

Espirometría forzada

JOAQUÍN SANCHIS ALDÁS

PERE CASAN CLARÀ

JOSÉ CASTILLO GÓMEZ

NICOLÁS GONZÁLEZ MANGADO

LUIS PALENCIANO BALLESTEROS

JOSEP ROCA TORRENT

Comentario del coordinador

La presente normativa responde al deseo del Comité Científico de SEPAR de disponer de un conjunto de guías para la práctica del estudio de la función pulmonar en sus diversos aspectos y de otras áreas de la neumología. Las siguientes recomendaciones se deben, pues, al apoyo del Comité, son las primeras del conjunto y se refieren exclusivamente a la espirometría forzada. Son el resultado de la labor de un Grupo de Trabajo cuya coordinación tuvo el placer y el honor de llevar a cabo.

El objetivo principal que guió la tarea del Grupo fue homogeneizar la espirometría forzada entre los miembros de SEPAR. Del logro de dicha meta se derivarían aspectos de trascendencia práctica: mayor difusión del procedimiento, mejor comunicación entre los neumólogos, acceso más fácil al aprendizaje de la técnica y al control de calidad en el laboratorio pulmonar.

Para su trabajo, el Grupo se basó en la experiencia previa de dos sociedades profesionales prestigiosas, la American Thoracic Society¹ y la Comisión de la European Commission for Coal and Steel², pero teniendo presentes las características particulares y desarrollo de la neumología en nuestro país. En este sentido, al tiempo que unas especificaciones mínimas, la normativa propuesta es un intento de recomendaciones de procedimiento, suficientemente detalladas para ser también útiles a aquéllos con escasa experiencia en el laboratorio pulmonar.

Por último, es firme creencia de los miembros del Grupo de Trabajo que las especificaciones necesarias para la técnica y aparatos de espirometría, expuestas en los apartados correspondientes y resumidas en el Póster, representan unos niveles *mínimos* por debajo de los cuales ni los resultados son satisfactorios ni los aparatos recomendables.

J. Sanchis Aldás

Consideraciones generales

Espacio físico

La dedicación de parte de la superficie de laboratorio *exclusivamente* a la espirometría ofrece la ventaja de permitir mayor concentración por parte del paciente y del técnico realizador de la espirometría. Si el espacio es cerrado y acústicamente aislado, permite la realización simultánea de otras pruebas con lo que el número de individuos estudiados cada día puede ser mayor. La superficie requerida para la práctica de la espirometría con los equipos mínimos no es mayor de 2 x 3 metros.

Equipo mínimo

Junto al espirómetro, el espacio debe ser suficiente para contener un tallímetro, báscula, termómetro para la temperatura ambiente, barómetro de mercurio, y los diversos muebles y objetos acompañantes, como un sillón de brazos cómodo para el paciente, un sillín para el técnico y una superficie en la mesa donde esté situado el aparato, que permita el cálculo y registro de datos por parte del técnico.

Registro de datos

Sea sobre la gráfica misma de la espirometría o, preferiblemente, en ficha independiente se recogerá un conjunto de datos mínimos que permiten la interpretación del test y, lo que es muy importante, la comparación con pruebas sucesivas. La ficha dispondrá de espacio para los datos teóricos o valores de referencia del paciente, los escogidos como representativos durante la prueba, su relación con los teóricos, sea en porcentaje o en percentil del rango de referencia, y todos ellos dispuestos de forma que faciliten la comparación con los datos de pruebas futuras. En lugar principal se situará la identificación del paciente, fecha y hora de la prueba, edad, talla y peso, estos últimos datos obtenidos con el paciente descalzo y sin ropa de abrigo, presión barométrica y temperatura del aparato el día de la prueba. En pacientes con severa deformidad de columna vertebral o impedimento a la medición de la talla, puede considerarse la envergadura como alternativa, aun a riesgo de sobreestimar ligeramente los valores teóricos correspondientes³.

Se reservará un espacio en la ficha para las *incidencias* registradas durante la prueba, como accesos de tos, defectos en la colaboración, dolor al esfuerzo y debido a otras causas, administración reciente de fármacos pese a las recomendaciones en sentido contrario, estado físico y orientación del paciente, si la prueba se realizó con el paciente echado en camilla, si lo fue a través de traqueostomía, problemas bucales, cirugía reciente, etc., que deberán tenerse en cuenta a la hora de interpretar la prueba y compararla con las futuras.

Instrucciones previas

Es muy recomendable que antes del día de la prueba el paciente sea advertido, en particular por escrito además de oralmente, de la conveniencia de evitar la administración de broncodilatadores en las horas previas al estudio. El uso de beta-2-adrenérgicos por aerosol deberá suspenderse durante las 6 h precedentes como mínimo y el de teofilinas o derivados con un mínimo de 12 o más horas antes de la prueba, lo que depende de que el preparado de teofilina sea de acción rápida o de liberación prolongada. La experiencia hace aconsejable recordar a los pacientes que no es necesario el ayuno previo requerido para otras pruebas. Sin embargo, el enfermo debe abstenerse de fumar en las horas anteriores a la prueba; es también aconsejable evitar las comidas abundantes y las bebidas con contenido en cafeína en las horas previas. Particularmente importante y útil a la vez resulta la explicación del médico al paciente de la razón del estudio, en qué consiste y qué se espera que él ponga de su parte, al tiempo que advertirle de la necesidad por parte del técnico de dar una orden enérgica para facilitar la espiración súbita del aire. Como información valiosa para el estudio y la interpretación se destaca el diagnóstico clínico, la radiografía de tórax, los motivos médicos de la solicitud y el tratamiento actual del enfermo. Los pacientes con sospecha de tuberculosis activa deben acreditar la baciloscopia negativa del esputo. Aquellos con historia reciente de hepatitis B y otras virasis agresivas serán considerados posibles portadores, deberán usar boquillas desechables y es recomendable la esterilización del equipo expuesto directamente a las secreciones del enfermo.

