

# Eficacia de un filtro antibacteriano en la prevención de la contaminación de equipos de exploración funcional respiratoria

V. Macián<sup>a</sup>, L. Compte<sup>a</sup>, M. Perpiñá<sup>a</sup>, D. Ferrando<sup>a</sup>, A. Cercos<sup>b</sup>, A. Lloris<sup>a</sup> y M. Martínez<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Servicio de Neumología. Hospital Universitario La Fe. Valencia.

<sup>b</sup>Servicio de Microbiología. Hospital Universitario La Fe. Valencia. España.

**OBJETIVOS:** Los equipos de evaluación de la función respiratoria constituyen una potencial fuente de infección nosocomial. En este estudio nos hemos propuesto: *a)* comprobar la eficacia de un filtro antimicrobiano en la prevención de la contaminación de un equipo multifunción; *b)* valorar la capacidad del filtro utilizado para evitar la contaminación cruzada entre los individuos que se exploran, y *c)* evaluar la efectividad de las recomendaciones de desinfección SEPAR para equipos de función pulmonar.

**DISEÑO:** Realizamos un estudio prospectivo, aleatorio, que constó de dos fases: en la fase I utilizando filtros y en la fase II sin filtros. Llevamos a cabo frotis faríngeo, antes y a los 7 días de realizar un estudio de función pulmonar. También tomamos muestras (frotis) de tres puntos diferentes del equipo para su cultivo, al inicio y al final de cada jornada de trabajo.

**PACIENTES:** Se incluyó en el estudio a 65 pacientes (31 en la fase I y 34 en la fase II), 32 de ellos varones (49,2%). La edad fue de  $49,4 \pm 15,7$  años.

**RESULTADOS:** Encontramos contaminación del equipo en el 4,2% de las muestras en la fase I, cifra significativamente menor que la del 21% de la fase II. No detectamos, con el criterio empleado, ningún caso de contaminación cruzada. No obtuvimos cultivos positivos en ninguna muestra realizada antes de comenzar las sesiones de exploración.

**CONCLUSIONES:** El filtro antimicrobiano utilizado es eficaz en la prevención de la contaminación del equipo de exploración funcional. No observamos contaminación cruzada en ninguno de los pacientes que exploramos durante todo el estudio, por lo que no podemos afirmar que el filtro antimicrobiano sea eficaz como medio de prevención de la potencial infección nosocomial. Las recomendaciones SEPAR son eficientes para desinfectar los equipos de función pulmonar.

**Palabras clave:** Filtros antimicrobianos. Espirometría. Equipos de función pulmonar. Contaminación cruzada.

Efficacy of an antibacterial filter for preventing contamination of respiratory function diagnostic equipment

**OBJECTIVES:** Devices to assess lung function are a potential source of nosocomial infection. Our aims in this study were: *1)* to determine the efficacy of an antimicrobial filter to prevent contamination of a multifunctional device; *2)* to assess the ability of the filter to prevent cross contamination of individuals being tested; and *3)* to evaluate the efficacy of the recommendations of the Spanish Society of Respiratory Diseases and Thoracic Surgery for disinfecting lung function equipment.

**DESIGN:** In this prospective, randomized study in two phases we used filters in phase 1 but not in phase 2. A pharyngeal swab culture was started within 7 days of a patient's lung function test. Swab samples for culturing were taken from three different places in the equipment at the beginning and end of each working day.

**PATIENTS:** Sixty-five patients (31 in phase 1 and 34 in phase 2) were studied. Thirty-two (49.2%) were men and the mean age was  $49.4 \pm 15.7$  years.

**RESULTS:** Significantly less equipment contamination was found in phase 1 (4.2%) than in phase 2 (21%). We detected no cases of cross contamination using the criteria in this study. No cultures from any of the samples taken before exploration were positive.

