

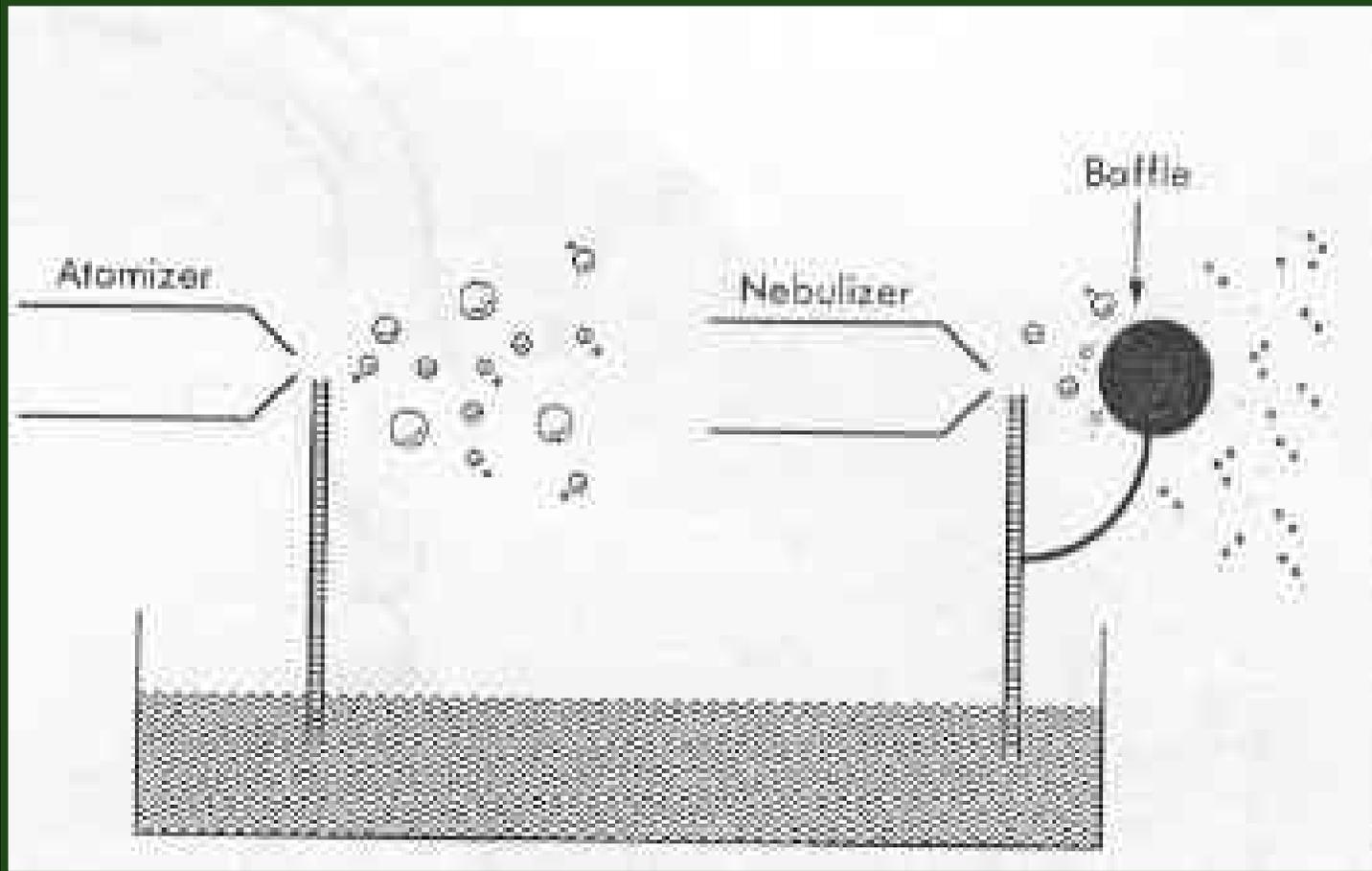
Aerosolterapia

Dra Belén J. Mendoza Amaya
Unidad de Bioingeniería - Terapia Respiratoria
Departamento de Cuidados Críticos - HNGAI

AEROSOL: Partícula sólida o líquida suspendida en un gas.

HUMEDAD: Agua en estado gaseoso.

ATOMIZADOR Y NEBULIZADOR



Aerosolterapia

Aerosol: Suspensión de partículas sólidas o líquidas de una sustancia en un gas.

Partículas como drogas, agua, polvo, humo de cigarro, etc.

Tipos de Aerosol:

Monodisperso: Forma y tamaño semejantes.

Heterodisperso: Forma y tamaño diferentes.

Física del Aerosol

Diámetro Aerodinámico de Masa Media (MMAD)

- Describe el tamaño promedio de las partículas en micras.
- Es el punto en el que la mitad de las partículas son mayores y la otra mitad son menores a un valor dado
- Pe. MMAD = 2,5u: 50% de la masa por debajo de 2,5u y el otro 50% por arriba de ese diámetro.

Física del Aerosol

Desviación Geométrica Estándar (GSD):

- *Describe el rango de tamaños de partículas en un aerosol.*
- *Un aerosol monodisperso tiene una $GSD < 1,22$.*
- *La mayoría de aerosoles encontrados en la naturaleza y usados en medicina respiratoria son heterodispersos.*