Indicaciones

La espirometría debe realizarse en todo paciente que consulte al neumólogo por síntomas respiratorios; es indispensable en el estudio de la disnea y diagnóstico de neumopatías obstructivas, y conveniente en la evaluación preoperatoria de pacientes no primariamente neumológicos que refieran síntomas respiratorios. La utilidad disminuye mucho en aquellos sin manifestaciones respiratorias ni historia de fumador, a menos que se trate de candidatos a cirugía mayor con edad superior a los 50 años.

Contraindicaciones

Se resumen en la imposibilidad de realización de maniobra correcta, y en la falta de colaboración para la misma. Estas circunstancias se dan con mayor frecuencia en pacientes de edad avanzada, y en niños menores de 6 años que no alcanzan a comprender las maniobras. El neumotórax, el angor inestable y el desprendimiento de retina pueden ser también causa de contraindicación. El estado físico o mental deteriorado o la actitud litigante de algunos pacientes con incapacidad laboral en trámite suelen ser causa de colaboración defectuosa. Como impedimentos relativos se cuentan la traqueostomía, en particular la

que está mal cuidada, con exceso de secreciones, los problemas bucales, las hemiparesias faciales, y el caso raro en que la introducción de la boquilla provoca náuseas e intolerancia en el paciente.

Cualificaciones del técnico de laboratorio

Las referidas a la espirometría deben considerarse en el contexto de las *características educativas* y experiencia requeridas en el técnico de laboratorio de función pulmonar, y son sólo una parte de estas últimas, más generales. Los niveles mínimos de entrenamiento exigibles a un técnico de laboratorio pulmonar para la realización de espirometrías suponen un tiempo de 6 meses de trabajo supervisado, instrucción en los fundamentos biológicos y nociones de patología respiratoria relacionada. El aspirante a técnico debe mostrar capacidad de relación con pacientes y para el trabajo en grupo. La experiencia que permite la detección de errores en el procedimiento y en el funcionamiento de los aparatos, que capacita al técnico para trabajar con cierta autonomía, suele alcanzarse tras un año de trabajo.

Procedimiento

Generalidades

Las explicaciones e instrucciones al paciente mencionadas en el apartado "Instrucciones previas" tienen por objeto lograr las condiciones de reposo, comodidad, tranquilidad y concentración adecuadas para lograr la máxima colaboración y mínimas molestias del paciente. La espiración forzada será realizada por el paciente sentado erecto, con la nariz ocluida por pinzas. El técnico apoyará su mano en el hombro del paciente para evitar su inclinación hacia delante durante la espiración. La boquilla será indeformable para evitar artefactos debidos a la reducción de su luz por mordedura durante la espiración forzada. Las boquillas blandas deberán acortarse para aumentar su consistencia. La espirometría supondrá siempre un mínimo de tres maniobras satisfactorias de espiración forzada, y un máximo de ocho cuando no sean juzgadas adecuadas. Sobrepassar este máximo supone el inútil cansancio del paciente y la pérdida de tiempo por parte del técnico.

Para la valoración de la espirometría efectuada con el paciente en decúbito deberá recordarse que, en estas condiciones, los datos obtenidos son inferiores en un 10%, aproximadamente, a los obtenidos con el paciente sentado. En los enfermos con patología diafragmática o neuromuscular la diferencia entre las dos posiciones puede llegar a ser del 40-60%, lo que convierte a la observación en un dato útil para valorar la repercusión de esta patología.

Maniobra correcta

Cuando se trabaje con un espirómetro de agua o similar, la maniobra incluirá

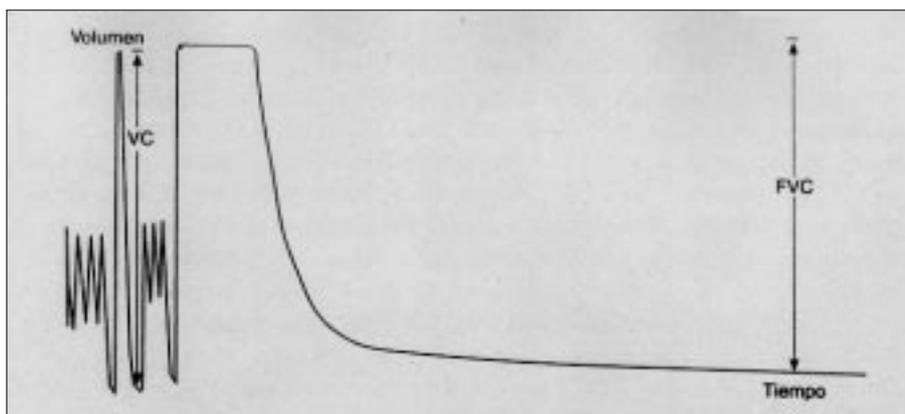


Figura 1. Ejemplo de trazado espirométrico (volumen/tiempo) satisfactorio. La deflexión máxima a la izquierda corresponde a la capacidad vital no forzada (VC). A la derecha, la capacidad vital forzada (FVC), durante la cual se aumentó la velocidad de registro del papel.

el comienzo desde la posición de reposo a una espiración máxima y desde ésta a la inspiración máxima, momento en el cual se pedirá una breve apnea al paciente y mediante orden tajante y clara se le requerirá a la expulsión violenta, forzada al máximo, de todo el aire contenido en los pulmones hasta alcanzar su volumen residual, para lo cual el técnico seguirá apremiando al paciente en su esfuerzo espiratorio durante al menos 10 segundos. Cuando se trabaje con espirometro seco o neumatómetro, la maniobra podrá reducirse exclusivamente a la espiración máxima desde la posición de inspiración máxima. La corrección de una maniobra se juzgará tanto por la forma de su inicio como por la de su curso y finalización, observando al paciente y el trazado de la gráfica (fig. 1). El inicio deberá producir una deflexión neta, brusca, el curso dibujará una curva de concavidad hacia arriba siempre suave sin rectificaciones, y la finalización deberá ser asintótica y no perpendicular o brusca. Ocasionalmente se observan melladuras a lo largo de la curva en la espiración, generalmente después de sólo algunos cientos de mililitros de aire espirado. Aparecen con mayor frecuencia en trazados obtenidos con espirometros de agua o que tienen inercia debido a la cámara de volumen⁴. También pueden representar verdaderas alteraciones del flujo producidas por perturbaciones en las vías aéreas⁴, tanto en la superior como en las intratorácicas, como puede ocurrir en algunos casos de patología de vía aérea superior y en pacientes con parkinsonismo^{5,6}. La medición del volumen espirado durante una maniobra forzada se influye por la selección de su punto de comienzo; ello exige elegir un criterio de inicio de maniobra y mantenerlo consistentemente. La denominada extrapolación retrógrada¹ (fig. 2) es el método más consistente y aceptado por laboratorios europeos y americanos, y es el de elección a menos que otros métodos se demuestren similares o de resultados equivalentes. Para ser eficaz, la extrapolación retrógrada requiere poner en marcha el registrador con anterioridad al inicio de la espiración forzada. El volumen extrapolado por este pro-