**CONCLUSIONS:** *a)* The antimicrobial filter used is effective for preventing the contamination of lung function testing equipment, *b)* throughout both phases of the study, we observed no cross contamination of patients tested, such that we cannot conclude that the antimicrobial filter is effective for preventing possible nosocomial infections, *c)* the recommendations of SEPAR for disinfecting lung function equipment are effective.

**Key words:** Antimicrobial filters. Spirometry. Lung function equipment. Cross infection.

## Introducción

Aunque existe ya abundante información sobre la contaminación de equipos de terapia respiratoria<sup>1,2</sup> y, en parti-

cular, sobre la que se produce en los utilizados en las unidades de cuidados intensivos<sup>2-5</sup>, escasean las que se centran en los aparatos de estudio de la función respiratoria.

Los equipos de estudio de la función respiratoria constituyen una fuente potencial de infección nosocomial<sup>1</sup>, y la probabilidad de que se produzca contaminación microbiana en dichos aparatos durante las exploraciones es muy elevada. Además, la cantidad creciente de exploraciones que se realizan diariamente aumenta la probabili-

Correspondencia: V. Macián Gisbert.  
Servicio de Neumología. Hospital Universitario La Fe.  
Avda. Campanar, 21. 46009 Valencia. España.  
Correo electrónico: vice1244@separ.es

Recibido: 25-6-2002; aceptado para su publicación: 25-3-2003.



Fig. 1. Espirómetro Collins GS. Las ampliaciones indican las zonas de toma de muestra microbiológica: caja de válvulas, tubuladura proximal y campana.

dades de que la contaminación de los aparatos utilizados llegue a producirse. Esta contaminación podría constituir el reservorio para una infección cruzada entre individuos a través de los equipos.

A ello hay que añadir que en los laboratorios de exploración funcional se explora cada día a un número creciente de enfermos con diferentes grados de inmunodepresión (pacientes infectados por el virus de la inmunodeficiencia humana [VIH], trasplantados, pacientes en tratamiento con inmunosupresores, neoplasias hematológicas y de órgano sólido, entre otros), de forma habitual, lo cual incrementa la potencial gravedad de una posible contaminación cruzada.

La normativa que sobre el control microbiológico de los equipos dedicados al estudio de la función respiratoria recomendó la Sociedad Española de Patología Respiratoria (SEPAR)<sup>6</sup> no es, a nuestro entender, lo suficientemente precisa en lo referente a las medidas de control de la infección en pacientes inmunodeprimidos, remitiéndonos a recomendaciones más generales.

La American Thoracic Society (ATS), en su normativa sobre la espirometría<sup>7</sup>, recomienda el uso de filtros antimicrobianos únicamente en aquellas exploraciones que se realizan en equipos multifunción con caja de válvulas no desmontable y, por tanto, con dificultades para su completa limpieza y desinfección.

El uso de forma habitual de filtros antimicrobianos en las exploraciones funcionales respiratorias puede considerarse una forma eficaz de prevención de la contaminación de estos aparatos y, por consiguiente, una medida de control de la potencial infección a los individuos que se exploran en ellos.

Los objetivos del presente trabajo fueron los siguientes: a) comprobar la eficacia de un filtro antimicrobiano

en la prevención de la contaminación de un equipo multifunción dotado de un espirómetro seco; b) valorar la capacidad del filtro utilizado para evitar la contaminación cruzada entre los individuos que se exploran, y c) evaluar la efectividad de las recomendaciones de desinfección SEPAR para equipos de función pulmonar tal como se emplean en nuestro medio.

## Material y métodos

### Equipo

El equipo empleado para este estudio (fig. 1) fue el espirómetro seco Collins modelo GS (Warren E. Collins, Inc., MA, EE.UU.). Se trata de un equipo multifunción con posibilidad de realizar espirometría simple y forzada, medición de la capacidad residual funcional por el método de dilución de helio, estudio de la capacidad de difusión de monóxido de carbono por el método de respiración única y de las presiones inspiratoria y espiratoria máximas. El equipo se compone básicamente de un espirómetro convencional de campana bajo sello seco, un neumotacómetro y analizadores de gases.

