



Beneficios de la terapia nebulizada: conceptos básicos

Luis Máiz Carro* y Carolin Wagner Struwing

Unidad de Fibrosis Quística, Servicio de Neumología, Hospital Ramón y Cajal, Madrid, España

RESUMEN

Palabras clave:

Nebulizadores
Terapia nebulizada
Tamaño de partícula
Patrón respiratorio
Nebulizadores de malla

La ventaja principal del empleo de fármacos nebulizados es que éstos se depositan directamente en el tracto respiratorio, con lo que se alcanzan concentraciones mayores de éstos en el árbol bronquial y lecho pulmonar con menores efectos secundarios que si se emplease la vía sistémica.

La eficacia de la nebulización depende de muchos factores. Entre otros, de las características del fármaco a nebulizar (tamaño de la partícula, forma, densidad y tensión superficial de ésta), de la anatomía de las vías aéreas, de la técnica de inhalación del paciente y del sistema de nebulización utilizado. Los factores que determinan el tamaño de la partícula producida por un nebulizador incluyen tanto las características de la solución como la velocidad de flujo del sistema de nebulización. Cuanto mayor sea la velocidad de flujo menor será el tamaño de las partículas de aerosol. El parámetro más utilizado para medir el tamaño de las partículas aerosolizadas es la mediana del diámetro aerodinámico de la masa de las partículas de aerosol. Las partículas de un tamaño comprendido entre 1 y 5 μm son las que más probabilidades tienen de llegar a los lugares adecuados del árbol bronquial y de conseguir el efecto terapéutico buscado.

Los equipos o sistemas de nebulización se componen de una cámara de nebulización donde se introduce el líquido a nebulizar y se genera el aerosol, y de una fuente de energía necesaria para hacer funcionar el nebulizador. Hay 3 tipos de sistemas de nebulización: nebulizadores ultrasónicos, *jet* y de malla. Los de malla son los más eficaces de los 3. También son menos voluminosos, más silenciosos y más rápidos, lo que se traduce en un mejor cumplimiento por parte del paciente.

© 2011 SEPAR. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Benefits of nebulized therapy: basic concepts

ABSTRACT

Keywords:

Nebulizers
Nebulized therapy
Particle size
Respiratory pattern
Mesh nebulizers

The main advantage of nebulized drugs is that they are deposited directly into the respiratory tract and thus higher drug concentrations can be achieved in the bronchial tree and pulmonary bed with fewer adverse effects than when the systemic route is used. The effectiveness of nebulization depends on many factors, including the characteristics of the drug to be nebulized (particle size, form, density, and surface tension), the anatomy of the airways, the patient's inhalation technique and the nebulization system employed, among others. The factors determining the particle size produced by a nebulizer include both the characteristics of the solution and the flow velocity of the nebulization system. The higher the flow velocity, the smaller the aerosol particles. The parameter most widely used to measure aerosolized particle size is the mass median aerodynamic diameter. Particles of between 1 and 5 μm are those with the greatest probability of reaching the site of infection in the bronchial tree and of achieving the desired therapeutic effect. Nebulization systems or apparatus are composed of a nebulization chamber where the liquid to be nebulized is introduced and aerosol and an energy source required to make the nebulizer work are generated. There are three types of nebulization systems: ultrasonic, jet and mesh nebulizers. Of the three, the most effective are mesh nebulizers. These nebulizers are also the most compact, quietest and most rapid, which translates into better patient compliance.

© 2011 SEPAR. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: lmaiz.hrc@salud.madrid.org (L. Máiz Carro).

Introducción

Aunque la vía inhalatoria se ha utilizado desde hace siglos para administrar diferentes sustancias y fármacos directamente en las vías respiratorias, en las últimas décadas ha habido un mayor interés por esta vía terapéutica. Así, buscando el término "aerosol therapy" en PubMed se encuentran 38.765 referencias hasta el 10 de enero de 2010, con casi 2.000 publicaciones en este campo en el año 2010.

