

## VENTILACION DE ALTA FRECUENCIA

\*MACIEJ F. BABINSKI

## RESUMEN

La ventilación mecánica ha sido de gran utilidad para mantener con vida a muchos pacientes incapaces de respirar autónomamente. Los principios físicos y fisiológicos en los que se basa esta metodología, recientemente han sido revolucionados, con la introducción de una técnica para ventilación en la cual se emplean flujos bajos y frecuencias respiratorias altas. Inicialmente fue empleada en animales de experimentación y se empieza a utilizar en seres humanos bajo anestesia general, para endoscopías del aparato respiratorio tanto en adultos como en niños. Algunos autores la han empleado en toracotomías y cirugía de abdomen. El presente artículo revisa la bibliografía existente sobre este tema.

**Palabras clave:** Ventilación mecánica: de alta frecuencia con presión positiva, ventilación de alta frecuencia, oscilación de alta frecuencia.

## SUMMARY

Mechanical ventilation has been used to support the life of many patients unable to respire by itselfs. A recently introduced method of ventilation utilizing low tidal volumes and high respiratory rates has changed the basic concepts of respiratory physiology.

This technique began with laboratory experimental and now in humans, for endoscopies procedures under general anaesthesia and for abdominal and thoracic surgery. This paper will provide an historical account of the development of ventilation at high respiratory rates.

**Key words:** Mechanical ventilation: high frequency positive pressure ventilation, high frequency jet ventilation, high frequency oscillation.

## INTRODUCCION

Un método de reciente adquisición en la ventilación, utilizando volúmenes corrientes bajos y frecuencias respiratorias altas, ha cambiado los conceptos básicos de fisiología respiratoria. El desarrollo y aplicación de ventilación de alta frecuencia es el resultado de los trabajos experimentales y clínicos de los últimos 13 años. La idea sin embargo, no es nueva, fue publicada en 1915 por Henderson, quien estableció que puede llevarse a cabo un adecuado intercambio gaseoso con volúmenes corrientes tan bajos como el espacio muerto anatómico. El presente artículo es una recopilación histórica del desarrollo de la ventilación con frecuencias respiratorias altas, más mi experiencia personal sobre este tema.

Actualmente hay muchos términos y definiciones utilizadas para ventilación de alta frecuencia que pueden prestarse a confusión. Se ha intentado poner en claro estos términos y relacionarlos con la frecuencia de respiración. La ventilación de alta frecuencia con presión positiva, se refiere a frecuencias respiratorias entre 60 y 110/min. (1-1.8 Hz); ventilación jet de alta frecuencia se refiere a frecuencias entre 110-400/min. (1.8 - 6.7 Hz) y la oscilación de alta frecuencia se refiere a frecuencias entre 400 a 2,400/min. (6.7-40 Hz).

El término ventilación de alta frecuencia se utiliza genéricamente para referirse a cualquiera de estas tres modalidades.

Otro método para clasificar la ventilación de alta

\*Associate Professor. Department of Anesthesiology. The University of Texas. Health Science Center at San Antonio.

Trabajo recibido: 10 de junio de 1984. Aceptado: 10 de octubre de 1984.

Sobretiros: Maciej F. Babinski, M.D. 7703 FLoyd Curl Drive.

San Antonio Texas 78284. U.S.A.

frecuencia es el que toma en cuenta la mecánica funcional de los ventiladores empleados: En la ventilación de alta frecuencia con presión positiva, la ventilación se efectúa con gas fresco. En la ventilación jet de alta frecuencia, el gas fresco en forma de "chorro" es aplicado a partir de una fuente de alta presión, e introducido a vías aéreas arrastrando las capas vecinas de aire, el cual constituye un segundo gas. Durante la oscilación de alta frecuencia, el gas en las vías aéreas oscila hacia atrás y adelante en forma sinusoidal, con el flujo de gas fresco localizado entre el oscilador y el paciente. Esta clasificación es un poco arbitraria y no prevee cambios en la mecánica funcional del ventilador.