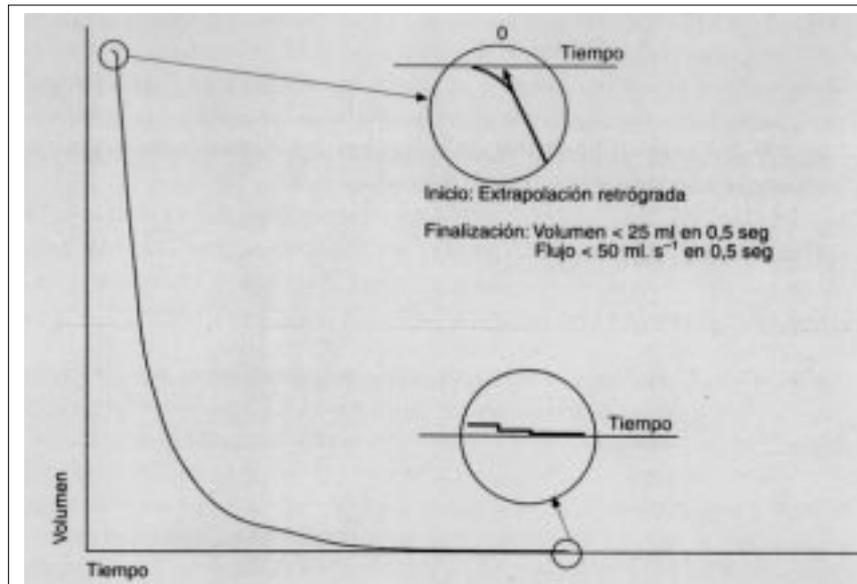


Figura 2. Cálculo del inicio y finalización de la maniobra espirométrica. El inicio, por extrapolación retrógrada, se representa ampliado en el esquema del ángulo superior derecho. El final, ampliado en la parte inferior derecha, se produce cuando el volumen es inferior a 25 ml en 0,5 seg o el flujo es inferior a 50 ml. s⁻¹ en 0,5 seg.

cedimiento debe ser inferior al 10% de la capacidad vital o a 100 ml, sin sobrepasar ninguno de los dos criterios.

Para lograr una buena espirometría el técnico vigilará de manera especial que el esfuerzo del paciente haya sido máximo, que el comienzo haya sido bueno y que no se haya producido tos ni maniobra de Valsalva por cierre de glotis. Particular atención hay que poner en evitar una finalización excesivamente temprana de la espiración, lo que se detectaría en el extremo de la curva que alcanzaría demasiado perpendicularmente la línea horizontal de base. En ocasiones, el paciente de manera inadvertida obstruye parcialmente la boquilla con la lengua, o la dentadura postiza. Como criterio indispensable las dos mejores espiraciones de las tres curvas aceptables pueden variar entre sí hasta un $\pm 5\%$ o ± 100 ml de la FVC, sin sobrepasar ninguno de estos dos criterios^{1,2}. El mejor esfuerzo no puede determinarse únicamente por inspección simple de la curva espirométrica; deben realizarse cálculos y mediciones para determinar los valores máximos. La selección independiente de la FVC y del FEV₁ es causa, en ocasiones, de una ligera mayor variabilidad, pues entran en juego factores como el aprendizaje, la fatiga o el broncospasmo inducido por la espiración¹. No es necesario desechar el mejor FEV₁ cuando la maniobra de la que procede se ha terminado prematuramente. Por contra, el FEF_{25-75%} se influye por la capacidad vital de la curva que se ha elegido. Pueden producirse valores falsamente altos si se ha seleccionado de una maniobra con una capacidad vital cercenada y menor que

la real del individuo. En apariencia, el criterio más práctico es elegir para su cálculo la maniobra que contenga la capacidad vital y el FEV₁ cuya suma sea la máxima de entre las tres escogidas¹. Con excepción quizá de algunos espirometros como el Vitalograph para los cuales todavía se debate la conveniencia de transformar los datos de ATPS en BTPS⁷, todas las variables se informarán siempre en condiciones BTPS, es decir, las del gas en el interior de los pulmones a temperatura corporal, presión atmosférica y completamente saturado en vapor de agua a temperatura del registrador de flujo o de volumen y la presión barométrica, y se aplicará la fórmula:

$$\text{Volumen medido} = \frac{P_B - P_{H_2O}}{P_B - 47} \times \frac{310}{273 + T}$$

en la que P_B = presión barométrica en mmHg, P_{H₂O} = presión de vapor de agua a temperatura del espirometro, T, en grados C, 47 (mmHg) = presión de vapor de agua a 37 °C y 310 = temperatura corporal en grados Kelvin. Al igual que los datos obtenidos, el trazado elegido debe archivar para su comparación con estudios subsiguientes. Desgraciadamente, algunos aparatos proporcionan el registro gráfico a base de osciloscopio y la única posibilidad de archivar la gráfica sería reproducirla por calco o fotografía de la imagen del osciloscopio. Estos aparatos sin registro permanente son de uso limitado.