Física del Aerosol

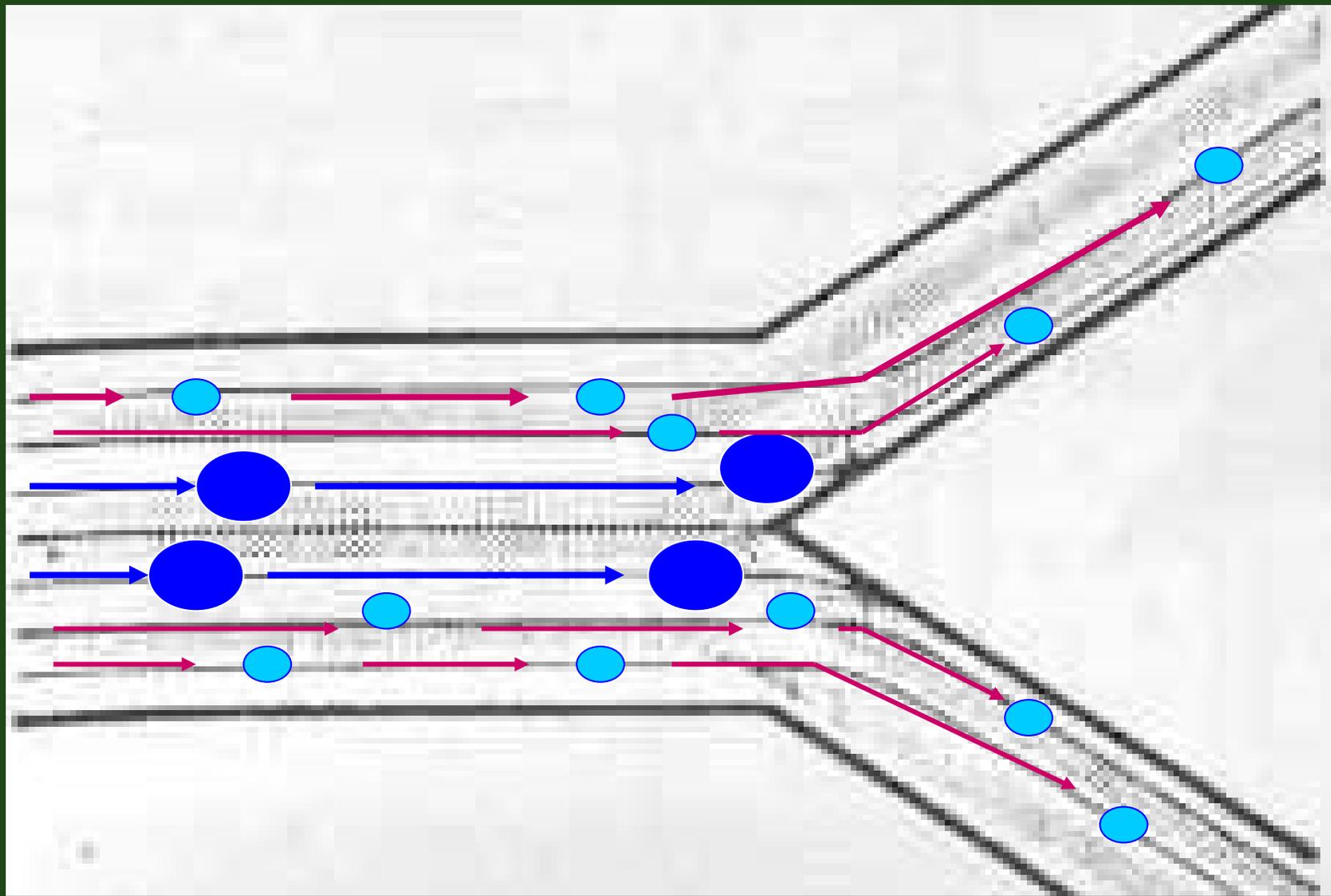
- *A mayor MMAD, mayor es el tamaño promedio de la partícula.*
- *A mayor el GSD más heterodisperso es el aerosol.*

Mecanismo De Depósito Del Aerosol

- El depósito de partículas inhaladas en la vía aérea y el pulmón esta causada por tres mecanismos principales :
 - Impactación Inercial.
 - Sedimentación Gravitacional
 - Difusión.

Impactación Inercial

- Es el depósito de partículas cuando éstas colisionan con la superficie, durante los cambios de dirección.
 - $>10\mu\text{m}$ MMAD: epitelio nasal, orofaríngeo y traqueal
 - $> 5-10\mu\text{m}$ MMAD: tráquea y hasta los bronquios de 2mm.

