

MECÁNICA RESPIRATORIA I

Editores

J.M. Pino
F. García Ríó

Coordinador

J. Sanchis Aldás

PRESENTACIÓN

Dr. Joaquín Sanchis Aldás
Departamento de Neumología
Hospital de la Santa Creu i de Sant Pau
Barcelona

Por iniciativa de los doctores José María Pino y Francisco García Ríó, coordinadores de la obra, Sanitaria 2000 ha emprendido la impresionante tarea de editar una serie de monografías bajo el título general de Estudio de la Función Respiratoria, con objeto de recoger y presentar los conocimientos actuales sobre la fisiología respiratoria aplicada al uso clínico. En mi opinión, los citados coordinadores han tenido el acierto de elegir la espirometría como tema de la primera de las 12 monografías que componen la serie. ¿Por qué la espirometría? De todas las técnicas de estudio de la función pulmonar, la espirometría junto con la determinación de la presión de los gases en sangre arterial es, con mucho, la más empleada, la más estudiada en relación con la repercusión funcional de la enfermedad, la más enriquecida con información de relevancia en la evolución, pronóstico y respuesta al tratamiento de las enfermedades respiratorias y -también con los gases en sangre- la más difundida fuera del ámbito de la Neumología. En su haber tiene el alto grado de estandarización alcanzado en aparatos, procedimiento y valores de referencia, el ingente volumen de información epidemiológica y clínica, y su accesibilidad técnica y económica. En su debe se cuenta la dependencia crítica de la colaboración adecuada por parte del paciente y la necesidad de competencia y satisfacción de unos criterios de calidad por parte de su realizador.

Precisamente los aspectos del haber y, en particular del debe se han tenido muy presentes en la confección del índice de la monografía, con la intención de facilitar y ampliar más su uso entre los médicos de habla castellana. En el desarrollo de los capítulos se ha aceptado deliberadamente cierto grado de repetición y solapamiento, con objeto de hacer su lectura más independiente y su consulta más rápida y fácil.

La orientación general de la monografía parte del convencimiento de que la espirometría es un instrumento básico del neumólogo, al mismo nivel que lo es el estetoscopio, para aproximarse a un enfermo con dificultad respiratoria. Desde este convencimiento, los autores de los diferentes capítulos se han esmerado en proporcionar, de forma escueta, los conocimientos básicos que permitan al lector realizar e interpretar la espirometría con la mayor pericia y beneficio.

ÍNDICE

Mecánica respiratoria. I (Espirometría y curva flujo-volumen)

Capítulo 1. Aparatos y procedimientos. Dificultades, errores, efectos adversos y contraindicaciones.....	7
<i>Jordi Giner. Hospital Sant Pau</i>	
Capítulo 2. Representación gráfica. Curva flujo/volumen y volumen/ tiempo. Índices de flujo, volumen y tiempo. Variables espirométricas más usadas.....	17
<i>Nicolás González-Mangado. Clínica N^a S^a de la Concepción</i>	
Capítulo 3. Valores de referencia. Base teórica. Cálculo cuando no se aplica la altura. Elección del conjunto de valores más apropiado. Uso de las ecuaciones de predicción y sus límites. Expresión de resultados. Fuentes de variabilidad espirométrica.	33
<i>Bernat Togores Solivellas. Hospital Universitario Son Dureta</i>	
Capítulo 4. Valoración de la broncodilatación y su significado.	49
<i>Luís Compte Torrero. Hospital La Fe</i>	
Capítulo 5. Factores limitantes del flujo espiratorio.	61
<i>Daniel Navajas Navarro, Hospital Clinic</i>	
Capítulo 6. Interpretación de una espirometría.	71
<i>Francisco García Río, Hospital La Paz</i>	
Capítulo 7. Espirometría en la Obstrucción de Vía Aérea Superior.	99
<i>Eduardo García Pachón Hospital G. Univ. Alicante</i>	
Capítulo 8. Espirometría fuera del Laboratorio Pulmonar.	113
<i>Felip Burgos Rincón Hospital Clinic</i>	

APARATOS Y PROCEDIMIENTOS

JORDI GINER

Departament de Pneumologia

Hospital de la Sta. Creu i Sant Pau

Barcelona.