Variables espirométricas

Selección de las variables

En la cuantificación de la espirometría se ha usado un número considerable de variables e índices obtenidos de la medición de volúmenes y flujos durante la espiración forzada. La capacidad vital sin el calificativo de forzada, que puede medirse también durante la inspiración desde el volumen residual a la capacidad pulmonar total y se representa por las siglas VC, es el volumen movilizado desde una inspiración máxima a una espiración máxima realizadas lentamente y no debe confundirse con la capacidad vital forzada (FVC) descrita en la maniobra que nos ocupa. Como índices de flujo se usan fundamentalmente el volumen espirado en el primer segundo (FEV₁), que además se expresa como porcentaje de la capacidad vital forzada (FEV₁%). Se ha utilizado y se usa todavía ocasionalmente el volumen espirado en el primer medio segundo (FEV_{0,5})⁸; en el pasado tuvo cierto éxito el flujo espiratorio forzado entre los 200 y 1.200 primeros ml de la espiración (FEF_{200-1.200}) pero no aporta información adicional relevante. En la actualidad se usa el flujo producido en el 50% central de la espiración (FEF_{25-75%}) o flujo intercuartil. También se usan los flujos puntuales al 25%, 50% y 75% de la capacidad vital, cuyo registro es asequible a través de los neumotacómetros actuales o de los espirometros con transformación eléctrica de la señal de volumen. El análisis de la curva espirométrica a través de sus tiempos de tránsito no ha alcanzado aún suficiente aceptación en los estudios clínicos a despecho de su sólida fun-

damentación teórica. Pese a cierto grado de redundancia entre algunos de los índices espirométricos, por la facilidad de su obtención, lo difundido de su uso, la abundante información clínica relacionada, la menor variabilidad, mayor sensibilidad relativa y mayor aceptación entre los laboratorios en todo el mundo, se recomiendan la FVC, el FEV₁, el FEV_{1%} y el FEF_{25%-75%} o, alternatively, el MEF_{50%FVC} en el caso de disponer de registro directo de flujo, pues todos los anteriores menos el MEF_{50%FVC} pueden obtenerse fácilmente de un registro volumen/tiempo.

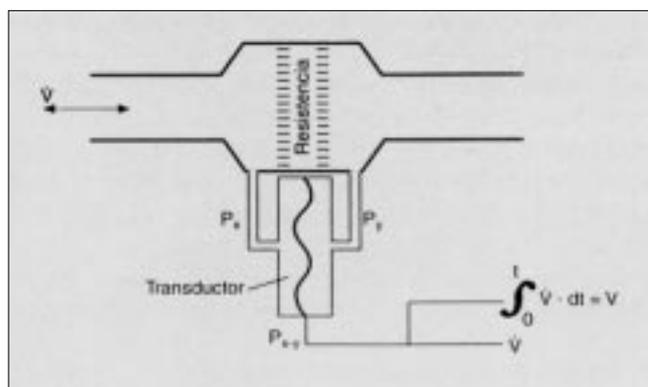
No existe, en realidad, controversia entre la espirometría basada en la curva volumen/tiempo y la obtenida a través del registro flujo/volumen. Ambas representaciones son complementarias. La primera, la curva volumen/tiempo, está enteramente sancionada por el uso y resulta de fácil interpretación. La segunda añade una mayor comprensión de los fenómenos producidos durante la espiración forzada, en particular de la fase espiratoria de flujo limitado e independiente del esfuerzo. Pero ambos análisis de la espiración forzada ofrecen similar y suficiente información para uso clínico. Los criterios de selección de las variables mencionadas se han tratado ya en el apartado anterior.

Aparatos

Aspectos generales

Entre los primeros aparatos de espirometría usados se encuentra, como ejemplo de aparato "cerrado", el espirómetro de agua, basado en una cámara volumétrica inmersa en un recipiente de agua para asegurar su estanqueidad. La dificultad de transporte y el mayor peso que esto comporta impulsó el desarrollo de los espirómetros llamados secos por tener una cámara volumétrica en forma de pistón, fuelle o concertina, sin tener que recurrir a recipiente de agua. Los espirómetros miden volumen y su relación con el tiempo por medio de un mecanismo de relojería para el registro gráfico. Pueden disponer además de conversión eléctrica de la señal de volumen y de la

Figura 3. Esquema de un neumotacómetro tipo Fleisch, cuya resistencia conocida produce una diferencia de presión, registrada por un transductor diferencial y convertida en señal de flujo. Por integración de esta señal de flujo se obtiene el volumen.



ayuda de un microprocesador de datos, que permite la obtención de la curva flujo/volumen y registro de flujos instantáneos, aunque su valor se limita por la mayor inercia de estos instrumentos. Para la práctica de espirometría con aparatos cerrados es recomendable reducir la resistencia del circuito prescindiendo del absorbente de CO₂. Aun así, la resistencia no debe sobrepasar los 1,5 cm H₂O l⁻¹.s cuando el flujo sea de 12 l.s⁻¹. El neumotacómetro (fig. 3), ejemplo de aparato "abierto", mide inicialmente el flujo a través de una resistencia conocida que provoca una diferencia de presión entre la parte anterior y posterior a la misma; la diferencia se transforma en señal de flujo por medio de un transductor de presión. La señal de flujo es integrada electrónicamente en volumen y, por medio de un cronómetro interno, relacionada con el tiempo. De esta forma el neumotacómetro puede producir indistintamente una curva flujo/volumen, flujo/tiempo o volumen/tiempo, de acuerdo con las instrucciones programadas en sus registros impresos. Las ventajas de unos y otros aparatos se ponen de manifiesto en circunstancias particulares. Puede decirse sin embargo, de modo general, que las necesidades clínicas se satisfacen indistintamente mediante el empleo de espirómetros y neumotacómetros, con escasas diferencias entre los dos en lo que a la espirometría se refiere. Las características exigibles a un buen aparato para su empleo en clínica se enumeran en el Apéndice 1.