Cuando la frecuencia respiratoria utilizada en un método de ventilación de alta frecuencia, se acerca a la frecuencia de otro método, el mecanismo de intercambio gaseoso (mecánica funcional), también se asemeja.

Durante la ventilación con presión positiva intermitente, los pulmones son insuflados intermitentemente con frecuencias entre 6 a 20/min. y grandes volúmenes corrientes. El intercambio de gas, ocurre por la convección y difusión producidas por el movimiento y volumen de los gases inspiratorios. Conforme las frecuencias aumentan en la ventilación de presión positiva intermitente hacia la oscilación de alta frecuencia a través de otras formas de ventilación de alta frecuencia, la ventilación llega a tener menos función de convección y más de difusión.

En el presente, el equipo utilizado para ventiladores de alta frecuencia, varía respecto a los diferentes modos de ventilación utilizados y está por lo general pobemente descrito. La mayoría de los ventiladores disponibles en Estados Unidos, son prototipo y no hay estandarización de equipo. Todos los ventiladores que dan frecuencias respiratorias por arriba de 150/min. todavía no están apropiados para uso clínico. El desarrollo tecnológico, sin embargo continúa, ya que los estudios experimentales y clínicos han mostrado utilidad en la ventilación de alta frecuencia en la práctica médica, los proyectos de estandarización y equipo seguro deberán tenerse disponibles en un futuro cercano.

#### VENTILACION DE ALTA FRECUENCIA CON PRESION POSITIVA<sup>5,6</sup>

La ventilación de alta frecuencia fue originalmente introducida por Oberg y Sjostrand en 1967,<sup>1</sup> para facilitar la experimentación en animales en el estudio del reflejo del seno carotídeo, requiriéndose ventilación mínima que no interfiriera con la presión sanguínea, utilizando frecuencias entre 60-110/min. Se encontró que las variaciones en la presión sanguínea, debidos al sincronismo del ventilador, podían ser totalmente abolidas. En los primeros trabajos se utilizó un tubo traqueal con catéter de insuflación que se insertó en su extremo proximal con un ajuste para la resistencia inspiratoria y una válvula de seguridad. En los estudios en animales Sjostrand y col.<sup>1,2</sup>

descubrieron que la insuflación endotraqueal a esas frecuencias y con un tiempo inspiratorio muy corto de 0.1 seg. proporcionaba un buen intercambio de gases junto con presiones intratraqueales y transpulmonares bajas sin ninguna fluctuación en la presión sanguínea que la que ocurre con presión positiva intermitente. Utilizando una técnica radioespirométrica ( $Xe^{133}$ ), encontraron que la distribución de gas intrapulmonar con ventilación de alta frecuencia con presión positiva, era muy similar a la que se obtenía con ventilación espontánea y la distensibilidad pulmonar no cambió durante nueve horas de ventilación. Tampoco hubo diferencias en el gasto cardíaco entre la ventilación espontánea, la ventilación con presión positiva intermitente o la ventilación de alta frecuencia con presión positiva. Se estudió la diuresis como una medida indirecta de producción de hormona antidiurética, encontrando que la diuresis era mayor durante la ventilación de alta frecuencia con presión positiva, que con presión positiva intermitente. Se concluyó que la ventilación de alta frecuencia con presión positiva estaba asociada con menor stress. Estudios posteriores de estos mismos autores, llevados a cabo en gatos, demostraron que se podía proporcionar una adecuada ventilación con alta frecuencia y presión positiva con sólo ligeros cambios en las presiones intratorácicas y transpulmonares. Basándose en los primeros estudios experimentales de Sjostrand y col., se concluyó que la ventilación de alta frecuencia puede producir adecuada ventilación con presiones bajas de las vías aéreas y transpulmonares y mínimos efectos en el sistema cardiovascular.