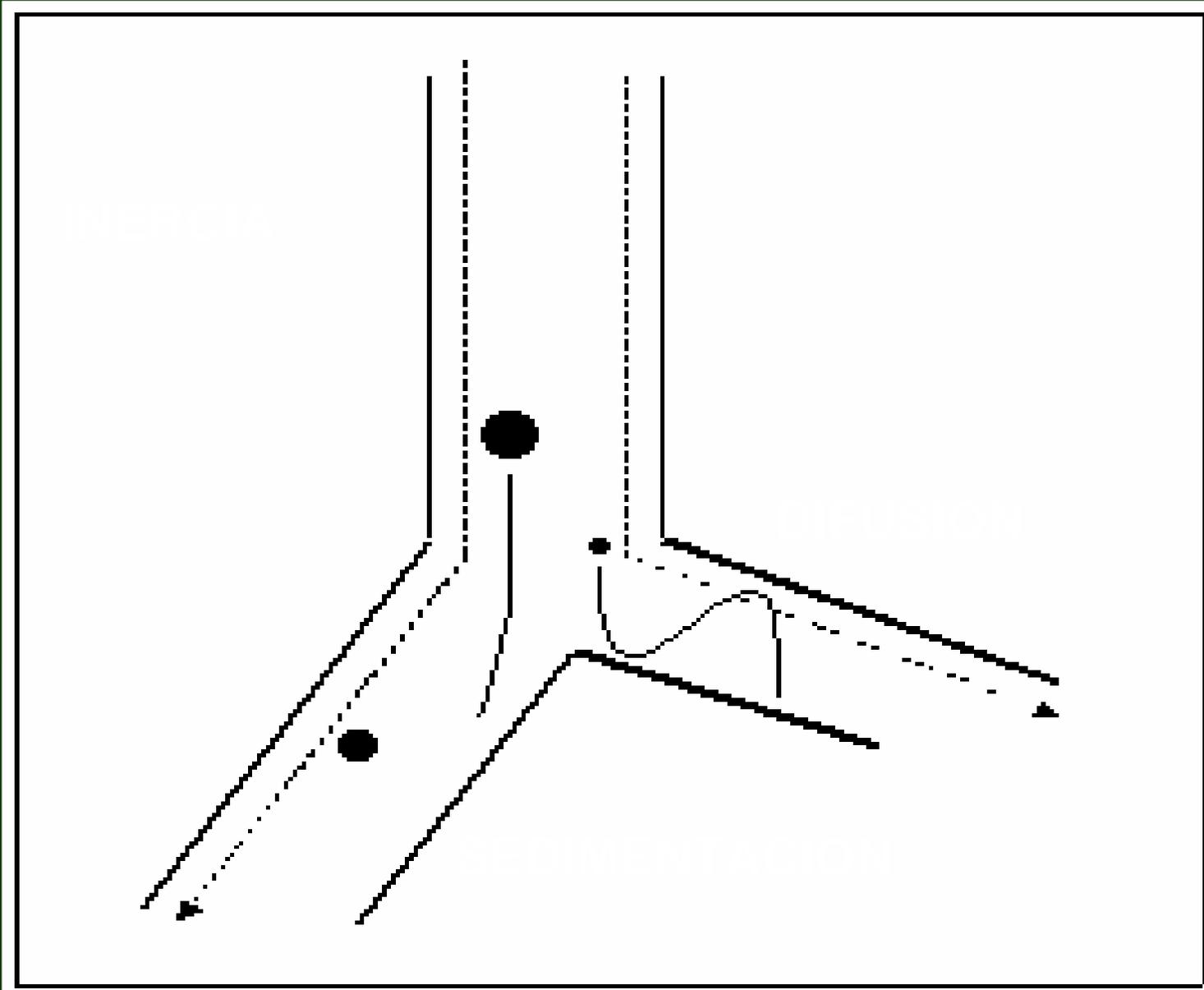


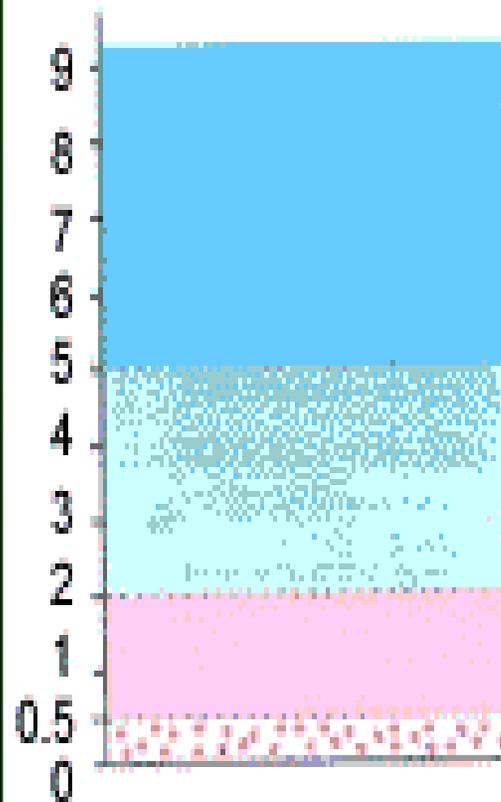
Sedimentación Gravitacional

- *Efecto de la GRAVEDAD sobre las partículas, no influenciadas por la inercia.*
- *Mecanismo primario para depósito de partículas de 1µm -5µm MMAD.*
- *Ocurre en más en la vía aérea periférica y está influenciado por la pausa respiratoria (4 a 10”), incluso hasta las seis últimas generaciones de la vía aérea.*

Difusión

- Partículas extremadamente pequeñas (1 a 3 μ de MMAD), donde el movimiento Browniano tiene una mayor influencia sobre la partícula en movimiento que la gravedad.
- Es un movimiento aleatorio de las partículas que puede hacer que se depositen sobre el epitelio respiratorio.





Depósito en faringe, laringe y vías respiratorias superiores

2-5 µm óptimo para el depósito traqueobronquial

0,5-2 µm óptimo para el depósito alveolar

Partículas < 0,5 µm se exhalan

Cavidad nasal

Partículas < 0.5 µm se exhalan

Cavidad oral

Tráquea

Faringe

Laringe

Depósito

Traqueobronquial

Pulmón

Depósito alveolar

Tamaño De La Partícula, Depósito Y Localización

<i>Tamaño (um)</i>	<i>% Depósito</i>	<i>Localización</i>
<i>100</i>	<i>100</i>	<i>Boca, nariz, equipo</i>
<i>100-40</i>	<i>100</i>	<i>Vía aérea superior</i>
<i>40-15</i>	<i>40-100</i>	<i>Vía aérea superior</i>
<i>15-8</i>	<i>30-40</i>	<i>Bronquios</i>
<i>5-2</i>	<i>>55</i>	<i>Bronquiolos</i>
<i>2.0-1</i>	<i><50</i>	<i>Alvéolos</i>
<i>1.0</i>	<i><10</i>	<i>Exhalación.</i>

Factores Que Afectan La Administración Del Aerosol

- *Patrón respiratorio y la tasa de flujo inspiratorio.*
- *La respiración Nasal versus bucal.*
- *Permeabilidad y calibre de la vía aérea.*
- *Edad del paciente.*
- *Educación del paciente.*
- *Otros factores : Humedad, Temperatura, Equipo y la Formulación de la droga.*

Temperatura Y Humedad

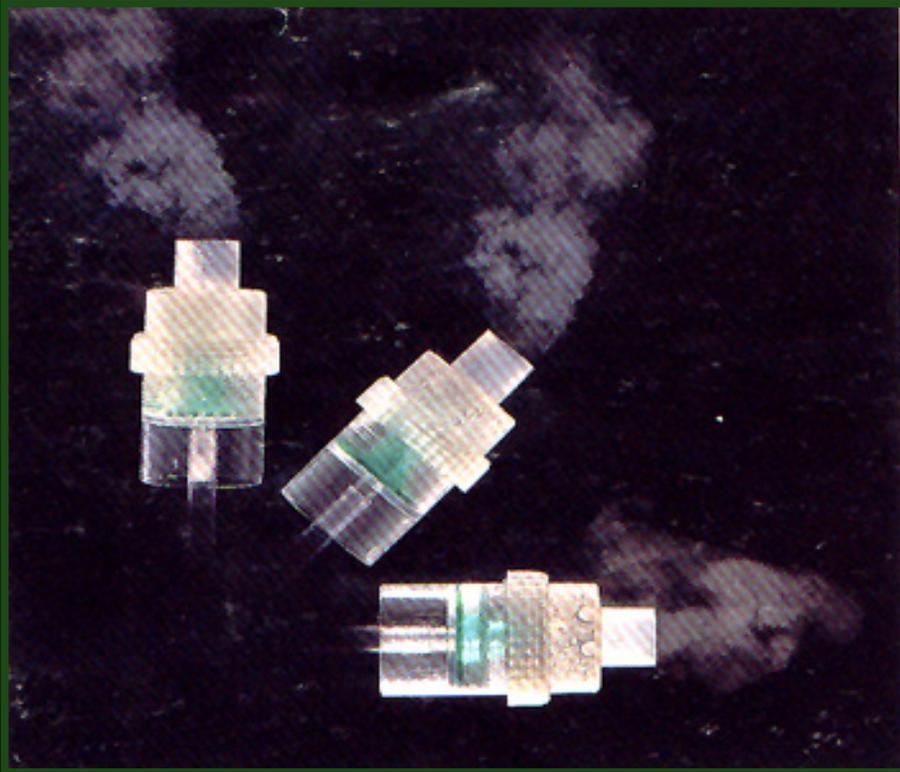
- Las partículas tienden a crecer como resultado de la humidificación coalesciendo sobre la vía aérea del paciente.
- Muy importante cuando se administra soluciones como broncodilatadores, los cuales deben ser depositados en forma óptima en las vías aéreas profundas.