Especificaciones mínimas a reunir por un espirómetro

En general los espirómetros de agua sirven para medir la capacidad vital no forzada, además de la forzada. Esto quiere decir que deben ser capaces de acumular volumen al menos 30 segundos sin interrupción y su capacidad debe alcanzar como mínimo los 8 litros. Si el aparato necesita un volumen muerto residual para comenzar el registro, su capacidad deberá superar los 8 litros. La colección del volumen exhalado durante una espiración forzada requiere un tiempo absolutamente mínimo de 10 segundos, preferiblemente prolongable a 15 segundos. Estos tiempos mínimos no evitarán subestimar la capacidad vital forzada en algún enfermo con obstrucción especialmente severa cuya espiración se ha enlentecido de forma extraordinaria. Los aparatos que no dispongan de un tiempo de registro mínimo de 10 segundos infravalorarán con mucha frecuencia la capacidad vital de pacientes con obstrucción al flujo aéreo, por lo que deben rechazarse. La medición de volúmenes por el espirómetro debe ser independiente del flujo en el rango de 0 a 12 litros por segundo. La exactitud de la lectura será al menos de $\pm 3\%$ de la medición o ± 50 ml, sin sobrepasar ninguno de estos dos criterios. Si la señal básica obtenida es la de flujo, como en el caso de los neumotacómetros, el rango mínimo para el cual el comportamiento del aparato debe ser lineal es 0 a 12 litros por segundo. El registro de volumen se considerará finalizado cuando su incremento sea inferior a 25 ml durante 0,5 seg. Si el aparato mide flujo, la maniobra se considerará acabada cuando el flujo sea inferior a 50 ml s⁻¹ durante 0,5 seg (fig. 2). Cuando el registro gráfico se obtenga mediante un quimógrafo, la velocidad del transporte de papel deberá superar los 3

TABLA I. VARIABILIDAD DE LA ESPIROMETRÍA EN EL SANO

Variables	Coeficiente de variación (%)	
	Edad: 6-20 años*	20-70 años**
FVC	1,9	2,2
FEV ₁	2,2	2,2
FEF _{25-75%}	6,5	4,8
MEF _{50%FVC}	5,3	4,7

*Valores correspondientes a 33 voluntarios sanos. (Referencia bibliográfica 27).

**Valores de 20 adultos sanos. (Referencia bibliográfica 26).

cm s⁻¹ si se desea usar la gráfica para los cálculos espirométricos⁹.

Control de calidad y mantenimiento

Calibraciones

Además de los procedimientos de autocalibración incorporados al aparato por el constructor para la comprobación rápida del funcionamiento de los circuitos y mecanismos básicos del espirómetro o neumotacómetro, el aparato debe poder comprobarse mediante la aplicación de señales externas al mismo. Estas señales deben parecerse al máximo, tanto en la magnitud de flujos como de volúmenes y tiempos, a la propia señal biológica para la cual los instrumentos están diseñados, es decir, la espiración forzada¹⁰. Esto no siempre es posible pero, cuanto menos, debe reproducirse alguno de los elementos de la señal biológica, el volumen o el flujo, conjuntamente o por separado. En este sentido, las jeringas de varios litros de capacidad proporcionan una señal adecuada y los generadores de flujo sirven para valorar la precisión y errores en la medición del flujo. Entre los aparatos de calibración más prácticos está el denominado descompresor explosivo¹¹ que consiste en una cámara de 4 o 5 litros presurizada a una atmósfera, provista de apertura súbita para la expulsión brusca de un volumen idéntico al de la cámara. Se consigue así simular la espiración forzada de una persona y, mediante resistencias adecuadas con diferentes grados de obstrucción colocadas en el tubo de salida, la señal asemeja la de un paciente con ligera, moderada o severa obstrucción al flujo aéreo. Así pues, examina tanto la medición de volumen como la de flujo. La construcción de un aparato de estas características es sencilla¹². Pero, si no puede lograrse, deberá recurrirse a la comprobación del funcionamiento del aparato por medio del uso de "individuos control". Es decir, personas próximas al laboratorio y cuya cooperación sea asequible, que realicen una espirometría correctamente, con facilidad y escasa variabilidad (tabla I), de forma que periódicamente puedan reproducir su espirometría y compararla a los datos anteriores. Así pueden detectarse errores que necesariamente habrán de ser importantes en su magnitud, ya que la propia variabilidad de la espirometría impide la detección de pequeñas dife-

rencias en la medición de volumen y flujo.

En el caso de espirómetros con temporizador o cronómetro para la obtención de la curva flujo/tiempo, debe verificarse mensualmente su funcionamiento mediante un cronómetro manual, por grosera que sea la comprobación. En general, el error en la medición del tiempo deberá ser inferior al 2%. Conviene recordar la posibilidad de errores sólo presentes en parte del recorrido del tambor de registro o sistema de transporte de papel. En estos aparatos debe investigarse, además, la posible existencia de fugas en el circuito cerrado.

Frecuencia de calibración

En condiciones normales de trabajo la calibración por medio de la señal de volumen proporcionada por una jeringa manual se realizará diariamente en los neumotacómetros y semanalmente en los espirómetros secos o de agua. En estos instrumentos, la jeringa se vaciará en varias ocasiones con el espirómetro conteniendo un volumen diferente en cada una de ellas. De esta forma se comprobará la exactitud de lectura a lo largo de la escala de medición. Si el aparato que se calibra es un neumotacómetro, la señal proporcionada por la jeringa deberá producirse con impulsos diferentes para verificar si la lectura del flujo mantiene una respuesta rectilínea, ya que el aparato deberá integrar la señal siempre en un mismo volumen -el proporcionado por la señal de la jeringa- sea cual sea la brusquedad de la maniobra de inyección, mientras no se sobrepase el límite superior del rango de flujos medido con exactitud (proximidad al valor real) por el instrumento en cuestión. La calibración con señal dinámica proporcionada por el descompresor explosivo, o la medición de la espirometría en individuos control, mencionada anteriormente, puede realizarse con bastante menor frecuencia. Es recomendable efectuarla quincenalmente con el descompresor para el caso de los neumotacómetros y mensualmente para los espirómetros. Puesto que realizar espirometrías con individuos control es más complicado y menos accesible, no es un procedimiento que pueda emplearse con una frecuencia mayor de la mensual o en el momento en que se sospeche mal funcionamiento del aparato.