Tradicionalmente, esta vía constituye la base del tratamiento de algunas enfermedades, como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y el asma, con un interés creciente por emplearla en otras patologías cuyo órgano diana es el pulmón, como en las infecciones broncopulmonares crónicas^{1,2}. El empleo de antibióticos por instilación directa en el árbol traqueobronquial o mediante la nebulización de éstos para el tratamiento de las infecciones bronquiales crónicas data de principios del siglo xx. Su uso de forma nebulizada se retomó en los años sesenta del pasado siglo, aunque no se generalizó hasta principios de los ochenta del pasado siglo en pacientes con fibrosis quística. Es en estos pacientes donde se ha demostrado más fehacientemente que los antibióticos pueden liberarse de forma eficaz y segura con este método de administración.

Definición y conceptos generales

La aerosolterapia es una modalidad de tratamiento que se basa en la administración de sustancias en forma de aerosol por vía inhalatoria. Un aerosol es una suspensión estable de partículas sólidas o líquidas en aire u otro gas, como el oxígeno. Los inhaladores son aparatos utilizados para generar aerosoles de partículas sólidas susceptibles de ser inhaladas y los nebulizadores son los dispositivos encargados de generar aerosoles de partículas líquidas de un tamaño adecuado para que puedan ser inhaladas en el tracto respiratorio inferior. El proceso por el cual un líquido se convierte en gotas pequeñas se llama atomización. La ventaja principal de la aerosolterapia es que el aerosol se deposita directamente en el tracto respiratorio, con lo que pueden alcanzarse concentraciones mayores de la sustancia aerosolizada en el árbol bronquial y lecho pulmonar con menores efectos secundarios que si se utilizase la vía sistémica. Su rendimiento, valorado exclusivamente en términos de depósito pulmonar, es escaso, ya que aproximadamente sólo un 10-20% de la medicación se deposita en el pulmón, incluso con los mejores nebulizadores disponibles.

Indicaciones

Debido a las ventajas que presenta la vía inhalatoria, el empleo de fármacos nebulizados se ha prodigado mucho en la última década, aunque la utilización de muchos de éstos no se basa en ensayos clínicos rigurosos y su empleo vía inhalada no se contempla en la ficha técnica del producto. En el año 2001, la European Respiratory Society³ publicó una guía sobre el uso de nebulizadores, recomendándolos en las siguientes situaciones: en pacientes que requieren dosis altas de broncodilatadores; en enfermos que precisan inhalar fármacos que sólo existen en esa presentación, como la DNasa o antibióticos en aerosol, y en pacientes incapaces de utilizar otros dispositivos de inhalación (como los inhaladores de cartucho presurizado o de polvo seco). Otras indicaciones de fármacos nebulizados mediante uso compasivo son la anfotericina B, algunos mucolíticos, el iloprost, la ciclosporina inhalada (para el rechazo crónico de los pacientes trasplantados de pulmón) y la pentamidina (en la infección pulmonar por *Pneumocystis jiroveci*).

Aspectos técnicos de la nebulización

La eficacia de la nebulización depende de muchos factores que incluyen, entre otras, las características del fármaco a nebulizar (tamaño de la partícula, forma, densidad, tensión superficial de la partícula),

la anatomía de las vías aéreas, la técnica de inhalación del paciente, el sistema de nebulización utilizado y su mantenimiento⁴. Respecto al sistema de nebulización no sólo las características técnicas del aparato afectan a la nebulización, sino que todos los componentes que se precisan para la nebulización (tubos de conexión, filtros, interfase bucal, etc.) afectan a su rendimiento⁵. Todos estos factores condicionan una enorme variabilidad inter e intraindividual en el depósito de un aerosol en las vías respiratorias. Por eso, antes de comenzar un tratamiento nebulizado debe elegirse, preferentemente, el sistema de nebulización que haya probado su eficacia en la administración del preparado que se trate de nebulizar. Sólo deberían utilizarse las combinaciones de sistemas de nebulización y fármacos que hayan demostrado su eficacia y seguridad en ensayos clínicos adecuados.

Leyes físicas que determinan el depósito de partículas

Una vez que el fármaco nebulizado alcanza las vías aéreas puede depositarse en éstas por 3 mecanismos principales: impactación, sedimentación y difusión browniana⁶.