Este mismo grupo ensayó su nueva técnica de ventilación en 15 pacientes sanos que fueron sometidos a cirugía abdominal bajo anestesia general. Utilizando un pequeño catéter de insuflación y frecuencias respiratorias de 60-110/min, con tiempo de insuflación de 15-30% del ciclo ventilatorio, se obtuvieron ventilación y oxigenación adecuadas. Durante la ventilación de alta frecuencia con presión positiva el volumen corriente inspiratorio fue disminuido hasta ser equivalente al espacio muerto anatómico. Hubo buenos resultados clínicos preliminares con ventilación de alta frecuencia con presión positiva.

Sjostrand y col. desarrollaron una válvula neumática que sustituyó a la técnica de insuflación por catéter. La válvula neumática es un simple dispositivo en T sin ninguna parte móvil, y su diseño utiliza el efecto de Coanda o de pared. La válvula es conectada al tubo traqueal convencional. El gas insuflado entra a través de la válvula neumática por un ramal lateral y es dirigida hacia abajo a través de las vías aéreas. La espiración ocurre en la dirección opuesta. Se diseñó un ventilador especial para ser utilizado con esta válvula neumática, con un muy bajo volumen de compresión y baja distensibilidad interna, produciendo un flujo inspiratorio desacelerado, y teniendo el volumen como factor primario y la presión como factor secundario.

Este ventilador opera en la frecuencia prefijada de 60/min. y una relación constante inspiratoria: espiratoria de 1:3.5. Estos parámetros mostraron ser óptimos para ventilación de pacientes durante endoscopías. Adicionalmente este ventilador fue equipado con un sensor de presión que informa cuando la presión de las vías aéreas excede los valores prefijados. Sjostrand y su grupo utilizaron ventilación de alta frecuencia con presión positiva, en 800 broncoscopías y 500 laringoscopías, aplicando bajas presiones positivas en vías aéreas y pequeños volúmenes corrientes obteniendo buena ventilación y oxigenación, con mínimo movimiento de cuerdas vocales durante los procedimientos de laringoscopía. Se diseñó un nomograma especial de ventilación para broncoscopías con ventilación de alta frecuencia con presión positiva, utilizando los broncoscopios de Storz y para laringoscopías utilizando diferentes tipos de catéteres de insuflación. Para los procedimientos endoscópicos no se utilizó la válvula neumática, pero el ventilador se conectó directamente al broncoscopio o al catéter de insuflación colocado nasotraquealmente. No hubo complicaciones reportadas por Sjostrand y col. usando este método durante las endoscopías.

La ventilación de alta frecuencia con presión positiva también ha sido utilizada por Bland,<sup>7</sup> en niños con falla respiratoria debida a membrana hialina. Venticuatro niños prematuros fueron ventilados con frecuencias respiratorias entre 60-110/min. Con ventilación de alta frecuencia con presión positiva se obtuvieron menores picos de presión de vías aéreas y la presión positiva final espiratoria fue mucho más baja que con la ventilación convencional. Los gases arteriales en sangre se mantuvieron cercanos a los rangos normales y 22 de 24 niños sobrevivieron con pocas complicaciones.

La ventilación de alta frecuencia con presión positiva también ha sido utilizada durante toracotomía y resección transtorácica de estenosis traqueal.<sup>9</sup> Una ventaja en estos casos es un campo operatorio quieto por baja presión en las vías aéreas y bajos volúmenes corrientes.

