

# Espirometría y pletismografía en niños escolares y adolescentes

M. Solange Caussade

Departamento de Pediatría  
Pontificia Universidad Católica de Chile

## Resumen

Las pruebas de función pulmonar representan la forma más objetiva de determinar cambios en volúmenes y capacidades pulmonares en sujetos con condiciones respiratorias agudas y crónicas. En la actualidad existen diversos grupos que han publicado guías para su práctica y empleo. Para una correcta interpretación, es necesario la estandarización del método. Presentamos algunas consideraciones generales a cerca de su método, características y posibles aplicaciones en niños y adolescentes.

**Palabras Claves:** Función pulmonar, espirometría, pletismografía, niños, adolescentes  
Neumol Pediatr 2006; 1(1): 26-29

## INTRODUCCIÓN

La evaluación de la función pulmonar es un aspecto importante en la práctica pediátrica. Contribuye al diagnóstico y seguimiento de muchos pacientes con determinadas condiciones crónicas respiratorias como fibrosis quística, asma, bronquiolitis obliterante entre otras. Si bien existen diversas técnicas descritas, todas requieren -en mayor o menor grado- de la colaboración del paciente. Los niños escolares y adolescentes son capaces de realizar las maniobras requeridas para medir en forma adecuada su función pulmonar. La Tabla I muestra las principales indicaciones para su estudio.

Todo niño con síntomas respiratorios crónicos (tos persistente, sibilancias recurrentes) o desencadenados por estímulos específicos como ejercicio, infecciones respiratorias, inhalantes intra o extradomiciliarios, requiere al menos una

evaluación de su función pulmonar. La curva flujo/volumen es útil para el análisis de los valores obtenidos en la espirometría así como para evaluar el compromiso de la vía aérea superior. Si bien en muchos pacientes con asma la espirometría es normal, las pruebas de provocación bronquial ayudan a definir la presencia o no de algún grado de hiperreactividad bronquial. Algunos sujetos exhiben algún daño pulmonar post-infección, en quienes la determinación de sus volúmenes pulmonares estáticos es útil para establecer el grado de atrapamiento aéreo o hipersinsuflación pulmonar. Finalmente, cada vez más existe un grupo numeroso de niños con enfermedades neuromusculares en quienes el estudio de su función pulmonar no sólo determina el pronóstico sino el inicio de muchas terapias o conductas.

## ESPIROMETRÍA FORZADA

Es el examen básico para evaluar la función pulmonar. Determina el volumen y flujo del aire exhalado en función del tiempo; para ello, el equipo empleado debe cumplir con los requisitos exigidos por la American Thoracic Society (ATS). Luego de una inspiración hasta capacidad pulmonar total (CPT) se solicita que espire en forma forzada hasta alcanzar volumen residual (VR), por lo que la maniobra es esfuerzo dependiente.

Se requiere el uso de instrucciones claras y precisas por parte del técnico, que permitan una fácil comprensión y coordinación del paciente. No deben realizarse más de 8 esfuerzos. Los criterios de aceptabilidad se basan en la visualización de las curvas volumen/tiempo y flujo/volumen, debiendo existir un inicio satisfactorio de la espiración con un máximo de volumen de pérdida inicial de 5% de la capacidad vital (CV), tiempo espiratorio  $\geq 3$  segundos o presencia de meseta (*plateau*)  $\geq 1$  segundo. Debe observarse un adecuado flujo espiratorio máximo (FEM), seguido de una porción descendente - independiente de esfuerzo- con un término adecuado en ausencia de cierre glótico (Figuras 1 y 2). No

Tabla I. Indicaciones para el estudio de función pulmonar

- Evidenciar alteración de la función pulmonar
- Cuantificar deterioro de la función pulmonar
- Definir la naturaleza de la alteración  (restrictiva u obstructiva)
- Identificar el nivel de la obstrucción
- Diferenciar obstrucción fija o variable de vía  aérea central
- Seguimiento del curso de la enfermedad
- Evaluación previa y posterior a intervenciones
- Determinar la presencia de hiperreactividad  bronquial
- Evaluación pronóstica
- Determinar respuesta a terapia
- Investigación

Correspondencia: M. Solange. Departamento de Pediatría.  
Pontificia Universidad Católica de Chile. E-mail: [mcaussade@med.puc.cl](mailto:mcaussade@med.puc.cl)