Mantenimiento y limpieza

El mantenimiento se llevará a cabo de acuerdo con las instrucciones proporcionadas por el fabricante del aparato. Además de los cuidados habituales requeridos por los instrumentos médicos, deberá dedicarse especial atención a la limpieza de las partes expuestas a la respiración del paciente. Las boquillas deben ser de utilización individual pero no necesariamente desechables. El uso diario normal de un espirómetro requiere el lavado cuidadoso de tubos y conexiones con agua y detergente al menos una vez por semana. En el caso de los neumotacómetros la pieza a lavar es el cabezal de flujo si está dispuesto próximo a la boca. Dado lo delicado de su estructura, el procedimien-

to debe ser muy cuidadoso. Una frecuencia de lavado algo menor es suficiente para la cámara volumétrica -campana o fuelle- que suele acumular agua de condensación. Después del lavado es recomendable aclarar con agua destilada para evitar el depósito de sales (especialmente perjudicial en el cabezal del neumotacómetro). El secado final con un secador eléctrico sencillo, como los empleados para el cabello, acelera considerablemente el proceso. Sólo en ocasiones, la sospecha de contaminación microbiana exige el uso de antisépticos en solución o procedimientos de esterilización más complejos.

Libreta de mantenimiento

El registro escrito de la calibración diaria, quincenal o mensual, así como de las incidencias de funcionamiento del aparato, en una libreta destinada especialmente al aparato en cuestión (Apéndice 2), es una práctica extraordinariamente recomendable pues facilita el logro del alto nivel de calidad deseable en un laboratorio. Esta práctica permite evidenciar pequeños errores de acumulación gradual que podrían pasar largo tiempo desapercibidos, así como trazarlos hasta el momento en que el aparato comenzó a comportarse inadecuadamente, y proporciona información respecto a la naturaleza de la alteración. La libreta de mantenimiento no debe confundirse con el manual de procedimiento. El manual, que debe existir en todo laboratorio, es una pieza fundamental para asegurar la obtención de la calidad necesaria y debe haberlo para cada uno de los procedimientos del laboratorio. Debe redactarse por personal del propio laboratorio. Pueden incluirse en él secciones obtenidas del manual de instrucciones del fabricante del aparato en cuestión, extraídas, resumidas o modificadas por los propios técnicos del laboratorio de acuerdo con sus formas de uso. Debe incluir el plan de control de calidad, la lista de indicaciones para realizar cada una de las pruebas de función respiratoria y la lista de realización y de informe de los resultados en la forma en que se realizan las ecuaciones de los valores de referencia que se usan en el laboratorio y las referencias básicas sobre las cuales se fundamenta la forma de realizar la prueba determinada. Como mínimo, el manual de procedimiento debe incluir para cada técnica los apartados recogidos en el Apéndice 3.

Valores de referencia e interpretación de resultados

Valores de referencia

Idealmente los valores de referencia a utilizar en un laboratorio deben obtenerse en el propio laboratorio. Esto supone un esfuerzo que no todos los laboratorios tienen a su alcance. Para aquellos que no planean obtener sus propios valores de referencia existen dos soluciones. La primera es obtener

valores en un grupo reducido de voluntarios sanos de características similares a las de sus propios pacientes cuyo número sea suficiente para comparar, con arreglo a los criterios estadísticos correctos, los datos propios con los de un grupo mayor de entre los publicados en la literatura. Este es el camino seguido por Crapo y colaboradores¹³ con respecto a los valores de Morris y colaboradores.

La segunda alternativa consiste en la adopción de un conjunto de valores de referencia de los publicados en la literatura que, por las características de recogida de pacientes, del tipo de voluntarios y del método y aparatos utilizados se asemeje al máximo a las del propio laboratorio en cuestión. Es práctica corriente que el fabricante de un instrumento, generalmente extranjero, proporcione el aparato con unos valores de referencia incorporados en el microprocesador y por consiguiente haga difícil adoptar esta última alternativa. En bastantes de estos aparatos la modificación y sustitución de los valores por otros de elección del propio laboratorio es factible, pero conviene establecerla con anterioridad a la compra del aparato. En este sentido, la decisión de favorecer datos de poblaciones similares a las del laboratorio propio es más que una actitud meramente chovinista, ya que las diferencias entre poblaciones, métodos, aparatos, técnicas, criterios de selección, etc., pueden llegar a hacer importante la discrepancia entre los datos observados por el laboratorio y los correspondientes a los valores de referencia incorporados al espirómetro. Existe suficiente literatura para proyectar con éxito la consecución de una serie de valores de referencia propios¹⁴⁻¹⁷. Es mucho más problemática la forma en que una vez obtenidos los valores de referencia se comparen con los datos del paciente. Consideración especial merece la discusión sobre el intervalo de referencia, límites del rango de referencia, percentiles, etc. que excede el ámbito de estas recomendaciones pero que puede encontrarse en la literatura relacionada¹⁸⁻²⁴. Las limitaciones e inadecuaciones del uso clínico de las ecuaciones sumariales propuestas por la ECCS² han sido someramente expuestas por Thornton y Miller²⁵. En su revisión de la literatura, el Grupo de Trabajo ha podido encontrar los valores de referencia del Estudio Multicéntrico de Barcelona^{26,27} como los únicos hasta el presente, obtenidos en población española, de acuerdo con las normas internacionales^{1,2} (Apéndice 4).

Clasificación de la alteración espirométrica

El uso de una clasificación con diferentes grados de severidad facilita la comunicación y la uniformidad del lenguaje entre el laboratorio y la clínica. Con ello mejoran el intercambio de experiencias y el seguimiento de los pacientes. No obstante, conviene mantener presente la arbitrariedad de las cifras propuestas para los distintos grados, no directamente extrapolables a la valoración de incapacidad laboral u otras situaciones específicas, ajenas al uso clínico habitual. Convencido, por otra parte, de los beneficios de su uso en la clínica diaria, el Grupo de Trabajo recomienda la clasificación propuesta por

el American College of Chest Physicians²⁸ pero limitándola a la valoración de FVC y FEV₁. La experiencia acumulada en los casi 20 años transcurridos desde su introducción representa un firme aval de su utilidad.