El paciente realiza las maniobras de la exploración (según las recomendaciones SEPAR<sup>8</sup>) a través de una caja de válvulas que se encarga de distribuir el gas exhalado o inhalado a diferentes compartimientos, en función de la exploración que se lleva a cabo. Esta caja de válvulas se conecta al cuerpo del equipo mediante un tubo corrugado, y del equipo sale otro tubo distal hacia esta caja.

Empleamos para nuestra investigación los filtros bacterianos-víricos desechables modelo 415-100-000 Datospir ref.: 2800/02 (Sibelmed<sup>®</sup>, Barcelona, España). El precio por unidad fue de 370 ptas. Según los datos facilitados por el fabricante, su resistencia es de 0,7 cmH<sub>2</sub>O/l/s a un flujo de 720 l/min, en cumplimiento de la normativa de la ATS<sup>7</sup>. La eficiencia bacteriovírica se ha estimado en el 99,99%.

### *Pacientes*

Durante el período de tiempo comprendido entre los meses de abril y mayo de 2000, incluimos en el estudio a los pacientes que acudieron a realizarse una exploración funcional respiratoria y que aleatoriamente eran asignados al espirómetro de estudio según el funcionamiento habitual del laboratorio. Todos los pacientes dieron su consentimiento para participar una vez informados de los propósitos del trabajo.

Ninguno de ellos presentó en el momento del estudio sintomatología de infección respiratoria o fiebre.

### *Protocolo del estudio*

El trabajo se llevó a cabo en dos fases (I y II), cada una de ellas con una duración de 4 días y en dos semanas consecutivas.

En la fase I se realizaron todas las exploraciones colocando un filtro microbiano entre la boquilla de caucho del paciente y la caja de válvulas del espirómetro. En la fase II las exploraciones se llevaron a cabo sin filtro.

Al inicio de cada fase procedimos a la limpieza y desinfección del espirómetro según las recomendaciones de la SEPAR<sup>6</sup>. Este procedimiento se lleva a cabo mediante la separación de las tubuladuras, campana y anillas desmontables de las diferentes válvulas, que son lavadas con agua y jabón neutro. Posteriormente se esterilizan mediante medio líquido con octildietilentriamina al 2,43% (Instrunet<sup>®</sup> Lab Inibsa S.A., Lliçà de Vall, Barcelona) durante 20 min. Por último, se procede al enjuagado con agua bidestilada estéril y secado al aire. La limpieza de superficies y partes no desmontables se realiza mediante paños estériles impregnados de solución de hipoclorito sódico, seguido de aclarado con paños con agua bidestilada estéril. Cada día se secaron las tubuladuras, se dejó el circuito abierto para su secado al aire ambiente y se realizó una limpieza de superficies.

Al finalizar la primera fase repetimos el proceso de limpieza del espirómetro según el método descrito.

Las exploraciones funcionales respiratorias fueron siempre realizadas por dos enfermeras del laboratorio con amplia experiencia.

Como es habitual, utilizamos boquillas de tipo buceador de caucho estériles para cada paciente.

### *Recogida de muestras*

A todos los pacientes se les tomaron un frotis faríngeo antes de la espirometría y otro a los 7 días de haber realizado la prueba.

En el equipo establecimos tres lugares donde realizar el frotis (fig. 1): *a*) en la superficie interna accesible de la caja de válvulas; *b*) en la superficie interna del tubo corrugado proximal, y *c*) en la superficie interna de la campana. Estas muestras se recogieron siempre al principio y al final de cada jornada de trabajo y durante todos los días de la investigación. Las muestras las obtuvimos en el orden descrito en el párrafo anterior.