Correo electrónico: jginer@hsp.santpau.es

La espirometría es una prueba básica para el estudio de la función pulmonar que mide el aire que un individuo puede movilizar, de forma forzada, durante una maniobra de inspiración o espiración en relación al tiempo. Su realización, exige unos requerimientos técnicos mínimos para poder garantizar su calidad, que en la práctica, algunas veces, son difíciles de alcanzar. Se puede dividir estos requerimientos en dos grandes apartados: los relativos al equipo y los relativos a la técnica de ejecución. Con el objetivo de estandarizar estos aspectos, distintas sociedades científicas neumológicas han publicado a lo largo del tiempo (1-4) recomendaciones con unos mínimos que tanto equipos como maniobras deben cumplir para garantizar su calidad y poder comparar los resultados obtenidos, entre distintos centros y entre diferentes equipos. Estos mínimos están actualmente en revisión por un grupo de la European Respiratory Society (ERS) y la American Thoracic Society (ATS) para normalizar estas recomendaciones y unificarlas. Por ello utilizaremos las que están en vigor, con la posibilidad de que en alguna de ellas pueda haber pequeñas modificaciones en el futuro.

EL EQUIPO

Los espirómetros han vivido un gran cambio debido a la introducción y desarrollo de la informática. Así pues los clásicos y aparatosos espirómetros de volumen, que en un principio solamente ofrecían maniobras volumen/tiempo, han dado paso a los más novedosos, pequeños y fáciles de utilizar, espirómetros que computerizados, miden la señal de flujo y ofrecen la maniobra espirométrica en cualquiera de sus dos representaciones gráficas: volumen/tiempo o flujo/volumen (Figura 1).

Según sea su circuito de aire respirado los espirómetros se distinguen en cerrados y abiertos (5).

- Los cerrados son aquellos en los que el aire es acumulado en una cámara sellada del exterior por agua, o por un mecanismo de fuelle o pistón (figura 2). Los espirómetros de agua, como su nombre indica, (figura 2a) poseen una campana conectada al paciente y sellada del exterior por agua. De forma parecida, los de fuelle (figura 2b) o de pistón (figura 2c) recogen el aire de las vías aéreas del paciente a través de un depósito retráctil elástico de silicona o de un pistón, que se desplaza con los movimientos del aire al entrar o salir de los pulmones. En todos estos

casos un quimógrafo, o más modernamente un potenciómetro o un microprocesador, son los encargados de transformar el movimiento del aire en el depósito del equipo en un trazado gráfico, que permite calcular los parámetros espirométricos, manualmente o a través de un microprocesador.

- Los espirómetros abiertos son los más empleados en la actualidad. Sus ventajas son el menor tamaño, que facilita una mayor portabilidad y la menor posibilidad de infección entre pacientes (6-8). Estos espirómetros, también conocidos como de flujo o neumotacómetro (figura 3), miden el flujo de aire que pasa a través de una resistencia conocida. El más conocido es el neumotacómetro de Fleish (figura 3a). En este tipo de neumotacómetro el aire pasa a través de una resistencia conocida que produce una diferencia de presión entre uno y otro lado. La señal de flujo (diferencia de presiones) es integrada por un microprocesador que la convierte en señal de volumen. Otros neumotacómetros utilizan una turbina (Figura 3b), y basan la medición en los micro cortes de un haz de luz producidos por el movimiento de las aspas de la turbina, que traducen la velocidad del aire. Otros modelos de neumotacómetro se basan en un termistor, que mide la pérdida de calor que produce en a unos filamentos calientes el paso del aire. El último modelo de neumotacómetro aparecido es el de 'Pitot', (9) que realizan mediciones de presión gracias a las turbulencias que se producen en un tubo de Pitot y a un complejo sistema computerizado de linealización de la medición. El incremento del riesgo de infección a través de los espirómetros y el incremento en la utilización de filtros antibacterianos entre la boca del paciente y el espirómetro ha llevado a la comercialización de nuevos dispositivos desechables (figura 3c), basados en el antiguo neumotacómetro de Lilly, basado en una resistencia laminar (generalmente una malla) y que también mide el flujo a través de la diferencia de presión a cada lado de la resistencia.

