JH, LeSouëf PN. Methacholine responsiveness using the raised volume forced expiration technique in infants. *Am J Respir Crit Care Med.* 1997;155:1670-5.
39. Beardsmore CS, Page C, Silverman M. The response to beta-agonists in wheezy infants: three methods compared. *Respir Med.* 2004;98:1138-45.
40. Modl M, Eber E, Weinhandl E, Gruber W, Zach M. Assessment of bronchodilator responsiveness in infants with bronchiolitis. *Am J Respir Crit Care Med.* 2000;161:763-8.
41. Mallol J, Aguirre V, Barrueto L. Efecto de los corticoides inhalados sobre la talla, cortisol y crecimiento pulmonar en lactantes con sibilancias recurrentes. *Rev Chil Pediatr.* 2004;75:S79.
42. Tepper RS, Jones M, Davis S, Kisling J, Castile R. Rate constant for forced expiration decreases with lung growth during infancy. *Am J Respir Crit Care Med.* 1999;160:835-8.
43. Godfrey S, Bar-Yishay E, Avital A, Springer C. Commentaries. What is the role of tests of lung function in the management of infants with lung disease? *Pediatr Pulmonol.* 2003;36:1-9.