El efecto de la ventilación de alta frecuencia en la presión intracraneana,<sup>8, 10</sup> ha sido evaluada experimentalmente en gatos y perros. Las fluctuaciones del sincronismo respiratorio en la presión intracraneal, observadas con las técnicas convencionales de ventilación, puede ser totalmente abolidas, con la ventilación de alta frecuencia. Los valores medios de la presión intracraneal permanecieron sin cambios. También se ha demostrado que la ventilación de alta frecuencia con presión positiva, reduce el movimiento cerebral. Los estudios de flujo sanguíneo cerebral en animales de experimentación han demostrado que no hay cambios en el flujo sanguíneo cerebral, cuando se cambia la ventilación convencional, por ventilación de alta frecuencia. Las conclusiones provenientes de estos experimentos son que la ventilación de alta frecuencia puede tener alguna aplicación práctica en la ven-

tilación durante neurocirugía sobre todo en técnicas de microcirugía; la quietud del campo operatorio es una ventaja para el neurocirujano.

La aplicación de alta frecuencia con presión positiva para endoscopías, ha sido en circuito abierto, el ramal de exhalación está continuamente abierto a la atmósfera y el volumen corriente total no puede ser medido. También se ha aplicado una ventilación de relativa alta frecuencia con un ramal espiratorio sincronizada con el ventilador de alta frecuencia, colocado en el techo de la válvula neumática.

Otro desarrollo reciente fue la introducción del tubo de doble lumen (Hi-Lo-Jet), en donde se usa un radio inspiratorio: espiratorio de 1:10 y puede ser sustituido por la válvula neumática. Así este sistema llamado ventilación de alta frecuencia con presión positiva y volumen controlado, ha sido aplicado clínicamente en pacientes que son sometidos a cirugía de abdomen alto. La válvula espiratoria, se coloca al final del ramal exhalatorio del tubo de doble lumen y la insuflación ocurre a través del lumen inspiratorio. El volumen minuto y el volumen corriente pueden ser controlados de una manera precisa y se encontró que es del orden de 7-9 lts/min., con un promedio de volumen corriente de 1.5 a 2 ml/kg de peso corporal. La oxigenación y ventilación en estos pacientes fue la misma que con presión positiva intermitente pero se obtuvieron menos picos y menor presión promedio en vías aéreas. La aplicación de esta técnica ventilatoria, proporciona un campo operatorio quieto, que es de particular importancia durante la canulación de vías biliares. La aplicación potencial del volumen controlado con ventilación de alta frecuencia con presión positiva puede ser utilizada en casos de cirugía vascular intraabdominal, trasplante de hígado y gastrectomía. Esta técnica de ventilación no interfiere con la ventilación espontánea. Durante la emersión anestésica, los pacientes pueden respirar espontáneamente mientras son ventilados, previniendo la hipoxia. Dado que la emersión anestésica en este tipo de ventilación es más tranquila que la convencional, por presentar mayor tolerancia del tubo endotraqueal, puede tener una aplicación práctica en pacientes neuroquirúrgicos.

#### VENTILACION JET DE ALTA FRECUENCIA

Esta modalidad de ventilación de alta frecuencia fue iniciada por Klain<sup>11</sup> y Smith.<sup>15</sup> Los primeros experimentos fueron realizados en perros, utilizando la técnica transtraqueal que se lleva a cabo con frecuencias entre 20-200/min. Se colocó un catéter intravascular No. 14 percutáneamente entre el primero y segundo anillo traqueal y se concentró a un ventilador Jet de flujo controlado. Esta técnica proporciona oxigenación y ventilación adecuadas, sin repercusión hemodinámica. El índice cardíaco fue significativamente más alto a las frecuencias respiratorias mayores de 160/min. En otros estudios utili-

zando la misma técnica transtraqueal y el ventilador de flujo controlado los autores reportaron frecuencias respiratorias en los perros, superiores a los 600/min (10 Hz). El intercambio normal de gases, ocurrió a una frecuencia de 400 min. con bajo volumen corriente y bajas presiones en las vías aéreas. No se presentaron efectos circulatorios adversos a frecuencias superiores de 400/min. A frecuencias de 500 y 600/min., la contractilidad miocárdica no fue afectada, pero hubo disminución de la frecuencia cardíaca y aumento en la resistencia periférica, produciendo una falla del gasto cardíaco. Sin embargo no hubo interferencia con la reanudación de la ventilación espontánea durante el periodo de destete.