Desde un punto de vista *estrictamente espirométrico*, las alteraciones ventilatorias pueden clasificarse como sigue:

Severidad	FVC, FEV ₁ o ambos, expresados como % del Valor de referencia
Ligera	Hasta el 65%
Moderada	Entre el 64% y el 50%
Severa	Entre el 49% y el 35%
Muy severa	Menor del 35%

Aplicaciones complementarias

Respuesta al broncodilatador

Consiste en la repetición de la espirometría un intervalo de tiempo (generalmente 10 min) después de la aplicación de una determinada dosis de broncodilatador (0,2 mg de salbutamol o equivalente, por cartucho presurizado) y la comparación de sus resultados con la espirometría basal. La diferencia respecto a valores basales observada en las variables seleccionadas, concretamente la FVC, el FEV₁ y otro flujo -el FEF_{25-75%} o el MEF_{50%FVC}- permite detectar cambios estadísticamente significativos. La diferencia observada debe expresarse en su valor absoluto en ml, en porcentaje respecto al basal y, preferiblemente, en el denominado porcentaje ponderado: $2 \text{ (post-pre)/(post+pre)}$ ²⁹. El Grupo de Trabajo recomienda la incorporación de esta prueba a la espirometría de rutina.

Inspirometría

Su especial utilidad está en el estudio de vías aéreas superiores o en la detección de un componente de vía aérea superior en el conjunto de la obstrucción al flujo aéreo que padece el paciente³⁰. Para su realización deben seguirse criterios análogos a los de la espirometría forzada con la obtención de tres maniobras satisfactorias de inspiración máxima y la selección de entre ellas de los máximos valores de las variables inspirométricas. Entre las variables más comúnmente utilizadas están el flujo inspiratorio máximo en el primer segundo (FIV₁), el flujo máximo al 50% de la inspiración forzada (FIF_{50%FVC}) o simplemente el flujo máximo alcanzado durante la inspiración forzada (PIF). La valoración de estas variables se basa en su relación con las correspondientes espiratorias. El estudio de la obstrucción de vías aéreas superiores incluye también otras relaciones entre variables como es la del flujo máximo y el FEV₁³¹.

Pruebas de provocación bronquial

De gran utilidad en el diagnóstico de presunción del asma bronquial y estados de hiperreactividad bronquial transitoria³². Especialmente valiosos en el diagnóstico del asma profesional, cuando la provocación es específica.

Mediciones a domicilio

El uso de aparatos sencillos, que proporcionan alguno de los datos escogidos entre las variables espirométricas, permite el registro por el propio paciente de datos que reflejan aproximadamente su capacidad ventilatoria. En concreto, el flujo máximo (PEF) es el más usado y se aplica en general al control domiciliario de asmáticos inestables, al diagnóstico del asma laboral y a la investigación clínica. Dadas las características de los aparatos registradores disponibles a este fin, es imprescindible la detallada instrucción del paciente sobre la maniobra a realizar y sus posibles errores. Conviene, además, comprobar el funcionamiento de los aparatos en el laboratorio, contrastándolos siempre que sea posible con un instrumento convencional bien calibrado.

Apéndice 1

Especificaciones recomendables en un buen espirómetro:

- 1) Sencillez de manejo, estabilidad, robustez y portabilidad.
 - 2) Microprocesador incorporado con capacidad de almacenamiento en su memoria para 6 maniobras espiratorias. En su defecto deberá poder almacenar la seleccionada de entre las tres prebroncodilatador y mantener la capacidad para tres maniobras más posbroncodilatador.
 - 3) Registro gráfico simultáneo de la curva flujo/volumen espiratoria (en pantalla o registrador XY) a una escala mínima de 1 litro 2 cm, con posibilidad de registro de la curva volumen/tiempo.
 - 4) Posibilidad de comparar los valores obtenidos con los de referencia (elegibles por el usuario) y expresión de la comparación de resultados en porcentaje o en percentiles del rango de referencia.
 - 5) Impresión numérica y gráfica de resultados en condiciones BTPS.
 - 6) Facilidad de limpieza y esterilización de las partes del equipo en contacto con la respiración del paciente.
 - 7) Facilidad de calibración dinámica por señal externa y autocalibración.
 - 8) Satisfacción de los mínimos exigidos para el registro de volumen o flujo.
-

ponsable del paciente.

12) Fecha en que se realizó el manual de procedimiento y fecha para la revisión prevista del mismo.

Apéndice 4

Valores de referencia para la espirometría forzada

Estudio multicéntrico de Barcelona

Variable	Sexo	Ecuación (6-20 años)	R	SEE
FVC	M	0,02800 T+0,03451 P+0,05728 E-3,21	0,947	0,443
	F	0,03049 T+0,02220 P+0,03550 E-3,04	0,935	0,313
FEV ₁	M	0,02483 T+0,02266 P+0,07148 E-2,91	0,945	0,378
	F	0,02866 T+0,01713 P+0,02955 E-2,87	0,940	0,263
FEF _{25-75%}	M	0,038 T+0,140 E-4,33	0,832	0,796
	F	0,046 T+0,051 E-4,30	0,789	0,651
PEF	M	0,075 T+0,275 E-9,08	0,907	1,073
	F	0,073 T+0,134 E-7,57	0,879	0,831
MEF _{50%FVC}	M	0,017 T+0,157 E+0,029 P-2,17	0,856	0,811
	F	0,046 T+0,067 E-4,17	0,803	0,669
MEF _{25%FVC}	M	0,024 T+0,066 E-2,61	0,760	0,562
	F	0,027 T+0,032 E-2,68	0,709	0,507

Variable	Sexo	Ecuación (20-70 años)	R	SEE
FVC	M	0,0678T-0,0147 E-6,05	0,72	0,530
	F	0,0454 T-0,0211 E-2,83	0,75	0,403
FEV ₁	M	0,0499 T-0,0211 E-3,84	0,75	0,444
	F	0,0317 T-0,0250 E-1,23	0,82	0,307
FEF _{25-75%}	M	0,0392 T-0,0430 E-1,16	0,55	1,000
	F	0,0230 T-0,0456 E+1,11	0,70	0,680
PEF	M	0,0945 T-0,0209 E-5,77	0,47	1,470
	F	0,0448 T-0,0304 E+0,35	0,47	1,040
MEF _{50%FVC}	M	0,0517T-0,0397 E-2,40	0,47	1,300
	F	0,0242 T-0,0418 E+1,62	0,56	0,925
MEF _{25%FVC}	M	0,0190 T-0,0356 E-0,14	0,63	0,620
	F	0,02T-0,031 E-0,0062 P-0,21	0,76	0,405

M: masculino; F: femenino

R: coeficiente de correlación múltiple; SEE: error típico de la estimación

T: tabla (cm); P: peso (kg); E: edad (años).