- Requerimientos mínimos de un espirómetro. Todos los espirómetros deben cumplir unos requerimientos mínimos:

Márgenes de lectura:	0.5 – 8 litros
Exactitud:	5% ó 100 ml
Precisión:	3% ó 50 ml
Linealidad:	3%
Resolución:	25 – 50 ml
Resistencia:	< 1.5 cmH ₂ O/L/s entre 0 – 14 L
Volumen mínimo detectable:	30 ml

Estos aspectos deben tenerse en cuenta a la hora de adquirir un espirómetro, además de los relativos a la posibilidad de calibración y a la facilidad de realización de los cálculos de los parámetros (ver apartado 2.4).

- Otros aspectos relacionados con el equipamiento. El habitáculo para la realización de la espirometría debe de ser un espacio exclusivo, ya que durante su ejecución deberá estimularse al paciente para la obtención de un esfuerzo máximo, lo que suele lograrse con una orden seca, en voz alta. Además debe insistirse y corregir al paciente durante la prueba, quien se sentirá muchos más cómodo si se mantiene una cierta intimidad. Lo ideal sería que el espacio esté acústicamente aislado del resto de dependencias. Si ello no es posible, el espacio será, al menos, cerrado. El habitáculo deberá ser suficiente para que quepan el equipo, el material antropométrico (báscula y tallímetro), un sillón confortable para el paciente y el espacio de trabajo para el técnico. Además del espirómetro será necesaria una estación meteorológica (termómetro, barómetro y psicrómetro) si no los lleva incorporados el propio espirómetro.

PROCEDIMIENTO

La preparación necesaria es compleja y comienza con la calibración del espirómetro, la explicación al paciente, la realización de la técnica y finalmente, la interpretación de la curva y los valores obtenidos, tratados en otro capítulo. Vamos a desarrollar cada uno de estos aspectos.

La calibración

Este es uno de los puntos más problemáticos en la actualidad. La computerización y simplificación de los equipos ha llevado a la aparición de espirómetros que ‘no precisan calibración’. Este hecho puede ser cierto, pero nunca hay que perder de vista que estamos trabajando con aparatos de medición, lo que precisa de garantías sobre la corrección de las mediciones. El aire espirado, que contiene vapor de agua entre otros elementos, puede dañar o distorsionar los frágiles resistores y elementos electrónicos del aparato. Cuanto menos pueden alterarlos, por ello incluso los equipos que se comercializan con la etiqueta de ‘no precisa calibración’ (sobre todo los que utilizan una turbina para la medición) deberían ser comprobados cada día para garantizar su correcto funcionamiento. Así, pues, el primer paso será establecer una correlación entre lo que se mide y lo que se debe medir. Lo realizaremos utilizando una jeringa de no menos de 3 litros. Esta medición se realizará diariamente, al inicio de la jornada de trabajo, antes de comenzar las maniobras con los pacientes. Se realizarán tres emboladas de la jeringa a distintos flujos: alto, medio y bajo. Además de esta calibración diaria realizaremos otra cada 15-30 días, dependiendo de la cantidad de espirometrías que se realicen, con una persona patrón (sana y no fumadora), de la que se conocerán los resultados espirométricos y nos servirá como control ante el posible mal funcionamiento del equipo. En los equipos que utilizan un quimógrafo se controlará su medición del tiempo mediante un cronómetro cada 15 días. Todas las calibraciones, así como las incidencias que puedan aparecer en el equipo, deberán quedar registradas en una libreta de mantenimiento si el equipo no dispone de una base de datos para ello.

Preparación del paciente

En este apartado deberemos tener en cuenta las indicaciones que deberá seguir el paciente para la realización de la prueba, toma de fármacos broncodilatadores previos, ejercicio, etc. y los aspectos técnicos de la maniobra espirométrica.

- El paciente debe llegar al laboratorio habiéndose abstenido de:
 - fumar, al menos en las 24 horas previas.
 - una comida abundante en las 2-3 horas previas.
 - bebidas estimulantes como café, té, cola, etc.
 - ejercicio vigoroso al menos 30 minutos antes.
 - fármacos broncodilatadores*; en caso contrario debe avisar y anotarse junto al resultado.
 - llevar ropas ajustadas que dificulten la respiración, como fajas, cinturones, etc.

*En caso de administración previa de broncodilatadores, considerar la duración de cada fármaco: agonistas beta-2 de acción corta 6 horas, agonistas beta-2 de acción prolongada 12 horas, anticolinérgicos 6 u 24 horas (bromuro de Ipratropio o Tiotropio respectivamente), teofilina retardada entre 36-48 horas.