- **Impactación.** Ocurre cuando la corriente de flujo en la que van suspendidas las partículas de aerosol cambia de dirección a gran velocidad, como ocurre en la bifurcación de las vías aéreas grandes y en las zonas con turbulencias. Mientras la corriente de aire intenta superar el obstáculo, la mayor inercia de las partículas hace que éstas colisionen con las paredes de los bronquios. Las partículas grandes (> 5 µm de diámetro) suelen depositarse en la vía aérea superior, en los bronquios principales y en sus bifurcaciones por impactación. Este depósito está favorecido por una velocidad de flujo elevada (> 100 l/min).
- **Sedimentación.** Es el fenómeno físico por el que las partículas de un aerosol se depositan en las paredes de la vía aérea por acción de la gravedad. Es el mecanismo principal por el que se depositan las partículas en los bronquios distales y de pequeño diámetro. Se favorece con flujos bajos y un tamaño de partícula entre 2 y 5 µm. La apnea postinspiratoria también favorece la sedimentación. Cuanto menor es la masa de la partícula más lenta es su sedimentación, hasta el punto de que las partículas < 1 µm, debido a su pequeña masa, no tienen tiempo suficiente para depositarse en la superficie bronquioalveolar durante la respiración. Por eso, una importante proporción de estas partículas queda suspendida en el aire inspirado y es, en gran medida, espirada hacia afuera.
- **Difusión.** En estas minúsculas partículas también actúa el tercer mecanismo, la difusión, que consiste en un movimiento aleatorio, errático, que puede hacer que se depositen sobre el epitelio respiratorio. Se define como el movimiento de moléculas gaseosas o aerosoles dentro de líquidos, causado por un gradiente de concentración. Sin embargo, este mecanismo tiene cuantitativamente menor importancia. El rango del flujo inspiratorio ideal, para que el depósito de las partículas sea el mayor posible, oscila entre 30 y 60 l/min.

Tamaño de partícula (tabla 1)

Aunque lo ideal es que los aerosoles sean monodispersos, con partículas de tamaño y forma similares, la realidad es que los aerosoles disponibles son heterodispersos, esto es, formados por un conjunto de partículas de diversos diámetros. Los factores determinantes del tamaño de la partícula producida por un nebulizador incluyen tanto las características de la solución (densidad, viscosidad y tensión superficial de la solución nebulizada) como la velocidad de flujo del sistema de nebulización. A mayor velocidad de flujo menor será el tamaño de las partículas de aerosol.

El parámetro físico más importante del aerosol es su diámetro aerodinámico. Como el aerosol tiene partículas de tamaños muy dife-

Tabla 1
Depósito de las partículas aerosolizadas en el aparato respiratorio según su tamaño

Tamaño de las partículas (μm)	Depósito	Eficacia	Seguridad
> 5 μm	Boca, tráquea, bronquios principales	Sin efecto terapéutico	Absorción por el tracto gastrointestinal Expulsadas por el aclaramiento mucociliar
1-5 μm (partículas respirables)	Vías aéreas superiores	Efecto terapéutico	Absorción desde el pulmón
< 1 μm	Alvéolos	Sin efecto terapéutico	Exhaladas Eliminadas por los macrófagos

rentes, sólo se puede comprender su comportamiento evaluando un valor global que sea capaz de explicar sus propiedades físicas. Aunque hay varios parámetros para medir el tamaño de las partículas aerosolizadas, el más utilizado es la *mediana del diámetro aerodinámico de la masa de las partículas de aerosol* (MMAD), definido como el diámetro alrededor del cual la masa total del aerosol está igualmente distribuida. La MMAD se emplea para caracterizar el tamaño de todas las partículas de aerosol producidas, no para referirse al tamaño de una partícula concreta. Un valor determinado de la MMAD indica que el 50% de la masa del aerosol está por debajo de ese valor y un 50% por encima. Por ejemplo, un aerosol con una MMD de 3 μm contiene el 50% de la masa por debajo de 3 μm y el otro 50% por encima de ese diámetro. Otro concepto es el de *fracción respirable*, que se conoce como el porcentaje de partículas cuyo MMAD está comprendido entre 1 y 5 μm . Las partículas de más de 10 μm de diámetro impactarán contra el epitelio nasal, orofaríngeo y traqueal, mientras que las de 5 a 10 μm se depositarán a lo largo del trayecto de la tráquea y de los bronquios principales y suelen ser deglutidas. Las partículas de 1 a 5 μm son las que tienen mayores posibilidades de alcanzar el árbol bronquial y de conseguir el efecto terapéutico buscado. Aunque también pueden ser desplazadas de ahí por el sistema mucociliar y ser expulsadas fuera del organismo por medio de los estornudos o la tos, o bien ser deglutidas y pasar al tracto gastrointestinal. Las partículas < 1 μm pequeñas penetran hasta los alvéolos pulmonares. De ahí pueden ser absorbidas a la sangre o bien ser eliminadas a través del sistema linfático o por medio de los macrófagos alveolares. Otro parámetro que ayuda a conocer las propiedades físicas del aerosol es la *desviación estándar geométrica* (DEG), que es una medida de dispersión del diámetro de la partícula. Proporciona información acerca del rango del tamaño de las partículas que componen el aerosol. Por definición, un aerosol con una DEG < 1,22 se considera monodisperso.