Figura 1. Curva Flujo/Volumen normal

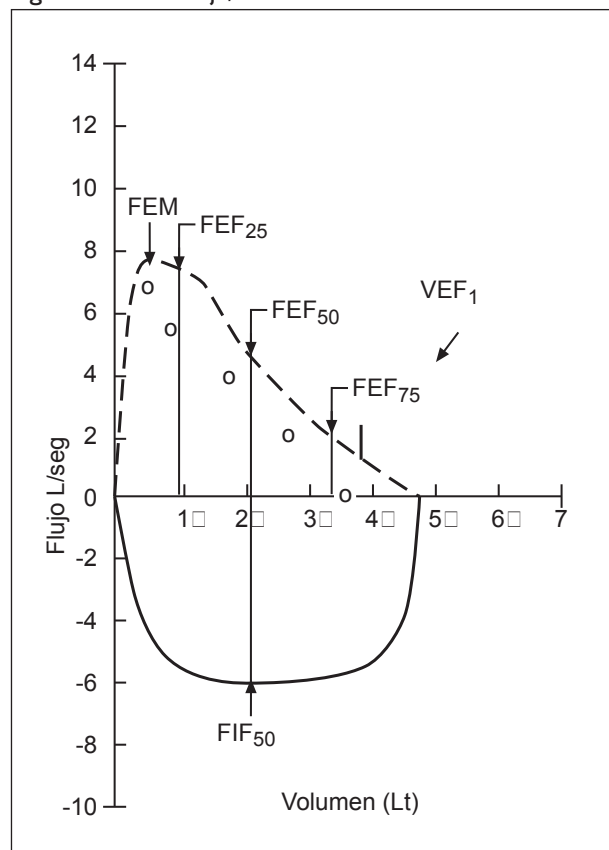
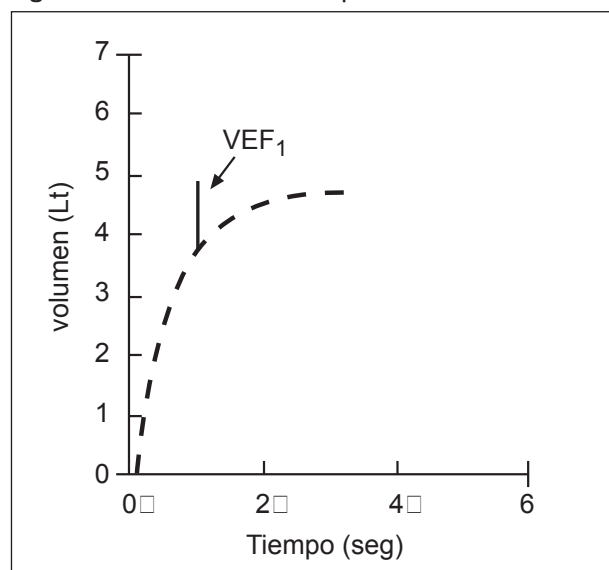


Figura 2. Curva Volumen/Tiempo normal



se aceptan curvas que muestren irregularidades debidas a tos, duda espiratoria, esfuerzo variable, inspiraciones etc. Deben obtenerse al menos 2 maniobras aceptables para luego evaluar su reproducibilidad: variación no mayor del 5% en los valores de capacidad vital forzada (CVF) y volumen espirado en el primer segundo ( $VEF_1$ ).

Tabla 2. Clasificación según la espirometría y su severidad

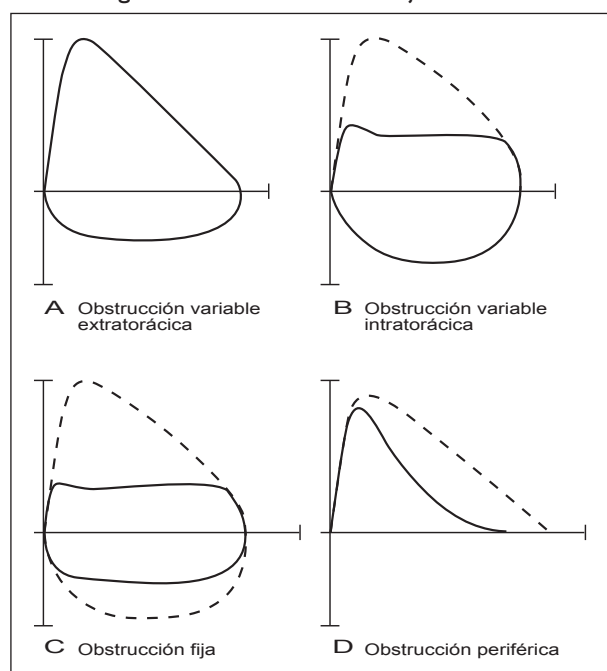
Alteración restrictiva	
(VEF <sub>1</sub> /CVF normal)	
Leve	CVF 65 – 79 %
Moderada	CVF 50 – 64 %
Avanzada	CVF < 50 %
Alteración obstructiva	
Mínima	FEF 25-75 < LI
Leve	VEF <sub>1</sub> 65 – 79 % y/o relación VEF <sub>1</sub> /CVF < LI
Moderada	VEF <sub>1</sub> 50 – 64 %
Avanzada	VEF <sub>1</sub> < 50 %