Subsecuentemente la ventilación jet de alta frecuencia transtraqueal por un periodo prolongado de 24 horas se estudió en perros anestesiados. Una frecuencia respiratoria de 100/min. con una  $\text{FiO}_2$  de 0.4 y una relación inspiración-espiración de 1:2, fue utilizada. Después de 24 horas los animales se recuperaron sin ningún cambio significativo en los parámetros cardiovasculares y sin evidencia de atelectasias. Se concluye que esta técnica de ventilación puede utilizarse hasta 24 horas sin presentar efectos cardiopulmonares. Se realizaron otros experimentos por un periodo 4 días, comparando la ventilación jet de alta frecuencia con la ventilación con presión positiva intermitente. El tiempo promedio de vida fue mayor con la ventilación jet de alta frecuencia que con la ventilación con presión positiva intermitente y los perros con esta última ventilación mostraron un decremento en la  $\text{PaO}_2$  más temprano.

Otros estudios en perros, evaluaron la ventilación jet de alta frecuencia transtraqueal antes y después de una esternotomía media; la presión positiva intermitente convencional también fue evaluada antes y después de dos frecuencias altas de 100 y 300/min., con el tórax cerrado y después de la toracotomía. El intercambio gaseoso, el trabajo cardíaco, las presiones pulmonares y arterial sistémica, la resistencia vascular y el índice cardíaco, permanecieron dentro de límites clínicos aceptables.

La ventilación con tórax abierto fue posible, pero se asoció a una discreta disminución en la  $\text{PaO}_2$  y una amplia diferencia alveolo-arterial de la  $\text{PO}_2$ . Sin embargo la  $\text{PaO}_2$  con cualquiera de las dos modalidades ventilatorias mencionadas en el párrafo anterior, influyendo ambas sobre el volumen pulmonar y/o la distensibilidad de la pared torácica. La ventilación jet de alta frecuencia transtraqueal ha sido evaluada en perros por Klain y col.,<sup>12</sup> mostrando que se puede prevenir la aspiración pulmonar y es útil durante la resuscitación cardiopulmonar.

Antes de la técnica transtraqueal, en la ventilación jet de alta frecuencia, se utilizaba un catéter de insuflación traqueal conectado directamente al ventilador jet, y la inspiración se efectuaba alrededor del tubo traqueal. La otra modificación es la adaptación de una boquilla jet que es colocada en el tubo traqueal y conectado a un ven-

tilador jet. Las primeras aplicaciones clínicas de la ventilación jet de alta frecuencia, utilizaron un adaptador giratorio para broncoscopio de fibra óptica, atravesado por una cánula y conectado al ventilador. En esta técnica una cantidad considerable de gas adicional entraba a través del ramal lateral, dificultando el ajuste correcto del volumen corriente y de la  $\text{FiO}_2$ . El gas fresco debe ser humidificado y tener la misma  $\text{FiO}_2$  que el gas inspiratorio. También el tubo Hi-Lo-Jet puede ser utilizado en la ventilación jet de alta frecuencia y su ramal inspiratorio conectado directamente al ventilador jet. Esto es una ventaja considerable si el ramal inspiratorio se abre dentro del tubo traqueal aproximadamente 6-7 cm de su extremidad, así el chorro de gas presurizado no está en contacto directo con la mucosa traqueal.

Una aplicación de los tubos de doble lumen (Hi-Lo-Jet), ha sido evaluada en estudios experimentales en animales con ventilación jet de alta frecuencia. Estos tubos tienen un ramal para la inspiración y otro para la espiración, un pequeño brazo lateral para monitorizar la presión en las vías aéreas y una salida para la insuflación del manguito traqueal. La variación del lumen inspiratorio-espíratorio de los tubos traqueales fue probado utilizando una frecuencia respiratoria de 300/min. Un tubo traqueal con una relación inspiratoria-espíratoria de 1:10 fue asociada con una menor presión en las vías aéreas y ausencia de efectos adversos en la circulación.