- Aspectos técnicos. Se anotará la fecha de nacimiento o la edad en años, la altura en centímetros con el paciente descalzo, el cuerpo estirado y la cabeza erguida, y el peso en kilogramos con ropa ligera. Es importante no aceptar el peso o la talla dada por el paciente ya que puede ser una fuente de error importante. En los pacientes que presenten deformidades torácicas o con defectos importantes en las extremidades inferiores, la talla puede sustituirse por la envergadura, obtenida midiendo la distancia máxima entre las puntas de los dedos mayores, tras colocar los brazos extendidos en cruz. En este caso debe anotarse claramente junto a los resultados. Finalmente, y antes de empezar las maniobras, deberá preguntarse al paciente sobre enfermedades infecciosas (tuberculosis pulmonar, hepatitis o VIH+), en cuyo caso deberá utilizarse filtros antibacterianos (6-8).

Procedimiento de la espirometría

En primer lugar se explicará al paciente en que consiste la prueba que va a realizar, pidiéndole un esfuerzo máximo durante la maniobra y que no deberá detener hasta que se le indique. El paciente deberá estar sentado, con la espalda recta y la nariz tapada con unas pinzas. No deberá cruzar las piernas y el técnico deberá vigilar que durante la realización de las maniobras espiratorias no curve el tórax hacia delante, para ello puede colocar la mano sobre su hombro. Las instrucciones para la realización de la maniobra se detallan seguidamente:

1. *Coja todo el aire que pueda (inspiración máxima).*
2. *Póngase la boquilla en la boca (mordiéndola suavemente y sin obstruirla con la lengua).*
3. *Sople fuerte y seguido, sin parar, aunque le parezca que no le queda aire.*
4. *Coja todo el aire que pueda, hasta llenar al máximo los pulmones (en caso que se mida la maniobra inspiratoria).*

Durante su realización el técnico deberá estar atento tanto al paciente como a la gráfica de la maniobra, para poder detener la espirometría en el caso de error. Una vez finalizada, cada maniobra se inspeccionará, prestando atención al inicio, el transcurso y la finalización.

Características de las maniobras

- Las características que deberá cumplir el inicio de la maniobra son:
 - Rápida, brusca y sin vacilaciones.
 - Volumen extrapolado inferior o igual a 150 ml ó 5% de la FVC, el mayor de los dos criterios.

En general el volumen extrapolado es difícil de calcular, pero es uno de los parámetros que el equipo debe proporcionar.

- La representación gráfica de la maniobra deberá describir una curva cóncava continua, sin muescas ni artefactos.
- La finalización de la maniobra no debe ser brusca, debe ser suave. Deberemos intentar que, como mínimo, el tiempo de la espiración sea de 6 seg. Este criterio es difícil de cumplir en gente joven aunque no por incumplido deberá desecharse la maniobra. El criterio de finalización correcto requiere que el flujo acumulado en el último segundo sea inferior a 30ml.

Dado que los criterios, de volumen extrapolado y finalización, son difícilmente calculables, el espirómetro debería proporcionar un mensaje de atención o error en el caso de incumplimiento.

- Número de maniobras. Una vez obtenida la maniobra y habiendo decidido si la aceptamos como válida deberemos realizar una segunda y tercera, como mínimo, hasta obtener dos maniobras técnicamente aceptables en las que la FVC y el FEV₁ no difieran en más de 200ml. El número de maniobras a realizar no será mayor de 8, ya que con más sólo conseguiremos cansar al paciente y difícilmente obtendremos mejores resultados. De las dos maniobras aceptables escogeremos la mejor FVC y el mejor FEV₁, independientemente de la maniobra en la que se hayan obtenido. El resto de parámetros de volumen y flujo, los obtendremos de la maniobra que tenga mejor suma de la FVC y FEV₁.

ERRORES MÁS HABITUALES EN LA REALIZACIÓN DE LA ESPIROMETRÍA.

Diferentes autores han llamado la atención sobre la dificultad de cumplir adecuadamente las recomendaciones sobre la espirometría (9-11), especialmente los criterios que se refieren a la aceptación y a la reproducibilidad de las maniobras. El incumplimiento del resultado final de la espirometría puede llevar, muchas veces, a falsas interpretaciones.