Patrón Ventilatorio

El paciente debe ser entrenado para tomar una respiración lenta y profunda (flujo inspiratorio menor de 30 LPM) y desarrollar volúmenes tidales grandes (1.5 ó el doble de lo normal) incluyendo pausas inspiratorias mayores de 5" (hasta por 15").

Sistemas De Entrega

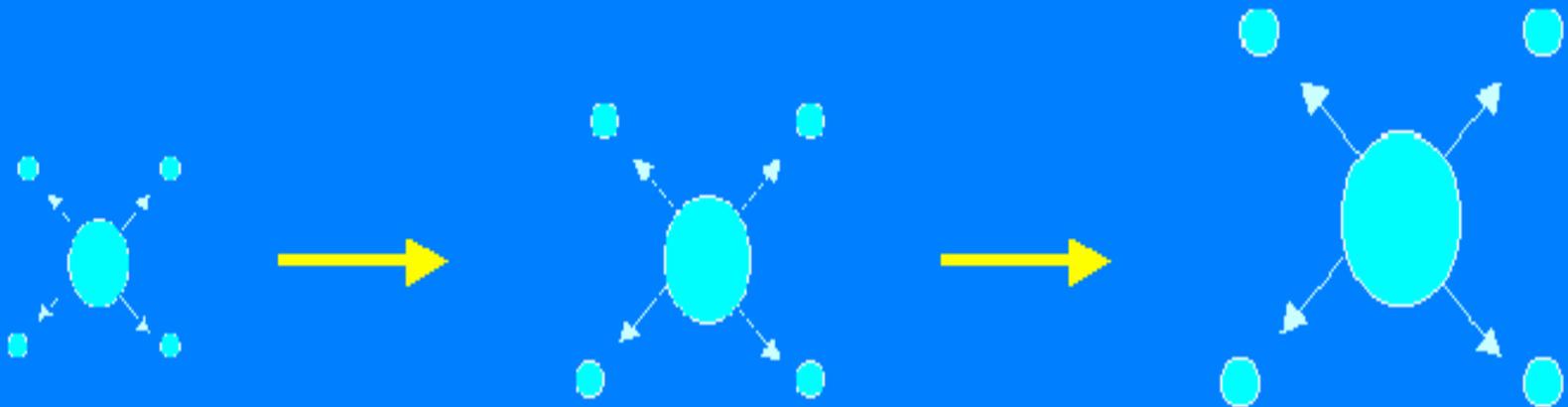
- Nebulizadores de pequeño volumen (micronebulizadores)
- Nebulizadores de alto Volumen
- Nebulizadores Ultrasónicos
- Inhaladores de Dosis medida (MDI)
- MDIs con accesorios de entrega (espaciadores)



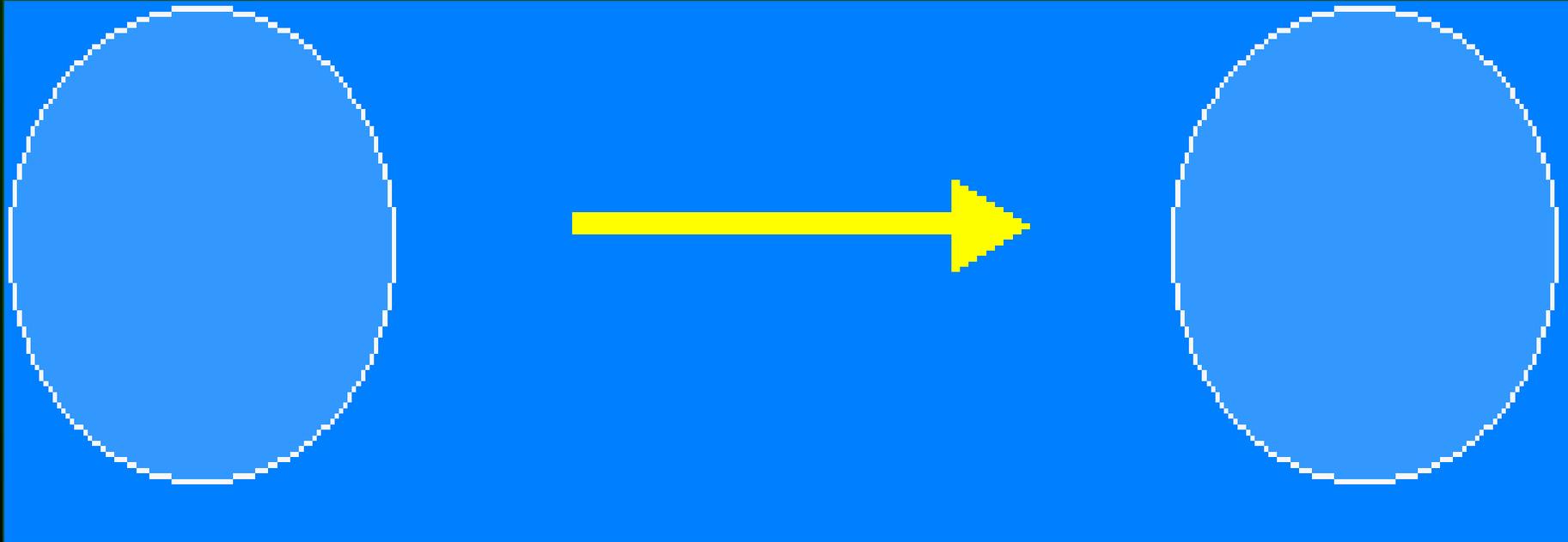
Tipo de soluciones:

- Sol. Hipertónicas
- Sol. Isotónicas
- Sol. Hipotónicas

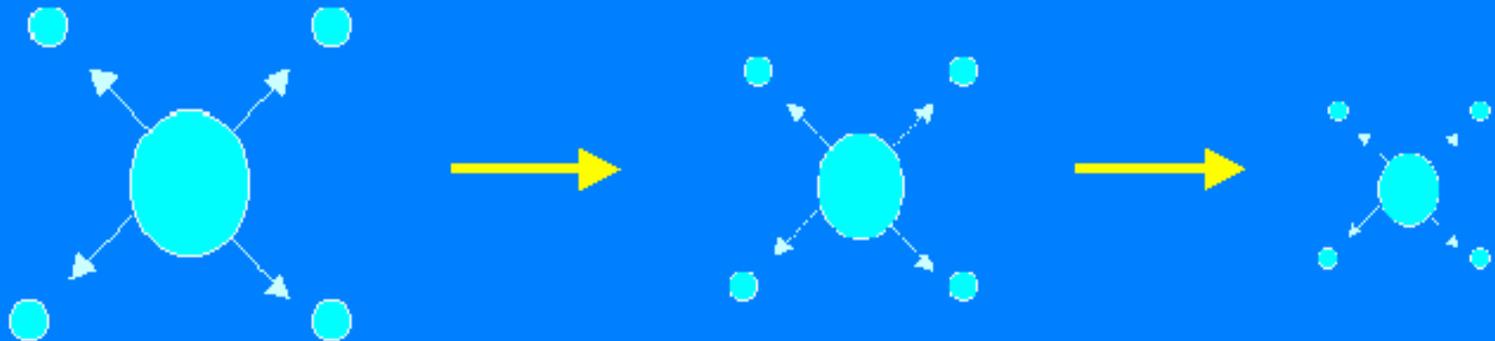
1. Las soluciones hipertónicas, tienden a absorber agua del cuerpo, por tanto las partículas tienden a aumentar de tamaño