La aplicación de estos tubos traqueales disminuyó de manera importante el riesgo de aspiración, dando seguridad para la succión del broncoscopio de fibra de vidrio y el paciente podía seguir ventilándose. Otra aplicación de estos tubos es en el destete del soporte ventilatorio, donde un ramal inspiratorio largo permite la ventilación espontánea.

La primera aplicación clínica de la ventilación jet de alta frecuencia fue durante laringoscopia transoperatoria, utilizando un catéter de insuflación tráqueal. Un ventilador jet con flujo controlado, y un catéter con diámetro interno de 3.5 mm fueron utilizados en 87 pacientes a los que se practicó laringoscopia bajo anestesia general. Las frecuencias ventilatorias fueron de 60-100/min. La ventilación y oxigenación fueron adecuadas en todos los pacientes, de éstos, doce pacientes tenían enfermedad obstructiva crónica pulmonar y seis tenían marcada obesidad. Todos los pacientes, excepto dos de los que tenían enfermedad obstructiva crónica pulmonar estuvieron adecuadamente ventilados y oxigenados. Al final de la anestesia, la ventilación jet de alta frecuencia fue bien tolerada, cuando los pacientes despertaron y se recuperaron de relajación muscular residual.

La ventilación se continuó hasta que los pacientes estuvieron totalmente recuperados del efecto de relajantes musculares y todos los pacientes pudieron respirar mientras eran ventilados. La observación de que la ventilación espontánea no fue abolida durante la ventilación jet de

alta frecuencia, introdujo la idea de que esa modalidad de ventilación podía ser una alternativa en la ventilación mandatoria intermitente (IMV). La ventilación jet de alta frecuencia también ha sido utilizada durante cirugía de tórax. Smith y col.<sup>15</sup> presentaron tres casos de lobectomía pulmonar utilizando ventilación jet de alta frecuencia, que fue de 60-150/min., manteniendo adecuado intercambio gaseoso con el tórax abierto. El mínimo movimiento de los pulmones fue muy bueno para condiciones quirúrgicas.

Carlon y col. describen su experiencia clínica con ventilación jet de alta frecuencia en 17 pacientes que no pudieron ser mantenidos con el soporte respiratorio mecánico convencional. Las frecuencias de 100/min. fueron utilizadas usando una relación inspiratoria-espíratoria de 1:2. Ocho pacientes sobrevivieron. El mismo grupo de investigadores reportó el exitoso uso de ventilación jet de alta frecuencia en paciente con fistula broncopleural. Bajas presiones en vías aéreas y alta ventilación por minuto mantuvo un adecuado intercambio de gases y promovió el cierre espontáneo de la fistula. Otros autores<sup>16, 17</sup> usaron independientemente ventilación convencional y ventilación jet en casos similares. Esta ventilación, también ha sido utilizada para soporte ventilatorio prolongado en cuidados intensivos por Carlon y col. Fue utilizada en 95 pacientes por un total de 168 días. Treinta y ocho de estos pacientes sobrevivieron, comparados con 30 de los 90 de ventilación convencional.

La gran mayoría de estos pacientes tenían enfermedades malignas sistémicas, la tasa de mortalidad fue afectada por la naturaleza del padecimiento.

Una aplicación clínica interesante de la ventilación jet de alta frecuencia fue descrita por Miller y col.<sup>18</sup> Ellos presentaron pacientes programados para cirugía máxilo-facial y tenían problemas para el manejo de vías aéreas por trauma facial, a intubación nasotraqueal estaba contraindicada. Un pequeño catéter de insuflación se utilizó para intubación orotraqueal y la ventilación jet mantuvo ventilación y oxigenación adecuadas, a la vez buenas condiciones para cirugía oral. Se concluyó que esta técnica asegura vía aérea permeable con mínimo desconfort del paciente y trauma sobre vías nasales y laringeas, previniendo aspiración y con tranquila emersión anestésica.