Los errores más habituales en la realización de la espirometría (9-11) se encuentran en el final de la maniobra (flujo acumulado en el último segundo superior a 30ml. o tiempo de la maniobra inferior a 6 segundos), a problemas relacionados con el inicio de la maniobra (inicio lento o con vacilaciones y volumen extrapolado inferior o igual a 150 ml ó 5% de la FVC), y artefactos en el transcurso de la maniobra (generalmente debidos a tos o a cierre de la glotis). Estos errores hacen que un 15% de los pacientes no cumplan el criterio de obtener 3 maniobras aceptables con dos de ellas reproducibles y que los mejores resultados de la FVC o del FEV₁ se encuentren en maniobras con algún error. Ante estos problemas una sugerencia útil sería que junto a la interpretación de los resultados se clasificara las maniobras obtenidas, así, por ejemplo:

- A) Maniobra aceptable y reproducible.
- B) Mejores valores obtenidos de maniobra no aceptable.
- C) Maniobras aceptables pero no reproducibles.
- D) Maniobras no aceptables ni reproducibles.

Esta información serviría de apoyo y precaución a la interpretación de las maniobras espirométricas.

CONTRAINDICACIONES, LIMITACIONES Y EFECTOS ADVERSOS DE LA ESPIROMETRÍA.

A pesar de la sencillez de la maniobra, el esfuerzo máximo que se pide al paciente puede provocar algunas molestias, a demás de ser imprescindible la total comprensión y colaboración por su parte.

- La realización de maniobras espirométricas puede estar contraindicado en los siguientes casos: imposibilidad física o mental del paciente, dolor torácico al movimiento o que agrave una lesión o impida las maniobras forzadas y máximas, herida o traumatismo torácico reciente, aneurisma torácico o cerebral, neumotórax o hemoptisis recientes, angor inestable, desprendimiento de retina o la actitud litigante del paciente.

- Las limitaciones más habituales para la realización de la espirometría son: las lesiones bucales o hemiparesias faciales, náuseas por la introducción de la boquilla, traqueostomias mal cuidadas o con exceso de secreciones y la falta de colaboración por parte del paciente.

Acostumbra a ser más fácil la realización de las maniobras manteniendo la dentadura postiza.

- Aunque no son habituales, debemos tener en cuentas algunas posibles complicaciones de la maniobra espirométrica como son: accesos de tos, broncoespasmo, dolor torácico, aumento de presión intracraneal, neumotórax y síncope.

EL TÉCNICO.

Para la dirección de las maniobras espirométricas deberá contarse con un técnico que:

- demuestre capacidad de relación con los pacientes
- posea conocimientos de física y biología relacionados con la neumología
- tenga conocimientos de patología respiratoria
- tenga conocimientos informáticos
- demuestre conocer el funcionamiento del equipo

Con todos estos conocimientos y con el trabajo supervisado por un periodo razonable, podrá trabajar con independencia.

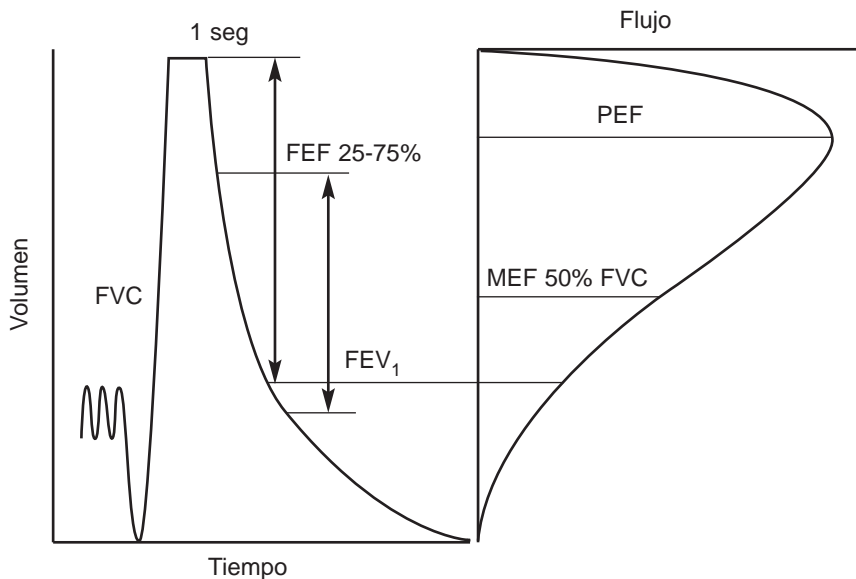
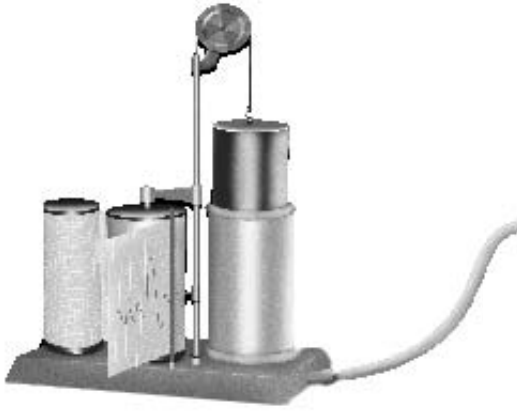