2. Las soluciones isotónicas tienden a mantener razonablemente la estabilidad de la partícula



3. Las soluciones hipotónicas tienden a entregar agua a la vía aérea y evaporarse, así las partículas disminuyen de tamaño y viajarán más allá en el tracto respiratorio que lo esperado para su masa original



Volumen residual: que queda en el reservorio de nebulización. De 0.5 a 1.5 ml. Nebulizar con 5 ml o mínimo con el doble del volumen residual.

Flujo de gas comprimido: un aumento del flujo produce un aumento del rendimiento, disminución del tamaño de la partícula y disminución del tiempo de nebulización

Limitaciones del Dispositivo o Procedimiento

- *Sólo un pequeño porcentaje del aerosol se deposita en la vía aérea (menos del 10%).*
- *La eficacia del dispositivo depende de la técnica utilizada (p.e., coordinación, patrón respiratorio, pausa inspiratoria).*
- *La eficacia del dispositivo es dependiente del diseño (p.e. flujo y tamaño de la partícula).*

Limitaciones del Dispositivo o Procedimiento

La disminución en el depósito del aerosol en la vía aérea puede requerir incremento en la dosis en:

- *Ventilación mecánica.*
- *Vía aérea artificial.*
- *Calibre de la vía aérea (niños y neonatos).*
- *Severidad de la obstrucción.*

Inhaladores Presurizados De Dosis De Medida

- *Los aerosoles más usados en nuestro medio son los inhaladores presurizados de dosis medida*
- *Son "sistemas que dependen de la fuerza de un gas comprimido y licuado para expulsar el contenido del envase". Al accionar dispositivo, el producto sale al exterior a gran velocidad (hasta a 100 km/h)*

- *La eficiencia del inhalador presurizado depende del tamaño de las partículas que componen el aerosol, lo que determina el depósito de la droga en las distintas zonas de la vía aérea; hasta un 13% de las partículas del aerosol liberado por estos aparatos puede depositarse en la vía aérea distal.*

- *Estos dispositivos constan de una carcasa, una boquilla y una válvula dosificadora o pulsador que permite la administración uniforme y dosificada del medicamento.*
- *El fármaco micronizado está disuelto en diferentes propelentes que actúan como propulsores.*

- *Se utilizan propelentes clorofluorocarbonados (CFC), fáciles de licuar, no tóxicos, no corrosivos y no inflamables; sin embargo están siendo sustuídos por propelentes menos nocivos para la capa de ozono.*
- *Entre las nuevas propelentes se encuentran los hidrofluoroalcanos.*

- *Gran inconveniente: Dificultad en la coordinación de la pulsación-inspiración.*
- *Se recomienda usarlo siempre con cámara de espaciadora, especialmente con los corticoides inhalados.*

Camaras Espaciadoras:

- *Dispositivos que producen un enlentecimiento de la velocidad de salida del aerosol, aumentando la evaporación del propelente y el choque de las partículas de mayor tamaño en las paredes de la cámara.*
- *Esto determina la disminución del depósito en orofaringe y el aumento de la sedimentación pulmonar con las partículas de menor tamaño.*

- *Facilitan la coordinación del disparo del cartucho y la inspiración del paciente.*
- *Disminuyen los efectos adversos locales, al disminuir la cantidad de fármaco que impacta en la orofaringe.*
- *Se necesitan flujos inspiratorios bajos para que el producto penetre adecuadamente en la vía aérea..*

Selección Del Equipo

Nebulizadores Convencionales:

- Tratamientos de corta duración
- Pacientes con capacidad inspiratoria elevada
- Medicaciones de poco volumen



Nebulización Continua vs Intermitente:

- *No existe diferencia demostrada hasta el momento entre estos dos métodos.*

Limitaciones del Dispositivo o Procedimiento

Limitaciones específicas del dispositivo:

Inhalador de Dosis medida(MDI):

1. Interés ambiental.
2. Técnica Inadecuada.
3. Instrucción Inadecuada.
4. Accesorio para el MDI (espaciador).
 - Adiciona costo.
 - *Más grande que el MDI sólo.*

Limitaciones del Dispositivo o Procedimiento

Nebulizador de pequeño volumen:

- 1. Tiempo y más laborioso*
- 2. Menos manual*
- 3. Requiere fuente de gas comprimido o electricidad*
- 4. Vulnerable a la contaminación*

Limitaciones del Dispositivo o Procedimiento

Nebulizador de Gran Volumen:

- 1. Limitado a cuidados intensivos y agudos*
- 2. Requiere monitoreo de la dosis*
- 3. Tiempo y costo*
- 4. Vulnerable a la contaminación*
- 5. Puede ocurrir reconcentración de la solución, sobre todo en periodos largos de tiempo debido a la evaporación por el gas seco*



Limitaciones del Dispositivo o Procedimiento

Nebulizador Ultrasónico:

- 1. Costo del dispositivo*
- 2. Requiere fuente de energía eléctrica*
- 3. Vulnerable a la contaminación*

Inhaladores De Polvo Seco:

- Dispositivos de liberación accionados por la inspiración, no necesitan de la coordinación entre la pulsación del dispositivo y la inhalación del producto.
- Necesita un flujo aéreo inspiratorio mínimo de 30-60 l/min.
- No se puede utilizar en pacientes con ventilación mecánica.