La eficacia de un nebulizador dependerá, en gran manera, del tamaño de las partículas que genere. En principio, mientras más pequeñas sean éstas mayores serán las probabilidades de penetración y depósito en las zonas distales del árbol respiratorio. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, las partículas de tamaño < 1 μm precisan un tiempo de sedimentación más prolongado y, por ello, pueden ser expulsadas durante la exhalación antes de llegar a depositarse en el árbol bronquial. También hay que tener en cuenta que cuanto menor es el diámetro de la partícula de aerosol, menor es la cantidad de fármaco que contiene y, por tanto, su potencial efecto terapéutico será menor.

Patrón respiratorio

Probablemente, el factor más importante que determina la liberación y depósito del aerosol es el patrón respiratorio. La respiración nasal y una frecuencia respiratoria excesivamente elevada aumentan la velocidad y la turbulencia del flujo y, consecuentemente, las probabilidades de impacto de las partículas en la tráquea y bronquios, mientras que una frecuencia respiratoria más lenta aumenta el tiempo de permanencia del aerosol en el interior de las vías aéreas y favorece las probabilidades de sedimentación de éste sobre el árbol traqueobronquial. En algunos estudios también se ha demostrado que a mayor volumen inhalado y a mayor tiempo de apnea se deposita una

cantidad mayor de aerosol en las regiones periféricas del pulmón. Durante la nebulización el paciente debe estar sentado y erguido, respirar a un ritmo normal y sin hablar, y tener bien ajustada la interfase bucal o la mascarilla.

Anatomía de las vías aéreas

Es otro factor que influye en el depósito de los aerosoles. En el caso de pacientes con las vías aéreas obstruidas (como en la EPOC y en las bronquiectasias), cuanto mayor es la severidad de la obstrucción mayor será el depósito central y menor el periférico, debido a que las turbulencias que se generan en las obstrucciones facilitan el depósito de las partículas en el sitio de la obstrucción por impactación e impiden que lleguen a los bronquios de menor calibre.

El paso de las partículas a través de la faringe y laringe durante la inspiración está influenciado por la anatomía de las vías aéreas y ésta depende de la edad del individuo. Así, en las personas jóvenes hay una tendencia a que el depósito sea mayor en las vías aéreas superiores.

Volumen y tipo de solución del fármaco a nebulizar

Habitualmente, la solución se prepara con un volumen de llenado inicial (volumen nominal) de 2 a 4 ml de suero fisiológico/solución salina isotónica (0,9% NaCl) (para conseguir soluciones lo más isotónicas posibles y evitar en lo posible el broncospasmo). En ocasiones, si el paciente no tolera la solución preparada sólo con suero salino, puede emplearse agua destilada o una combinación de ambas, a fin de conseguir la solución que tolere mejor el paciente. Para los nebulizadores con un volumen residual (porción de la solución o suspensión que permanece en la cámara cuando termina la nebulización) menor de 1 ml se recomienda un volumen nominal de 4 ml. Volúmenes menores pueden hacer que aumente la viscosidad de la solución y dificultar su nebulización. Debe evitarse la mezcla de fármacos en el mismo nebulizador, excepto si hay estudios que aseguren su compatibilidad y estabilidad⁷.

Tiempo de nebulización

Además del sistema de nebulizador y compresor utilizados, el tiempo de nebulización depende del volumen y viscosidad de la solución (o suspensión). El tiempo de nebulización es más prolongado en las suspensiones de antibióticos que en las de soluciones de suero salino o broncodilatadores. Para asegurar la perfecta preparación y administración del preparado, evaluar la tolerancia del paciente y minimizar en lo posible los riesgos de su administración, debe realizarse la primera sesión terapéutica en el hospital en presencia del personal sanitario.