Figura 1. Representación gráfica de la maniobra espirométrica.



(a) *Espirómetro de agua.*



(b) *Espirómetro de fuelle.*

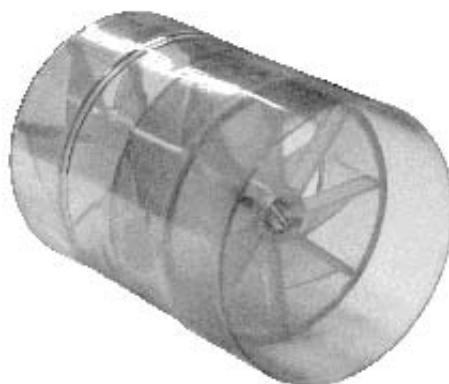


(c) *Espirómetro de pistón.*

Figura 2. Diferentes tipos de espirómetros, cerrados.



a) Neumotacómetro tipo Fleish.



b) Neumotacómetro de turbina.



c) neumotacómetro desechable.

Figura 3. Diferentes neumotacómetros.

BIBLIOGRAFÍA

1. Sanchis J, Casan P, Castillo J, González N, Palenciano L, Roca J. Normativa para la espirometría forzada. Recomendaciones SEPAR nº 1. Barcelona. Ediciones Doyma SA. Arch Bronconeumol 1989;25:132-142.
2. American Thoracic Society. Standardization of spirometry: 1994 update. Am J Respir Crit Care Med 1995;152:1107-1136.
3. Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault JC. Lung volumes and forced ventilatory flows. Report Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society. Eur Respir J . 1993 ;16(suppl):5-40.
4. Casan P, Burgos F, Barberà JA, Giner J, Espirometría. En: Manual SEPAR de Procedimientos. Madrid. Luzán 5 SA de Ediciones. 2002.
5. Jack Wanger. Pulmonary Function Testing. A practical approach. Ed: Williams & Wilkins. Baltimore USA 1992.
6. Prosas J, Barstow TJ, Wasserman K. Evaluation of a symmetrical disposed Pitot tube flowmeter for measuring gas flow during exercise. J.Appl Physiol 1994; 77(6): 2659-65.
7. Burgos F, Torres A, Gonzalez J, Puig de la Bellacasa J, Rodriguez-Roisin R, Roca J. Bacterial colonization as a potential source of nosocomial respiratory infections in two types of spirometer. Eur Respir J. 1996 Dec;9(12):2612-7.
8. Macian V, Compte L, Perpina M, Ferrando D, Cercos A, Lloris A, Martinez M. Eficacia de un filtro antibacteriano en la prevención de la contaminación de equipos de exploración funcional respiratoria. Arch Bronconeumol. 2003 Jun;39(6):261-5.
9. Hankinson JL, Bang KM. Acceptability and reproducibility criteria of the American Thoracic Society as observed in a sample of the general population. Am Rev Respir Dis. 143 (3): 516-21.
10. Eaton T, Withy S, Garret JE, Mercer J, Whitlock RM, Rea HH. Chest. 1999 116(2): 416-23. Spirometry in primary care practice: the importance of quality assurance and the impact of spirometry workshops.
11. Giner J, Casan P, Mota S, Mayos M, Sanchis J. *Fulfilment of the acceptability and reproducibility criteria of spirometry (ATS'94) in a pulmonary Laboratory.* International conference, American Thoracic Society, May 5-10 2000, Toronto, Canada. Am J Respir Crit Care Med 2000; 161 (nº3): A275.