Sistemas Monodosis:

- *La dosis de fármaco está contenida en una cápsula que se introduce en el inhalador cada vez que el paciente debe administrarse una dosis.*
- *El inhalador está provisto de un mecanismo que perfora la cápsula, permitiendo que el fármaco, en forma de polvo, pueda inhalarse.*
- *Se necesita flujos inspiratorios más altos que con otros sistemas, por lo que no son útiles en pacientes con limitación importante de flujo aéreo.*

Sistemas Multidosis:

- *El fármaco está en forma de polvo, pero éste ya se encuentra en el interior del inhalador que mediante sencillas maniobras, se carga para ser inhalado.*
- *Son necesarios flujos medios-bajos para que sean efectivos, pero mas altos que con las cámaras de espaciadoras de inhalación, por lo que pueden no ser efectivos en pacientes con limitación al flujo aéreo*

La elección del sistema a usar dependerá:

- *Edad del paciente*
- *Capacidad de lograr un flujo inspiratorio*
- *Comprender y realizar el procedimiento sugerido en forma aceptable*
- *Costo*

- *No obstante, debido a que durante las crisis las condiciones para inhalar los fármacos se hacen menos favorables, en muchos centros hospitalarios se continúa empleando nebulizadores, los cuales tienen la ventaja de permitir que el enfermo reciba el aerosol en forma pasiva.*

- Se estima que el uso nebulizadores sólo se justifica en el medio hospitalario y de los servicios de emergencia, en pacientes que no puedan colaborar con la administración mediante cámaras de inhalación.

En pacientes en ventilación mecánica las características de la medicación y el diseño del nebulizador pueden afectar el funcionamiento del ventilador (p.e obstrucción del filtro, alterar el volumen tidal, disminuir la sensibilidad del disparo)

Monitorización

1. Desempeño del dispositivo
2. Técnica de aplicación del dispositivo
3. Valoración de la respuesta del paciente
incluyendo cambios en los signos vitales

Frecuencia

1. *Según la necesidad*
2. *El cambio de un dispositivo a otro depende de los cambios en las condiciones del paciente o la habilidad para el uso de un dispositivo específico*

Frecuencia

En las salas de emergencia o cuidados críticos los parámetros que se requieren para la aerosolterapia continua con soluciones hipo o isotónicas, necesitan monitorización estricta.

Control de Infecciones

- 1. Precauciones Universales: protección de fluidos corporales*
- 2. Los nebulizadores deben ser utilizados con un solo paciente (o ser sometidos a altos niveles de desinfección)*
- 3. Estudios recomiendan que deben ser cambiados o sometidos a altos niveles de desinfección cada 24 horas*

Control de Infecciones

Medicación:

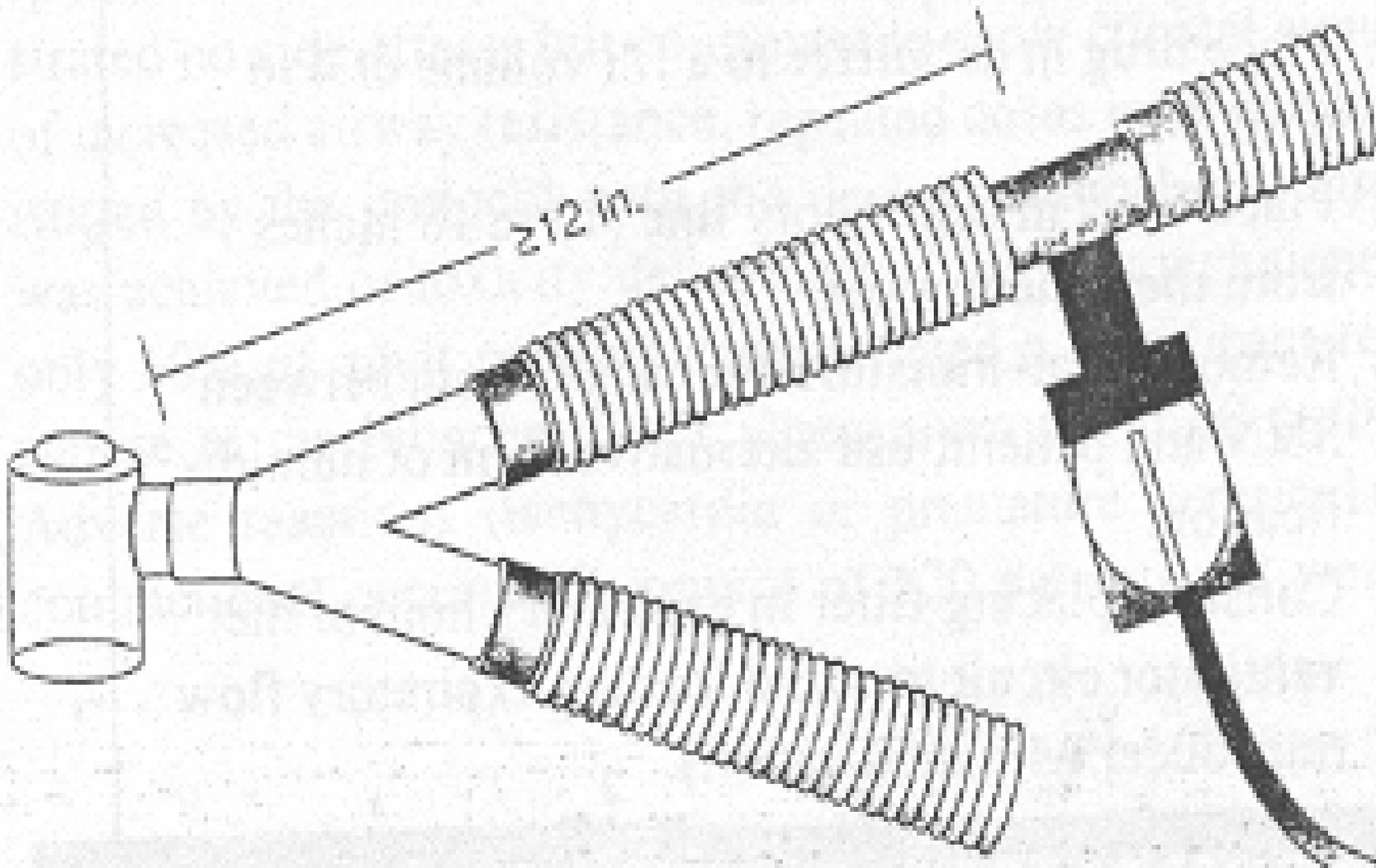
- 1. Medicaciones deben ser manipuladas de forma aséptica***
- 2. Medicaciones de fuentes multidosis en cuidados intensivos deben ser manipulados en forma aséptica y descartadas luego de 24 horas a menos que el fabricante recomiende su almacenamiento por más de 24 horas***

Control de Infecciones.