Sistemas de nebulización

Los equipos o sistemas de nebulización se componen de una cámara de nebulización (esto es, el nebulizador propiamente dicho) donde se introduce el líquido a nebulizar y se genera el aerosol, y de una fuente de energía necesaria para hacer funcionar el nebulizador.

Tabla 2
Ventajas e inconvenientes de los diferentes tipos de nebulizadores

	Ventajas	Inconvenientes
Nebulizadores ultrasónicos	Nebulizan grandes volúmenes de líquidos Más silenciosos que los <i>jet</i>	Desnaturalizan algunos fármacos por el calor No nebulizan suspensiones No adecuados en menores de 3 años
Nebulizadores <i>jet</i>	Proporcionan altos flujos Más rápidos que los ultrasónicos Pueden nebulizar suspensiones y soluciones	Compresores ruidosos y pesados
Nebulizadores de malla	Pueden funcionar con baterías o pilas (además de con la red eléctrica) Poco voluminosos, silenciosos Pueden nebulizar suspensiones y soluciones Más rápidos que los <i>jet</i>	Menos resistentes que los <i>jet</i> Faltan estudios de bioequivalencia con algunos fármacos

Hay 3 tipos de sistemas de nebulización: nebulizadores ultrasónicos, *jet* (también denominados neumáticos o de chorro de aire) y de malla (también denominados electrónicos) (tabla 2). Para inhalar el aerosol de la cámara de nebulización se precisa una interfase (pieza bucal, mascarilla nasobucal, conexión en T a tráquea, mascarilla traqueal, horquilla nasal). La mascarilla nasobucal sólo se recomienda en los menores de 6 años, cuando la infección se sitúa en el tracto respiratorio superior (sinusitis) y cuando el paciente no puede o no sabe utilizar la pieza bucal. En los demás casos se elegirá la interfase más adecuada de acuerdo a las características del paciente.

Nebulizadores ultrasónicos

Los nebulizadores ultrasónicos utilizan como fuente de energía la vibración a alta frecuencia de un cristal piezoeléctrico. Las vibraciones del cristal producen oscilaciones en el líquido, dando lugar a su nebulización. A mayor vibración más pequeñas serán las partículas generadas. Producen flujos entre 2 y 20 l/min. Los nebulizadores ultrasónicos tienen capacidad para nebulizar grandes volúmenes de líquidos, pero no son apropiados para la nebulización de antibióticos ni de otros fármacos en suspensión, como los corticoides y la rhdNasa, ya que parte de las ondas de alta frecuencia que producen se disipa en forma de calor, lo que puede afectar a la estabilidad de la suspensión⁸. Pueden utilizarse para nebulizar soluciones con broncodilatadores o suero salino.

Nebulizadores *jet*

Los nebulizadores *jet* se componen de una cámara de nebulización, donde se introduce el líquido a nebulizar y se genera el aerosol, y una fuente de energía necesaria para hacer funcionar el nebulizador. En los nebulizadores *jet*, el aerosol se genera al chocar el chorro de gas (aire u oxígeno) en la cámara del nebulizador. Al aumentar la velocidad del fluido disminuye su presión (efecto Venturi), con lo que se crea una presión negativa por encima del orificio superior del tubo capilar, lo que hace que el líquido ascienda (efecto Bernoulli) y choque contra un sistema de percusión, fragmentándose el fluido en múltiples y pequeñas gotitas. Una pantalla hace que por impacto las gotas mayores vuelvan al reservorio, mientras las más pequeñas pueden ser inhaladas.

Como fuente de energía pueden utilizar un compresor mecánico de aire o un gas comprimido (oxígeno o aire). El compresor es un aparato eléctrico con un motor que succiona el aire ambiente, lo comprime, lo hace pasar a través de un filtro y, posteriormente, lo conduce a la cámara de nebulización. El compresor suele ser la fuente de energía más recomendable para emplear en el domicilio del paciente por su pequeño tamaño y fácil mantenimiento. El flujo de aire que producen los compresores es mayor cuanto mayor sea la potencia del motor. Algunos son capaces de producir un flujo suficiente (*flujo estático*, que es el que se produce a la salida del compresor), pero al conectar el nebulizador al compresor se produce un aumento de la resistencia y