Bibliografía

1. A.T.S. Statement. Snowbird Workshop on standardization of spirometry. R.M. Gardner et al. Am Rev Respir Dis 1979, 119: 831-838.
2. Standardized lung function testing. Report Working Party "Standardization of lung function

- tests". Ph.H. Quanjer, (Ed.) Eur. Com. Coal and Steel, Luxembourg, July 1983. Bull Eur Physiopath Resp 1983; 19 (Suppl 5): 22-27.
3. Martín Escribano P, Palomera Frade J, López Encuentra A, Ignacio García JM, Domínguez Lozano MJ. Arm span and standing body height. Bull Eur Physiopathol Respir 1985; 21: 28A (Abstract).
 4. Saltzman HP, Ciulla EM, Kuperman AS. The Spirographic "kink". A sign of emphysema. Chest 1976; 69: 51-55.
 5. Tammelin BR, Wilson AF, Berry Borowiecki B, Sassin JF. Flow- volume curves reflect pharyngeal airway abnormalities in sleep apnea syndrome. Am Rev Respir Dis 1983; 128: 712-715.
 6. Vincken WG, Gauthier SG, Dollfuss RE, Hanson RE, Daranay CM, Cosio MG. Involvement of upper-airway muscles in extrapiramidal disorders. New Engl J Med 1984; 311: 438-442.
 7. Perks WH, Sopwith T, Brown D, Green M. Should values obtained with a bellows spirometer be converted to BTPS? Proc Br Thorac Assoc Jan 29-30, 1981. Thorax 1981; 36: 221 (Abstract).
 8. Rahn H. Absolute lung volume: BTPS, ATPS and STPD conditions, en "Respiration and Circulation". P.L. Altman, D.S. Dittmer (eds.). Bethesda, Med Fed Amer Soc Exper Biol, 1971; 11.
 9. Gardner RM, Crapo RO, Billings RG, Shigeoka JW, Hankinson JL. Spirometry: What paper speed? Chest 1983; 84: 161-165.
 10. Hankinson JL, Gardner RM. Standard waveforms for spirometer testing. Am Rev Respir Dis, 1982; 126: 362-364.
 11. Petusevsky ML, Lyons LD, Smith AA, Epler GR, Gaensler EA. Calibration of time derivatives of forced vital capacity by explosive decompression. Am Rev Respir Dis, 1980; 121: 343-350.
 12. Casan P, Giner J, Miralda RM, Canet J, Navajas D, Sanchis J. Calibrador de espirómetros por descompresión explosiva. Arch Bronconeumol 1983; 19, 94-99.
 13. Crapo RO, Morris AH, Gardner RM. Reference spirometric values using techniques and equipment that meet ATS recommendations. Am Rev Respir Dis 1981; 123: 659-664.
 14. Ferris BG et al. Epidemiology Standardization Project. Am Rev Respir Dis 1978, 118, n.º 6 (Part 2 of 2 parts): 1-120.
 15. Gräsbeck R, Alstron T (eds.). Reference values in Laboratory Medicine, Chichester, John Wiley & Sons, 1981.
 16. Drouet D, Kauffman F, Brille D, Lellouch J. Valeurs spirométriques de référence. Modèles mathématiques et utilisation pratique. Bull Eur Physiopathol Respir 1980; 16: 745-767.
 17. Gardner RM, Glindmeyer HW, Hankinson JL. Standardization of spirometry with special emphasis in field testing, en "Occupational Lung Diseases", vol 18, Lung Biology in Health and Disease, Hans Weill, M. Turner-Warwick, New York, Marcel Dekker; 1971, 61-85.
 18. Sunderman FW. Current concepts of "Normal Values" "Reference values", and "Discrimination values" in Clinical Chemistry. Clin Chem 1975; 21: 1.873-1.877.
 19. Feinstein AR. Clinical Biostatistics. Chicago, Mosby Co; 1977; 243-253.
 20. Mainland D. Remarks on clinical "Norms". Clin Chem 1971; 17: 267-274.
 21. Murphy EA, Abbey H. The normal range - A common misuse. J Chron Dis 1967; 20: 79-88.
 22. Sobol BJ, Sobol PG. Percent of predicted as the limit of normal in pulmonary function testing: a statistically valid approach. Thorax 1979; 34: 1-3.
 23. Herrera L. The precision of percentiles in establishing normal limits in medicine. J Lab Clinical Med 1958; 52: 34-42.
 24. Glindmeyer HW. Predictable confusion. J Occup Med 1981; 23: 845-849.
 25. Thornton JC, Miller A. Standardized lung function testing. Bull Eur Physiopathol Respir 1984; 20: 571-2.
 26. Roca Torrent J. Valores de referencia de l'espirometría forzada d'una població mediterrània. Tesis Doctoral. U. de Barcelona 1982. También en: J. Roca et al. Spirometric reference values for a mediterranean population. Bull Eur Physiopathol Respir. 1982, 18: 101-102.
 27. Casan Clarà P. Valores espirométricos de referencia para niños y adolescentes sanos. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona, 1985.
 28. Snider GL, Kory RC, Lyons HA. Grading of pulmonary function impairment by means of pulmonary function tests. Dis Chest 1967; 52: 270-271.
 29. Rossiter CF. Discusión en Scand. J Respir Dis 1976; 113: 587-600.
 30. Acres JC, Kryger MH. Upper airway obstruction. Chest 1981; 80: 207-211.
 31. Eijnell H, Bake B, Mansson I. Spirometric indices in the assessment of laryngeal obstruction. Eur J Respir Dis 1984; 65: 600-610.
 32. Eiser NM, Kerrebijn KF, Ph. H. Quanjer. Guidelines for Standardization of bronchial challenges with (nonspecific) bronchoconstricting agents. Bull Europ Physiopathol Respir 1983; 19: 495-514.