- 1. Los accesorios para MDI son para uso de un solo paciente.*
- 2. No hay evidencia documentada de contaminación por MDI.*

Nebulizadores En Ventilación Mecánica

1. El reservorio del nebulizador debe colocarse en la línea inspiratoria del circuito o a una pieza en “T” a no más de 30 cm de la pieza en “y” (si no se deposita en el circuito).
2. La humidificación debe cesar unos minutos antes y durante la nebulización.



Nebulizadores En Ventilación Mecánica

- El depósito pulmonar del aerosol se estima en 1.2 a 3 % en adultos.
- Con Inhaladores de Dosis Medida hay resultados mayores que varían de 6-11%
- En éste tipo de nebulizador, la liberación incrementa si la nebulización es disparada por el paciente, si se interrumpe la humidificación y si se coloca el espaciador en la línea inspiratoria

- Por otro lado se ha descrito que para sobrepasar la vía aérea artificial, las partículas deben tener 1-2 micras .

Vía aérea artificial:

Es considerada el mayor impedimento para la llegada del aerosol al tracto respiratorio inferior. Actúa como el sitio primario de impactación del aerosol removiendo una gran parte del mismo en función de la longitud y los ángulos del circuito. Incluye: Pieza en Y, Codo del conector, Tubos corrugados.

- *Cuando el MDI se coloca directamente al tubo orotraqueal, el 90% de la droga se deposita en el tubo y en el adaptador.*
- *Esta cantidad se reduce al mínimo cuando se coloca un espaciador a una importante distancia de la Y.*
- *Por otro lado, una alta proporción del aerosol se pierde en el tubo cuando se aplica en un circuito de ventilador con humidificador.*

Humidificador pasivo:

En el caso de un micronebulizador, la nebulización puede resultar en oclusión del humidificador.

Por ello se debe considerar removerlo durante la nebulización.

- Modo ventilatorio: Las respiraciones espontáneas permiten mayor depósito de aerosol al pulmón.
- Frecuencia respiratoria: Altera el depósito de aerosoles al variar el flujo y el tiempo inspiratorio.
- Tiempo Inspiratorio: La prolongación de este tiempo aumenta el aporte de aerosol.

- Forma de la onda de flujo Inspiratorio:

La activación de un nebulizador es diferente de un fabricante a otro. En algunos casos, solo respiraciones mandatorias permiten el inicio del nebulizador. En otros, cada respiración dispara el flujo del nebulizador.

- Forma de la onda de flujo Inspiratorio:

Por otro lado, el flujo continuo de un nebulizador, aportado por un flujometro externo, puede dificultar el disparo del ventilador y el monitoreo de volumen. Este flujo adicional pasa por el transductor espiratorio haciendo que el ventilador sobreestime el volumen corriente actual.

Factores relacionados con el paciente:

- *Severidad de la obstrucción.*
- *Mecanismo de obstrucción: Moco, broncoespasmo, mecánica.*
- *Presencia de hiperinflación dinámica.*
- *Asincronía paciente/ventilador.*

Incrementar El Depósito De Aerosol En Pacientes En Ventilador

- 1. Bajos Flujos Inspiratorios: Usando flujos desacelerantes en vez de onda cuadrada.*
- 2. Volúmenes corrientes > 500cc.*
- 3. Incremento de la fase inspiratoria.*
- 4. Inspiración espontánea a través del circuito es mejor que los modos asistidos, controlados o que la presión soporte.*

- *Incrementar la dosis de broncodilatador para reducir la pérdida por la humidificación. La humidificación reduce el depósito de aerosol hasta en un 40%.*
- *Colocar el nebulizador a 25-30cm del tubo endotraqueal. Igualmente, se sugiere retirar las narices artificiales cuando se estén empleando.*
- *Coordinar la generación de aerosol con el disparo del ventilador, cuando se inicie el flujo inspiratorio de gas.*

Nebulizar Durante Ventilación Mecánica

- 1. Colocar la droga y el diluyente en nebulizador: 4 a 6cc.*
- 2. Colocar el nebulizador aproximadamente a 25 a 35cm del paciente (el circuito actúa como espaciador).*
- 3. Flujo de gas del nebulizador a 6-8 L/min, en forma continua o intermitente.*
- 4. Ajustar el Volumen Corriente a 500 ; Flujo Inspiratorio para lograr $T_i/T_{tot} > 0.3$.*
- 5. Si se usa un nebulizador externo, ajustar el volumen minuto.*