No existe acuerdo acerca de los valores de referencia a utilizar en nuestro medio. Los valores de Knudson subestiman la presencia de alteraciones obstructivas, mientras que los valores nacionales de Gutiérrez interpretan espirometrías normales como patrones obstructivos o restrictivos. Por ahora, muchas guías nacionales y extranjeras sugieren emplear los valores de Knudson. La tabla 2 muestra la clasificación de patologías obstructivas y restrictivas según su gravedad. En el caso de las condiciones obstructivas, debe hacerse notar si la CVF está normal o disminuida, para considerar el estudio de volúmenes pulmonares totales.

La CVF puede disminuir en diversas enfermedades obstructivas severas debidas a disminución del calibre bronquial, hipersecreción importante o en enfermedades restrictivas. El  $VEF_1$  y la relación  $VEF_1$ /CVF son los índices más utilizados para definir la presencia de una enfermedad obstructiva: si la CVF y  $VEF_1$  están disminuidos, la relación  $VEF_1$ /CVF dará el sello para determinar la presencia de una alteración obstructiva o restrictiva. Ambas variables pueden estar disminuidas en enfermedades obstructivas. La severidad de la obstrucción se mide fundamentalmente según los valores del  $VEF_1$ . El flujo espiratorio forzado durante el 25-75% de la porción espiratoria forzada (FEF<sub>25-75</sub>) indica el estado de las vías aéreas de mediano y pequeño calibre, pudiendo estar disminuido precozmente, incluso antes de observarse cambios en el  $VEF_1$  o en la relación  $VEF_1$ /CVF. En presencia de una relación  $VEF_1$ /CVF límite, el hallazgo de FEF<sub>25-75</sub> disminuido confirma la presencia de una alteración obstructiva. El FEM es el flujo máximo alcanzado durante una maniobra de CVF. Sus factores determinantes incluyen: volumen pulmonar, elasticidad pulmonar, diámetro de las vías aéreas centrales y finalmente la fuerza y coordinación de los músculos espiratorios. Este es el parámetro más dependiente del esfuerzo, por lo que su mayor utilidad se desprende de su visualización en la curva flujo/volumen.

En los pacientes evaluados por sospecha de alguna condición obstructiva debe determinarse la respuesta a broncodilatador. Se considera significativo un aumento en el  $VEF_1$  mayor al 12% y/o aumento de los flujos espiratorios (especialmente FEF<sub>25-75</sub>)  $\geq 30\%$ . Se ha observado que el aumento entre 10-12% del  $VEF_1$  se acompaña de un cambio importante en

Figura 3. Alteración Curva Flujo/Volumen



la forma de la curva flujo/volumen espiratoria, con aumento de los flujos mayor a 30%. La evaluación de los cambios en los flujos espiratorios debe considerar los cambios en CVF. La mayoría de pacientes derivados para estudio de función pulmonar tienen la sospecha o el diagnóstico de asma bronquial; en ellos lo más frecuente es encontrar una espirometría basal normal. Si posterior al uso de broncodilatador se observan cambios significativos en  $VEF_1$  y/o flujos espiratorios, esto sugiere la presencia de algún grado de hiperreactividad bronquial. Se presenta igual situación si la espirometría basal muestra una limitación obstructiva, con respuesta parcial o total a broncodilatador. Por otro lado, si existe una espirometría obstructiva sin respuesta al broncodilatador, debe plantearse la posibilidad de tratarse de etiología secundaria de su enfermedad obstructiva.