de la presión en el sistema del compresor, que hace que disminuya el flujo de salida del nebulizador (*flujo dinámico*). Este flujo será menor que el flujo estático. Por tanto, la característica fundamental del compresor es el flujo dinámico, esto es, el flujo real cuando está conectado a un nebulizador determinado. Cuanto mayor es el flujo dinámico, las partículas generadas serán más pequeñas y, por tanto, el depósito pulmonar será mayor y el tiempo de nebulización menor. Para conseguir partículas de tamaño respirable deben utilizarse flujos elevados, de entre 6 y 9 l/min. Las partículas mayores pueden ser reconducidas al depósito para ser nebulizadas de nuevo, aunque siempre queda un volumen residual que no puede ser nebulizado y que suele ser de 0,5-1 ml. Para nebulizar antibióticos se recomienda utilizar compresores de alto flujo dinámico (≥ 8 l/min), ya que son más eficaces y rápidos que los convencionales, que generan un flujo dinámico de 6-8 l/min.

Hay varios tipos de nebulizadores *jet*, clasificados según su funcionamiento durante la inhalación. Los más utilizados son los nebulizadores convencionales con débito constante, los nebulizadores con efecto Venturi activo durante la inspiración y los dosimétricos (también denominados nebulizadores *jet* con sistema de dosificación en la inspiración o nebulizadores *jet* con liberación adaptada de aerosol).

- *Nebulizadores jet con débito constante*. Generan un flujo de aerosol de forma continua, tanto durante la fase inspiratoria como durante la espiratoria. Con estos nebulizadores, aproximadamente un 60-70% del volumen nominal se pierde al ambiente durante la fase espiratoria. Esta pérdida al ambiente supone tanto una pérdida del fármaco que se nebuliza como la posibilidad de contaminar el ambiente y perjudicar a las personas que están cerca de la que realiza las nebulizaciones.
- *Nebulizadores jet con efecto Venturi activo durante la inspiración*. Estos nebulizadores tienen un sistema que hace que el aire inspirado sea succionado a través de la zona del nebulizador que genera el aerosol, con lo que durante la fase inspiratoria el flujo inspirado se suma al flujo generado por el compresor. Algunos de ellos, como el Ventstream® (Respironics) o Pari LC Plus® (Pari) usan, además, un sistema de válvulas que hace que durante la espiración se cierre la válvula de salida de la cámara de nebulización, con lo que reducen la pérdida de aerosol durante esa fase. Son más efectivos y rápidos que los nebulizadores convencionales con débito constante⁹.
- *Nebulizadores jet dosimétricos o de liberación adaptada de aerosol*. Estos sistemas liberan el aerosol según el flujo respiratorio de cada paciente y administran el aerosol sólo durante la inspiración o durante una fracción de ésta. Son los más efectivos de los 3. Reducen casi totalmente la liberación del fármaco nebulizado al ambiente¹⁰.

Como norma general, si se opta por utilizar un sistema *jet*, y sobre todo si se nebulizan antibióticos, se recomienda emplear un compresor con alto flujo dinámico y un nebulizador que genere más del 70% de las partículas respirables en el menor tiempo posible (10-15 min).