Un peligro potencial de aspiración existe cuando la ventilación jet de alta frecuencia es administrada sin manguito en el tubo traqueal. Esta complicación puede teóricamente ocurrir porque las vías aéreas superiores no están mecánicamente cerradas de la cavidad oral. Este problema fue investigado por Klain y col.<sup>11, 12</sup> Todos los experimentos fueron llevados a cabo en perros utilizando ventilación jet transtraqueal y broncoscopia retrógrada, para visualizar las cuerdas vocales desde abajo. Una mezcla de saliva, sol. salina y verde de indocianina, fue introducida dentro de la boca hasta formar una colección. Se hicieron observaciones endoscópicas que mostraron que

no había evidencia de aspiración con la ventilación jet de alta frecuencia. Usando diferentes frecuencias y varias relaciones en el tiempo inspiratorio, -espiratorio, los autores concluyeron que la ventilación jet puede prevenir el fluido que entra de la laringe desde arriba. Esto puede ocurrir si las frecuencias son mayores de 60/min. y la duración de la espiración de 66% o menos (de ciclo respiratorio) y se relacionó con el flujo de gas continuo a través de la laringe. Otros mecanismos involucrados son la menor presión positiva continua de las vías aéreas durante la ventilación jet de alta frecuencia. Otras técnicas de ventilación de alta frecuencia emplean tubos traqueales con mango y el riesgo de aspiración utilizando este modo de ventilación no es mayor que con la presión positiva intermitente.

#### VENTILACION OSCILATORIA DE ALTA FRECUENCIA<sup>5</sup>

Este modo de ventilación de alta frecuencia fue iniciado por Lucken-Heimer, quien mostró que la presión transtraqueal oscilatoria permitía el intercambio gaseoso en animales de experimentación (perros). Un vibrador electromagnético que sujetó al tubo traqueal, y las oscilaciones de frecuencia entre 23-40 Hz, se aplicaron a las vías aéreas. En perros apneicos relajados, se observaron tensiones normales de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>. Esta técnica ventilatoria ha sido nombrada respiración por difusión. Shannon y col. investigaron los límites de la ventilación de alta frecuencia, ventilando conejos con un microprocesor, regulando el tiempo ciclado-presión. Utilizaron las frecuencias respiratorias de 1-6 Hz y se concluyó que el intercambio pulmonar normal no requería volúmenes corrientes más altos que el espacio muerto y las frecuencias aproximadas de 2 Hz, podía intercambiar la mezcla de gases por convección. Otros investigadores usaron un ventilador tipo pistón unido al tubo traqueal Amcath, encontrando que la óptima frecuencia para la eliminación de CO<sub>2</sub>, era de 15 Hz (900/min.) No hubo diferencias en el promedio de gasto cardiaco entre la ventilación oscilatoria de alta frecuencia y la ventilación mecánica convencional.

Mayores frecuencias también han sido estudiadas con ventilación oscilatoria de alta frecuencia entre 15.7 y 29.5 Hz. Con estas frecuencias las tensiones de gases arteriales en sangre y el aclaramiento regional pulmonar con Xenon,<sup>13</sup> fueron examinadas. Se observó que el mejor intercambio gaseoso está alrededor de 15 Hz. Los efectos de la ventilación oscilatoria de alta frecuencia en las propiedades mecánicas del pulmón y la pared torácica fueron estudiadas por Gillespie y col. Despues de 9 horas con ventilación oscilatoria con una bomba pistón, con un volumen de 2.5 ml/kg. y frecuencias entre 25-30 Hz, no tuvieron efectos detrimientos en la mecánica respiratoria.