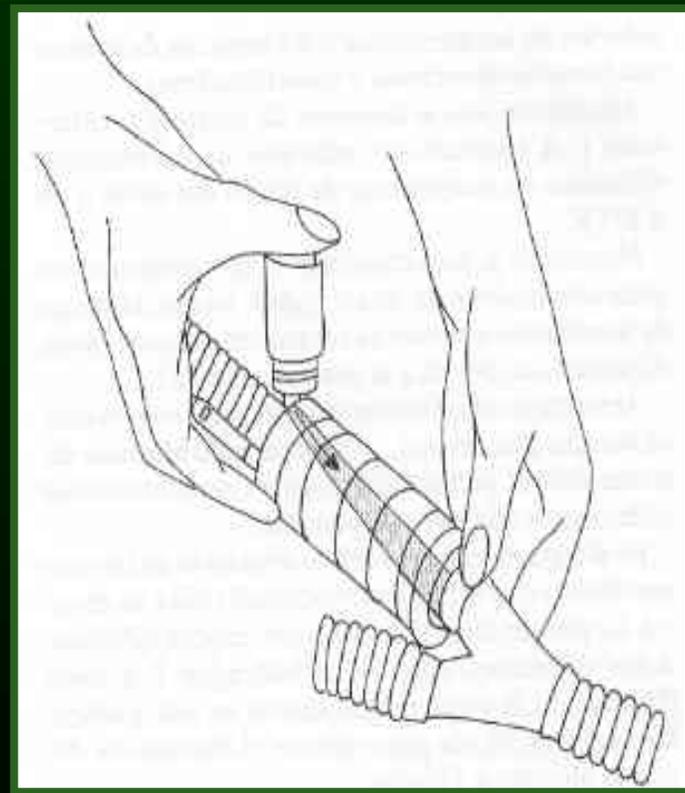
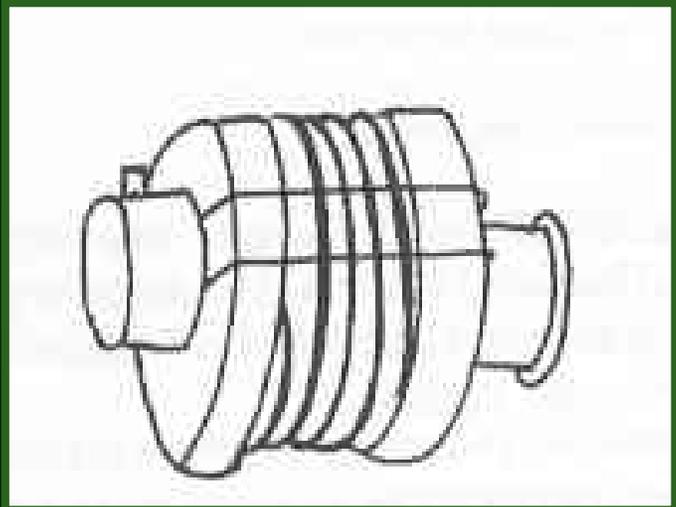
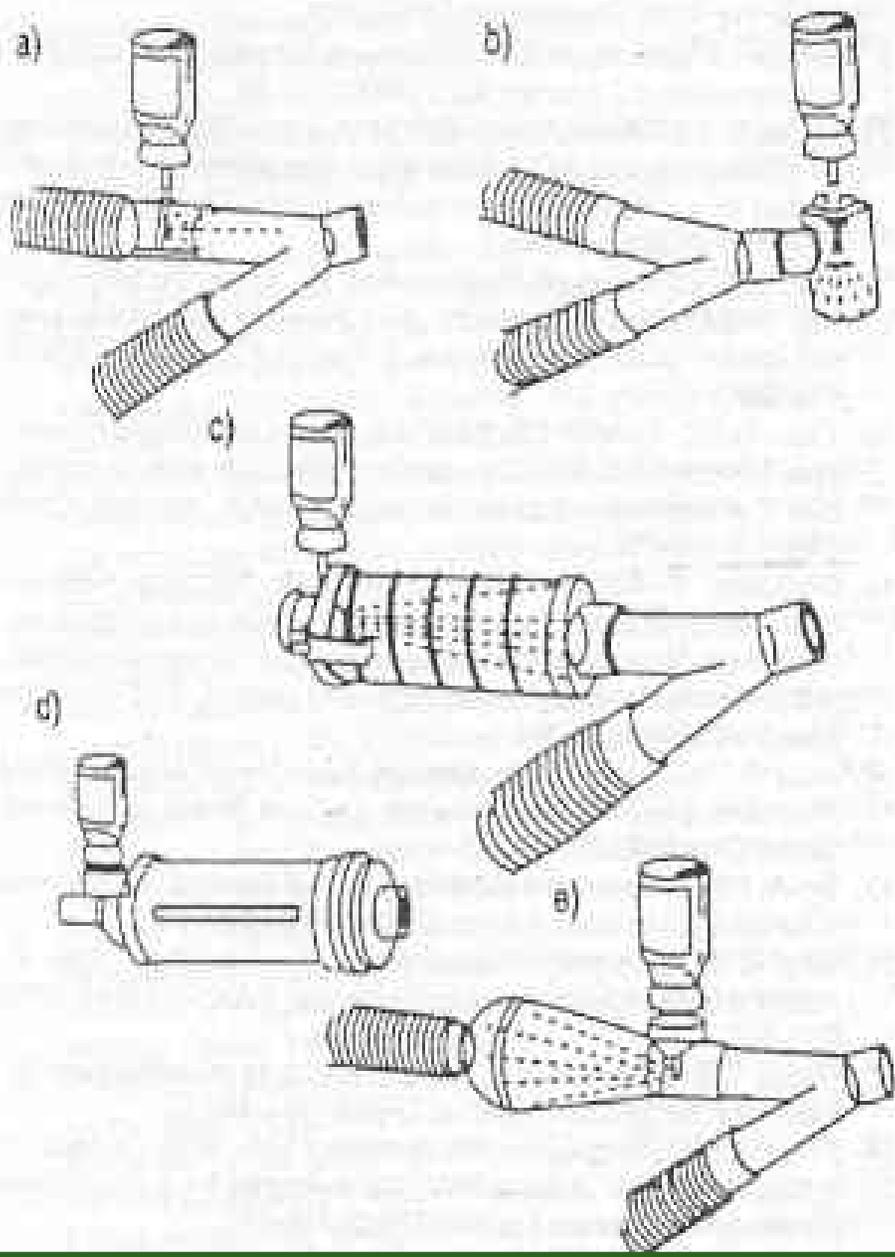
6. *Retirar el humidificador pasivo*
7. *Evaluar la función del nebulizador durante el tratamiento.*
8. *Remover el nebulizador del circuito cuando la medicación se acabe.*
9. *Restituir los parámetros ventilatorios previos.*
10. *Monitorizar los efectos de la aerosolterapia.*

MDI Durante Ventilación Mecánica

- 1. Elegir un apropiado espaciador.*
- 2. Ajustar VC > 500cc; Flujo Inspiratorio para lograr un $Ti/Ttol > 0.3$*
- 3. Garantizar que la inspiración del ventilador esté sincronizada con el esfuerzo inspiratorio del paciente.*
- 4. Calienta, mover y frotar el MDI vigorosamente.*
- 5. Retirar el humidificador pasivo.*

6. Insertar el MDI en la aerocámara localizada en el asa inspiratoria proximal a la Y.
7. Disparar el MDI sincrónicamente con la aparición de la inspiración del ventilador.
8. Permitir una exhalación pasiva.
9. Repetir todo el proceso a intervalos de 30-60 segundos hasta lograr la dosis deseada**

**Un promedio de 7 puff se convierte en un tiempo de tratamiento de 2-3 minutos.



Peligros/Complicaciones

- 1. Sibilancias o broncoespasmo.*
- 2. Sobrehidratación.*
- 3. Efectos secundarios de los medicamentos*
- 4. Retención de secreciones*
- 5. Contaminación - Infección.*
- 6. Reconcentración de droga*
- 7. Discomfort del paciente.*

Peligros/Complicaciones

8. *Exposición del personal a gotitas de aerosol con mycobacteria tuberculosa u otro contagio por vía aérea producido como consecuencia de la tos, especialmente durante la inducción de esputo.*

Limitaciones del Método

- 1. La eficacia del uso de la aerosolterapia intermitente o continua de soluciones iso o hipotónicas como mucoevacuantes no ha sido establecida. No es un sustituto de la hidratación sistémica.*

Limitaciones del Método

- 2. Las propiedades físicas del moco son afectadas minimamente por la adición de agua aerosolizada*

Limitaciones del Método

3. Soluciones iso o hipotónicas para humidificación cuando hay una vía aérea artificial no es eficiente o efectivo como un humidificador termostataado o un adecuado HME debido a las dificultades en mantener la temperatura en la vía aérea del paciente a que produce irritación de la vía aérea y riesgo de infección



Unidad de Bioingeniería