### *Estudio microbiológico*

Todas las muestras se obtuvieron utilizando torundas estériles. Las muestras faríngeas se recogieron con una torunda en seco, según la técnica habitual para este proceso (lavado de manos previo, guantes estériles y mascarilla, toma de muestra con ayuda de depresor lingual de las paredes posteriores de la faringe evitando el contacto con la mucosa oral o con la lengua).

Las muestras del espirómetro fueron tomadas en las tres diferentes localizaciones de éste, con torundas impregnadas de agua destilada estéril, frotando durante algunos segundos las superficies designadas a tal efecto.

Las torundas se conservaron a temperatura ambiente hasta su traslado al Laboratorio de Microbiología. El tiempo de demora máximo de traslado fue de 90 min. Todas las muestras fueron procesadas para cultivo bacteriano y de hongos.

Las muestras fueron diluidas en suero salino estéril según técnica estandarizada y posteriormente sembradas en placas de agar-sangre, agar chocolate y medio de Sabouraud para hongos. Se incubaron a 37 °C en condiciones aeróbicas (salvo las muestras en Sabouraud, que fueron incubadas a 30 °C) y se vigilaron diariamente durante 7 días, tiempo límite para descartar la muestra como negativa (para el estudio de hongos se establecieron 15 días de incubación máxima).

Los resultados microbiológicos se informaron de forma cualitativa.

Consideramos contaminación cruzada la aparición de un germen potencialmente patógeno en el cultivo del frotis faríngeo de control, siempre y cuando ese patógeno no apareciera en el cultivo del frotis faríngeo inicial y además se cultive en alguna muestra del espirómetro.

### *Análisis estadístico*

Los datos estadísticos descriptivos se facilitan como porcentaje o como media  $\pm$  desviación típica. Los resultados referentes a la contaminación microbiológica se expresan en proporciones. Para la comparación de variables pareadas cualitativas se utilizó la prueba de McNemar y de la  $\chi^2$  o la prueba exacta de Fisher en la comparación de proporciones.

El cálculo del tamaño de la muestra se realizó asumiendo un riesgo alfa de 0,05 y un riesgo beta de 0,10 para comparación de dos proporciones de muestras pareadas y estimando que no hubiera pérdidas de muestra. Se estimó, asimismo, una proporción de contaminación sin filtro del 25% y una proporción de contaminación con filtro del 1%. Con estas premisas el tamaño mínimo de la muestra debería ser de 25 pacientes en cada uno de los grupos.

Toda la información obtenida fue procesada mediante el programa estadístico SPSS 7.0 para Windows.

## **Resultados**

El número total de individuos que fueron asignados al equipo del estudio y que participaron en éste fue de 65 (31 en la fase I y 34 en la fase II), de los cuales 32 eran varones (49,2%). Su edad fue de  $49,4 \pm 15,7$  años.

Estos pacientes procedían de diversas fuentes: consultas externas del Servicio de Neumología y de otros servicios del hospital, consulta de neumología del Centro de Especialidades y pacientes ingresados en el hospital.

Las afecciones que motivaron la indicación de exploración funcional respiratoria están detalladas en la tabla I. La causa más frecuente fue la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) en el 24,6% de los casos, seguida de la valoración del riesgo quirúrgico y del control de la enfermedad pulmonar intersticial crónica.

Obtuvimos 24 muestras del equipo en cada fase, correspondientes a 6 muestras diarias (3 al iniciar y 3 al finalizar cada jornada) por cada uno de los 4 días de cada fase. Los resultados de contaminación de las muestras aparecen detallados en la tabla II.

Todos los aislamientos de gérmenes obtenidos procedían de muestras recogidas al finalizar la jornada y no se consiguió crecimiento bacteriano en ninguna de las muestras del principio de cada día.