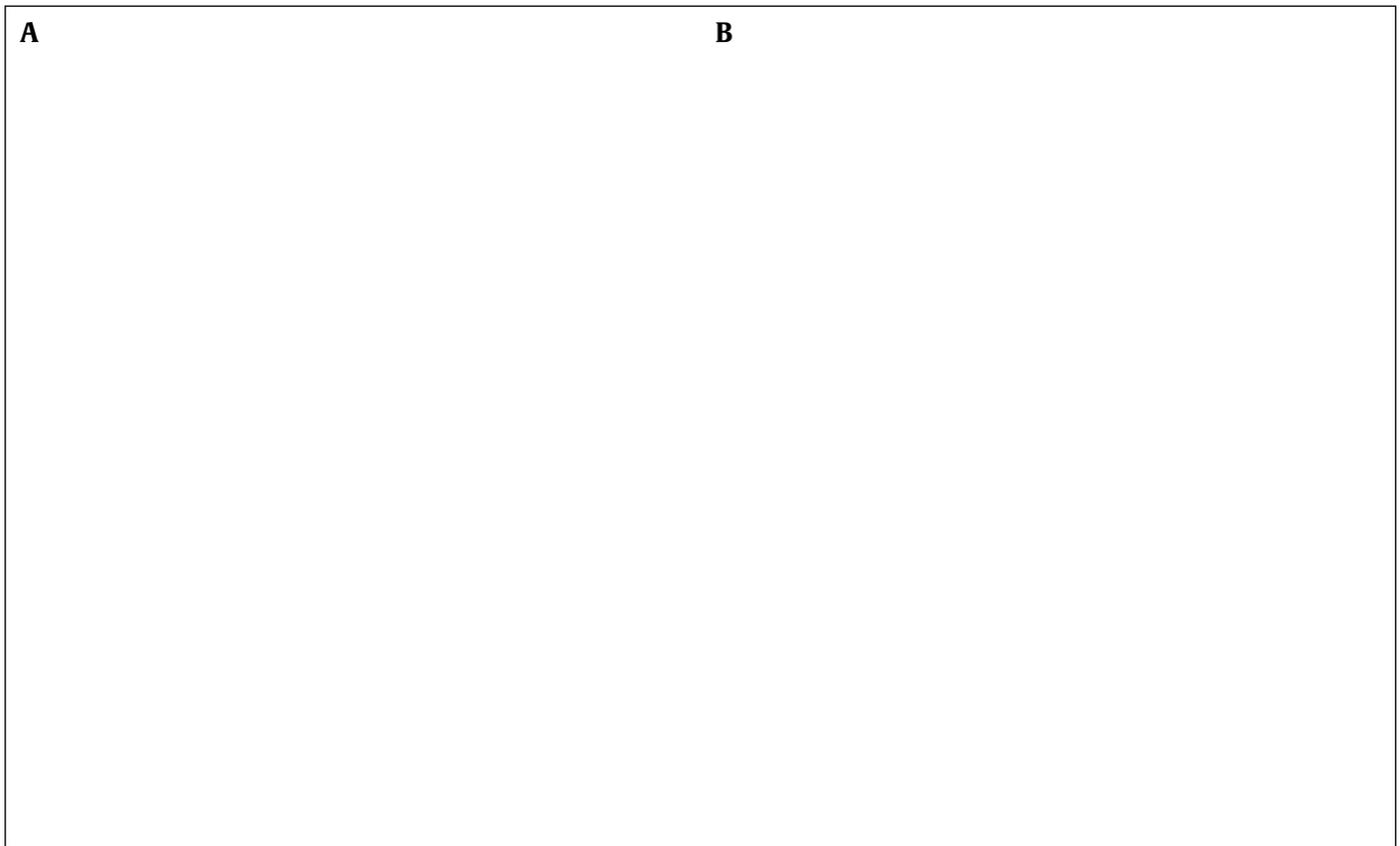


Figura 1. Nebulizadores de malla: A) Nebulizador I-neb®. B) Nebulizador eFlow® rapid.

Los nebulizadores *jet* más recomendables son los de efecto Venturi activo y los dosimétricos.

Nebulizadores de malla

En los nebulizadores de malla el aerosol se genera al pasar el líquido a nebulizar por los agujeros de una malla. No necesitan compresor y son menos pesados y ruidosos que los *jet*. Además de funcionar con electricidad, pueden funcionar con pilas y con la batería del coche. Hay 2 tipos principales de nebulizadores de malla: estática y vibratoria. En los de malla estática el aerosol se genera aplicando una presión en el líquido para que pase a través de los agujeros de la malla. En los de malla vibratoria el líquido pasa por los agujeros gracias a la vibración de la malla. La eficacia de los nebulizadores de malla es superior a la de los *jet*, con un mayor depósito pulmonar. También son menos voluminosos, más silenciosos y más rápidos¹¹ que los *jet*, lo que se traduce en un mejor cumplimiento por parte del paciente¹².

Recientemente se han incorporado al mercado español el eFlow® rapid (Pari) y el I-neb® (Respironics) (fig. 1). Este último combina la tecnología de malla vibratoria con la tecnología de liberación adaptada de aerosol (fig. 2) (con la consiguiente menor liberación del fármaco al ambiente) y tiene la posibilidad de incorporar un sistema de grabación del cumplimiento de las sesiones del tratamiento.