### CURVA FLUJO/VOLUMEN

La curva flujo/volumen es el análisis gráfico del flujo generado durante una maniobra de CVF en relación con los cambios de volumen (Figura 1). Se obtiene luego de una espiración forzada seguida inmediatamente de una inspiración forzada hasta alcanzar la CPT. La primera porción de la curva espiratoria -dependiente de esfuerzo- se objetiva mediante el FEM y permite evaluar vía aérea central intratorácica. La fase espiratoria es independiente del esfuerzo luego del 75% de la CVF, hasta llegar a VR y se mide con  $FEF_{50}$  y/o  $FEF_{25-75}$ . En esta fase, el flujo espiratorio está determinado fundamentalmente por la resistencia al flujo aéreo de la vía aérea mediana y pequeña, lo que define su forma. La porción inspiratoria es dependiente del esfuerzo, desde que el paciente está en VR hasta lograr CPT. La medición del flujo inspiratorio máximo ( $FIF_{50}$ ) y la forma de esta fase de la curva es útil para evaluar alteraciones

de vía aérea central extratorácica. Un cálculo de la relación  $FEF_{50}/FIF_{50}$  0,7 a 1,3 es considerado como normal.

El compromiso de una o ambas porciones de la curva flujo/volumen va a diferenciar si se trata de obstrucción de vía aérea intra o extratorácica (Figura 3). Si está afectada la vía aérea extratorácica la fase inspiratoria se verá aplanada, la espiratoria normal, y la relación  $FEF_{50}/FIF_{50}$  será mayor de 1,3. Si el compromiso es solamente de la vía aérea central intratorácica se verá comprometido el FEM, con una curva espiratoria aplanada, relación  $FEF_{50}/FIF_{50}$  menor de 0,7. En pacientes con obstrucción fija de vía aérea central, el compromiso será de ambas porciones de la curva, con una relación  $FEF_{50}/FIF_{50}$  dentro de límites normales. Cuando existe patología de vía aérea intratorácica distal, se compromete el segmento independiente del esfuerzo, graficándose una fase espiratoria cóncava. En los pacientes con patología restrictiva la curva flujo/volumen mantiene su forma normal, siendo menor su tamaño.

### MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD VITAL LENTA (CVL)

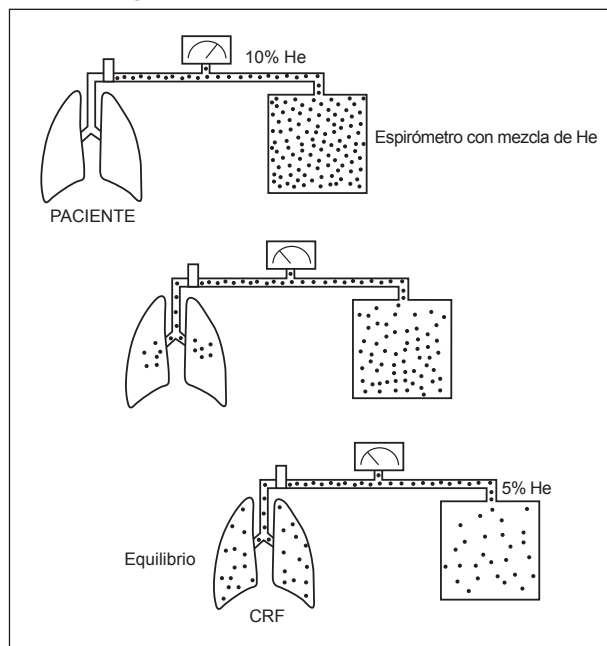
La CVL se mide mediante una espiración lenta y completa luego de una inspiración forzada. La importancia de esta medición se observa fundamentalmente en pacientes con patología bronquial obstructiva severa, en quienes la espiración forzada produce un cierre precoz de la vía aérea, lo que determina un menor volumen de CV. Al realizar una espiración lenta, no forzada ni rápida, no se produce este fenómeno y por lo tanto la CV medida será la real. En sujetos normales no existe diferencia entre ambas mediciones, pero en este tipo de pacientes esta puede ser > 10%.