TABLA I  
Enfermedades por las que se indicó exploración funcional respiratoria

Patología	N.º de casos (%)
EPOC	16 (24,6)
Valoración prequirúrgica	13 (20)
Enfermedad pulmonar intersticial crónica	10 (15,4)
Control de trasplantes de pulmón	9 (13,8)
Asma bronquial	8 (12,3)
Enfermedades hematológicas	4 (6,2)
Otras causas*	5 (7,7)

EPOC: enfermedad pulmonar obstructiva crónica. \*Dos neoplasias pulmonares, una fibrosis quística y dos pretrasplantes hepáticos.

TABLA II  
Resultados de la contaminación del espirómetro: lugar y microorganismo

	Fase I (con filtro)	Fase II (sin filtro)
Día 1	–	Campana, <i>Corynebacterium</i> Caja, <i>Streptococcus viridans</i> Tubo proximal, <i>Clostridium perfringens</i>
Día 2	–	Caja, <i>Enterococcus faecalis</i> Caja, <i>Candida parapsilosis</i>
Día 3	Campana, <i>Streptococcus viridans</i>	
Día 4	–	Caja, flora faríngea mixta

En términos globales, se encontró contaminación en una muestra de las 24 en la fase I (4,2%) y en 5 de 24 en la fase II (21%). Al comparar estas proporciones (test de McNemar) encontramos diferencias estadísticamente significativas ( $p = 0,001$ ).

Realizamos un frotis faríngeo de control, una semana después, a 53 (81,5%) de los pacientes previamente estudiados. No acudieron al control 4 pacientes de la fase I y 8 de la fase II.

Se detectaron patógenos potenciales no presentes en el frotis inicial en 4 de los pacientes de la fase I (*Candida albicans* en dos ocasiones, *Staphylococcus aureus* y *Candida tropicalis*) y en 3 de la fase II (*Escherichia coli*, *Enterobacter* sp. y *Candida tropicalis*), esto es, en el 14,8 y el 11,5% de los pacientes controlados en cada fase, respectivamente.

No hubo diferencias estadísticamente significativas al comparar los porcentajes de contaminación de ambos grupos (prueba exacta de Fisher).

Ninguno de los patógenos que se aislaron en las muestras de frotis faríngeos de control se pudo aislar en las muestras procedentes del equipo. Por tanto, no encontramos contaminación cruzada en ninguna de las dos fases.

## Discusión

La contaminación microbiológica de equipos destinados a la exploración y a las técnicas terapéuticas es un hecho bien conocido, y diversos estudios han demostrado repetidamente que esa contaminación de equipos e instrumentos sanitarios es causa potencial de infección nosocomial<sup>1-5</sup>.

El impacto sociosanitario que supone la infección nosocomial es considerable. En el ámbito de la neumología, los problemas asociados a la contaminación de equipos se magnifican, puesto que el sistema respiratorio constituye una puerta de entrada de gérmenes potencialmente patógenos<sup>8</sup>.

Las medidas de control de la contaminación de equipos de exploración y terapia respiratoria son actualizadas de forma constante por las diferentes sociedades científicas<sup>6-10</sup>. Entre éstas se pueden constatar precauciones adicionales para los pacientes con enfermedades infecciosas transmisibles conocidas, tales como: a) disponer de un equipo reservado únicamente para pacientes infectados, y b) realizar las pruebas a dichos pacientes al final del día para permitir su posterior desmontaje y desinfección. Sin embargo, en la práctica diaria es difícil identificar a todos los pacientes de riesgo, y más aún a los pacientes colonizados.

Los estudios que se han publicado sobre filtros antimicrobianos versan, fundamentalmente, sobre 2 aspectos. El primer tipo de estudios<sup>11-13</sup> sería aquel que trata de aproximarnos a los cambios en las medidas de función respiratoria que provocan la exploración con filtros (aumento de las resistencias, espacio muerto, entre otros). Otros estudios, en cambio, hacen hincapié en la eficacia del filtro en la prevención de la contaminación microbiológica<sup>14-18</sup>.