Mantenimiento y limpieza

Una vez realizada la nebulización deben desmontarse todas las piezas del nebulizador, limpiarse cuidadosamente con agua templada a chorro, utilizando detergente y secándolas bien al aire. Con los nebulizadores de malla puede ser recomendable utilizar agua destilada para su limpieza, especialmente si el agua del grifo es dura, ya que el alto contenido de minerales puede estropear la malla. Deben seguirse

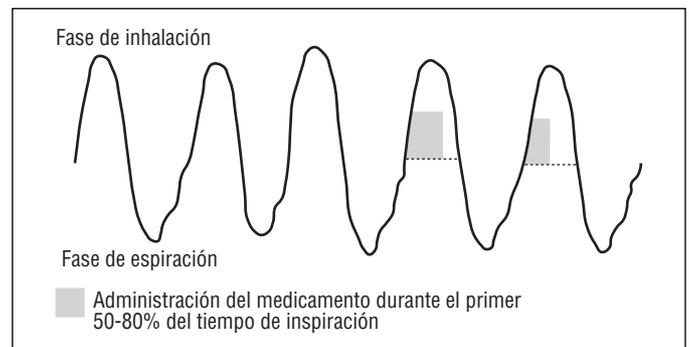


Figura 2. Representación del patrón respiratorio y liberación del fármaco durante la inspiración con el sistema de liberación adaptada de aerosol (I-neb®).

las recomendaciones del fabricante en cuanto a mantenimiento del aparato/recambio de piezas, filtros, etc. Es recomendable individualizar al máximo el uso de estos equipos para cada paciente y que el material que se utiliza para preparar la medicación (jeringas y agujas) sea de un solo uso.

Conflicto de intereses

El Dr. L. Máiz declara haber dado conferencias remuneradas por Praxis Pharmaceutical. La Dra. C. Wagner declara no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

A Pilar Vallejo, por su aportación bibliográfica y consejos en la redacción del capítulo.

Bibliografía

1. Vendrell M, De Gracia J, Oliveira C, Martínez MA, Girón R, Máz L, et al. Diagnóstico y tratamiento de las bronquiectasias. Arch Bronconeumol. 2008;44:629-40.
2. Heijerman H, Westerman E, Conway S, Touw D, Döring G; Consensus Working Group. Inhaled medication and inhalation devices for lung disease in patients with cystic fibrosis: A European consensus. J Cyst Fibros. 2009;8:295-315.
3. Boe J, Dennis JH, O'Driscoll BR, Bauer TT, Carone M, Dautzenberg B, et al. European Respiratory Society Guidelines Task Force on the use of nebulizers. European Respiratory Society Guidelines on the use of nebulizers. Eur Respir J. 2001;18:228-42.
4. Hess D. Nebulizers: principles and performance. Respir Care. 2000;45:609-22.
5. Alfageme I, Ancochea J, Calle M, Capote F, Durán J, Gimeno M, et al. Terapias respiratorias. Arch Bronconeumol. 2009;45 Supl 2:2-28.
6. Dolovich MA, MacIntyre NR, Anderson PJ, Camargo CA Jr, Chew N, Cole CH, et al. Consensus statement: aerosols and delivery devices. American Association for Respiratory Care. Respir Care. 2000;45:589-96.
7. Berlinski A, Waldrep JC. Nebulized drug admixtures: effect on aerosol characteristics and albuterol output. J Aerosol Med. 2006;19:484-90.
8. Nikander K, Turpeinen M, Wollmer P. The conventional ultrasonic nebulizer proved inefficient in nebulizing a suspension. J Aerosol Med. 1999;12:47-53.
9. Devadason SG, Everard ML, Linto JM, Le Souëf PN. Comparison of drug delivery from conventional versus "Venturi" nebulizers. Eur Respir J. 1997;10:2479-83.
10. Rau JL, Ari A, Restrepo RD. Performance comparison of nebulizer designs: constant-output, breath-enhanced, and dosimetric. Respir Care. 2004;49:174-9.
11. Coates AL, Green M, Leung K, Chan J, Ribeiro N, Louca E, et al. Rapid pulmonary delivery of inhaled tobramycin for Pseudomonas infection in cystic fibrosis: a pilot project. Pediatr Pulmonol. 2008;43:753-9.
12. Waldrep JC, Dhand R. Advanced nebulizer designs employing vibrating mesh/aperture plate technologies for aerosol generation. Curr Drug Deliv. 2008;5:114-9.