### MEDICIÓN DE VOLÚMENES PULMONARES POR PLETISMOGRAFÍA

La medición de los volúmenes pulmonares constituye una herramienta fundamental para el estudio de pacientes con enfermedad pulmonar crónica pues permite conocer el VR y la CPT. Sus indicaciones actuales son: Confirmar o descartar la presencia de alguna limitación restrictiva en pacientes con espirometría con CVF disminuida, especialmente cuando esta se asocia a un componente obstructivo ( $VEF_1$  y relación  $VEF_1/CVF$  disminuidos); estudio de enfermedades restrictivas; estudio de enfermedades obstructivas severas con el fin de evaluar el grado de atrapamiento aéreo e hiperinsuflación pulmonar; estudio previo a intervenciones (lobectomía, quimioterapia, radioterapia) e investigación.

Los métodos utilizados incluyen dilución de gases (dilución de helio y técnica de lavado de nitrógeno) y pletismografía. Debe realizarse una espirometría previo al examen, para conocerse los valores de CV, capacidad inspiratoria (CI) y volumen de reserva espiratoria (VRE). La variable que se determina en ambas técnicas es la capacidad residual funcional (CRF). El cálculo del VR se realiza según:  $VR = CRF + VRE$  y para calcular CPT:  $CRF + CI$ .

Figura 4. Método de dilución con hielo



La técnica de plestismografía corporal es considerada la manera más exacta de determinar los volúmenes pulmonares. Existen tres tipos de plestismógrafos: de flujo, volumen y presión, siendo este último el más utilizado. Su método se basa en la ley de Boyle, por la cual en un sistema herméticamente cerrado a temperatura constante, el producto Presión x Volumen se mantiene constante:  $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$  (Figura 4). El paciente realiza respiraciones cortas y rápidas conectado a la boquilla del neumotacógrafo, que durante esta maniobra se mantiene cerrada, registrándose los cambios de presión en la boca, que equivalen a los generados a nivel alveolar. Durante esta maniobra se registra además los cambios de volumen y presión dentro de la cabina, determinados por los movimientos del tórax. El volumen de gas intratorácico (que equivale a CRF) se calcula según la fórmula:

$$V = (\Delta V / \Delta P) \times P$$

$V$  = Volumen pulmonar  
 $\Delta V$  = Cambios en el volumen pulmonar, determinados por los cambios de presión generados dentro de la cabina  
 $\Delta P$  = Cambios en la presión alveolar, determinados por los cambios de presión registrados en la boca  
 $P$  = Presión barométrica

El uso de la plestismografía corporal presenta varias ventajas con respecto a los métodos de dilución de gases y métodos imagenológicos: es rápida, reproducible y determina el volumen de gas intratorácico total. Esto último es de vital importancia en pacientes con patología obstructiva bronquial en quienes habitualmente se subestima los volúmenes

pulmonares al utilizar métodos de dilución. Sin embargo, tiene la desventaja de requerir colaboración activa por parte del paciente y su elevado costo limita su aplicación más frecuente. Además se ha cuestionado su uso en pacientes con atrapamiento aéreo severo, en quienes se sobreestiman los valores reales pulmonares. Ya que aún no existen publicaciones nacionales con valores de referencia plestismográficos se sugiere emplear los valores publicados por Zapletal y colaboradores.

## REFERENCIAS

- Castile R. Pulmonary function testing in children. Kendig's. Disorders of the respiratory tract in children, 6th Edition 1998. WB Saunders Company. Capítulo 10:196-214
- Spirometry and pulmonary mechanics. Manual of pulmonary function testing. Gregg Ruppel. 6th Edition. Mosby. Capítulo 3:43-81
- Linares M, Sánchez I, Corrales R, Díaz A, Escobar AM. Pruebas de función pulmonar en el niño. Rev Chil Pediatr 2000;71:228-42
- ATS. Standardization of spirometry. 1994 Update. Am Respir Crit Care Med 1995;152:1107-1136
- Alvarez C, Brockmann P, Bertrand P, Caussade S, Campos E, Sánchez I. Aplicación clínica de los valores de referencia de espirometría realizados en niños chilenos. Rev Méd Chile 2004;132:1205-1210
- Ries A. Measurement of lung volumes. Clinics in chest Medicine 1989;10:177-186
- Stocks J, Quanjer Ph. Reference values for residual volume, functional residual capacity and total lung capacity. ATS Workshop on lung volume measurement. Official statement of the European Respiratory Society. Eur Respir J 1995;8:492-506
- Díaz A, Ceruti E, Duarte J. Ventilación pulmonar en niños normales. Rev Chil Pediatr 1969;40:670-677