Burgos et al<sup>19</sup> demuestran que la colonización bacteriana de un espirómetro de sello de agua es muy frecuente (90%), mientras que la de un neumotacómetro es significativamente menor (13%). En nuestro trabajo encontramos contaminación, en el grupo de exploraciones realizadas sin filtro, en el 21% de los casos, porcentaje que se sitúa en una posición intermedia entre los observados por estos autores.

Podemos atribuir estos hallazgos a las características físicas de nuestro equipo. El espirómetro de sello seco, a diferencia del de sello húmedo, no dispone de depósito de agua, que es un excelente caldo de cultivo para el crecimiento de microorganismos. Por otra parte, el menor crecimiento de patógenos en el neumotacómetro del estudio de Burgos et al posiblemente se deba a que los dispositivos de rejilla están a una temperatura de 37 °C, lo que impide la condensación del aire exhalado y, por tanto, la formación de un reservorio acuoso.

Los microorganismos aislados en el espirómetro seco tienen, sin duda alguna, el suficiente potencial patógeno para que sea preciso extremar las medidas de prevención de la infección nosocomial en nuestro laboratorio. A lo anterior se añade el hecho de que un elevado porcentaje (un 20% en nuestra muestra) de los pacientes que se exploran tienen algún tipo de inmunodepresión, con lo que el riesgo que supone la contaminación cruzada es mayor.

Es cierto que con el criterio utilizado no hemos observado contaminación cruzada en ninguno de los pacientes que participaron en la investigación. En otros estudios con metodología parecida<sup>19</sup>, tampoco se detecta contaminación cruzada.

También se ha publicado un artículo<sup>20</sup> que demuestra, mediante un modelo experimental, que 10 min después de realizar una maniobra de aerosolización de una carga

microbiológica (*E. coli*) sobre un sistema de tubuladuras simulando un espirómetro no se aíslan microorganismos en ninguna parte de este dispositivo. Con este experimento los autores sostienen que un intervalo de tiempo de 10 min entre exploraciones de pacientes diferentes sería suficiente para prevenir la posible contaminación cruzada.

En nuestro laboratorio, debido a la presión asistencial a la que está sometido, no nos es posible conseguir pausas de 10 min entre exploraciones para evitar la contaminación cruzada. A pesar de este inconveniente, como ya hemos apuntado, no encontramos contaminación de los pacientes atribuible a las exploraciones de función pulmonar practicadas.

En cualquier caso, en el supuesto de que hubiéramos encontrado algún microorganismo que cumpliera las condiciones para considerarlo contaminación cruzada, no encontraríamos con enormes dificultades metodológicas para poder atribuir la causa de esta colonización faríngea a la realización del test funcional respiratorio, habida cuenta de que existen múltiples circunstancias externas no controladas que pueden influir en esta colonización.

En resumen, los filtros antimicrobianos, en el marco de nuestro estudio, han prevenido de forma adecuada la contaminación de los equipos de exploración funcional respiratoria. Por consiguiente, creemos que su empleo es una opción a considerar en las exploraciones que se realizan habitualmente en este tipo de equipos, si se tienen en cuenta las consecuencias de una potencial contaminación cruzada y el alto porcentaje de pacientes inmunodeprimidos que exploramos. Sin embargo, no hemos observado contaminación cruzada en ninguno de los pacientes que se exploraron durante todo el estudio, por lo que no podemos afirmar que el filtro antimicrobiano sea necesario como medio de prevención de la potencial infección nosocomial. Las técnicas de desinfección de espirómetros<sup>6</sup> son eficaces tal como las llevamos a cabo en nuestro medio.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a todo el personal de enfermería del laboratorio su colaboración e interés, especialmente a Amelia Hernández, Fina Francés y Emilia Ocete.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Barbat J, Torres A, Arnáiz J. Los equipos de terapéutica respiratoria como factor de riesgo en las neumonías nosocomiales. *Med Clin (Barc)* 1986;87:119-24.
2. Cross AS, Roup B. Role of respiratory devices in endemic nosocomial pneumonia. *Am J Med* 1981;70:681-5.

3. Craven DE, Connolly MH Jr, Lichtenberg DA, Primeau MJ, McCabe WR. Contamination of mechanical ventilator with tubes changes every 24 or 48 hours. *N Engl J Med* 1982;306:1505-9.
4. Craven DE, Goularte TA, Make BA. Contaminated condensate in mechanical ventilator circuits is a risk factor for nosocomial pneumonia? *Am Rev Respir Dis* 1984;129:625-8.
5. Dreyfuss D, Djedaini K, Weber P, Brun P, Lanore JJ, Rahmani J, et al. Prospective study of nosocomial pneumonia and of patient and circuit colonization during mechanical ventilation with circuit changes every 48 hours versus no change. *Am Rev Respir Dis* 1991;143:738-43.
6. Burgos F, Casán P, Granados J, Martínez Moratalla J, Torres A. Normativa Control microbiológico de exploración funcional y terapia respiratoria. Recomendaciones SEPAR. Barcelona: Doyma, 1996.
7. American Thoracic Society. Standardization of spirometry. 1994 update. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;152:1107-36.
8. Sanchís J, Casán P, Castillo J, González N, Palenciano L, Roca J. Normativa para la espirometría forzada. Recomendaciones SEPAR n.º 1. *Arch Bronconeumol* 1989;25:132-42.
9. Rutala DR, Rutala WA, Weber DJ, Thomann CA. Infection risks associated with spirometry. *Infect Control Hosp Epidemiol* 1991;12:89-92.
10. Centers for Disease Control and Prevention. Guidelines for prevention of nosocomial pneumonia. *Respir Care* 1994;39:1191-236.
11. Johns DP, Ingram C, Booth H, Williams TJ, Walters EH. Effect of a microaerosol barrier filter on the measurement of lung function. *Chest* 1995;107:1045-8.
12. Fuso L, Accardo D, Bevigiani G, Ferrante E, Della Corte A, Pistelli R. Effects of a filter at the mouth on pulmonary function tests. *Eur Respir J* 1995;8:314-7.
13. Gruper W, Novotny A, Steinbrugger B, Zach M. Modification of pediatric lung function measurement by antibacterial filters. *Pneumologie* 1992;46:573-5.
14. Spielberg R. Cross contamination reduction efficiency of the Pall PRO-TEC™ barrier filter (reorder n.º PF30) for pulmonary function testing. Pall Technical report BPF-30, April 1988.
15. Kirk YL, Kendall K, Ashworth HA, Hunter PR. Laboratory evaluation of a filter for the control of cross-infection during pulmonary function testing. *J Hosp Infect* 1992;20:193-8.
16. Wasser F, Strauss R, Müller RL, Reim E, Wirtz P, Hahn W, et al. Air filters can effectively prevent the microbial contamination of spirometers and should be used to protect immune compromised patients. *Eur Respir J* 1992;(Suppl 5):140-1.
17. Leeming JP, Pryce-Roberts D, Kendrick AH, Smith EC. The efficiency of filters used in respiratory function apparatus. *J Hosp Infect* 1995;31:205-10.
18. Clayton N, Collins TA, Egan J, Isalska BS, Stanbridge TN, Woodcock A. Evaluation of effectiveness of four bacterial filters during pulmonary function testing. *Thorax* 1995;50(Suppl 2):65.
19. Burgos F, Torres A, González J, Puig de la Bellacasa J, Rodríguez-Roisin R, Roca J. Bacterial colonization as a potential source of nosocomial respiratory infections in two types of spirometer. *Eur Respir J* 1996;9:2614-9.
20. Hiebert T, Miles J, Okeson GC. Contaminated aerosol recovery from pulmonary function testing equipment. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159:610-2.