Esta forma poco usual de ventilación de alta frecuencia ha sido también aplicada en doce pacientes usan-

do frecuencias de 900/min. (15 Hz) por tiempo de una hora. Todos estos pacientes fueron mecánicamente ventilados para tratamiento de falla respiratoria que ocurrió después de cirugía mayor vascular. Los volúmenes oscilatorios usados, variaron entre 1.5-3 ml/kg de peso corporal y fueron administrados por una bomba pistón que operaba a frecuencias de 15 Hz. La fracción de derivación disminuyó sin cambio en las tensiones de bióxido de carbono arterial o del gasto cardíaco durante la ventilación mecánica. Se concluyó que la ventilación oscilatoria promete una nueva opción para mantener intercambio gaseoso con mínimo riesgo de desarrollar barotrauma pulmonar. Los problemas relacionados con las aplicaciones clínicas de la ventilación oscilatoria incluyen complicado equipo ventilatorio, el carácter abierto de los sistemas y la relativa gran cantidad de gas utilizado.

#### POSIBLES APLICACIONES DE LA VENTILACION DE ALTA FRECUENCIA EN NEUROCIRUGIA<sup>9, 10, 16, 17</sup>

El uso clínico de ventilación de alta frecuencia ha sido confinado a ventilación de alta frecuencia con presión positiva o ventilación jet de alta frecuencia. Bajas presiones en las vías aéreas y disminución del promedio de las presiones de vías aéreas afectan menos a la presión venosa, que con la presión positiva intermitente. Durante esta última las fluctuaciones del sincronismo del ventilador en presiones intratorácicas se cree que causan momentánea congestión venosa y pueden ser responsables de los cambios de presiones hemodinámicas e intracraneales. En el cráneo cerrado, donde los factores hemodinámicos de volumen y distensibilidad tisular afectan la PIC, las fluctuaciones de presión en el sincronismo ventilador durante la presión positiva intermitente pueden ser sustanciales, particularmente en aquellas terapias donde la presión de vías aéreas superiores debe ser aplicada para mantener adecuada oxigenación. Las rápidas fluctuaciones en la PIC pueden resultar de variaciones momentáneas en el volumen cerebral y pueden ser asociadas con disminución del volumen sanguíneo. Usando ventilación de alta frecuencia con presión positiva en modelos experimentales, Babinski y col.<sup>8, 10</sup> mostraron que las fluctuaciones de sincronismo ventilador en PIC eran disminuidas hasta una presión intracraneal normal. Observaciones recientes investigando el efecto de la ventilación de alta frecuencia con presión positiva en flujo sanguíneo cerebral y PIC en modelo animal con PIC normal y elevada, se mostró que no había cambios en el flujo sanguíneo cerebral con ventilación de alta frecuencia con presión positiva. En estos experimentos también se midieron los flujos renal, pulmonar y cardíaco y se compararon con los flujos observados en presión positiva intermitente. No hubo diferencias significativas en los flujos regionales o globales debidos a la modalidad ventilatoria. Las fluctuaciones del sincronismo-ventilador en PIC observados durante la ventilación con presión positiva intermitente, fueron re-

ducidos durante la ventilación de alta frecuencia a una presión intracraneana normal. Alguna evidencia sugiere que el flujo sanguíneo cerebral disminuye ligeramente cuando aumenta la presión de vías aéreas. Esta disminución en las cantidades de flujo sanguíneo cerebral de 9 a 20% no es estadísticamente significativa arriba del promedio de presión en vías aéreas de 13 cm. de H<sub>2</sub>O. Sin embargo los ventiladores que generan presiones de vías aéreas en exceso de 13 cm de H<sub>2</sub>O, pueden producir marcados cambios en el flujo sanguíneo cerebral. La observación de que el flujo sanguíneo cerebral durante ventilación de alta frecuencia con PIC normal, no cambia, ha sido confirmada por Gioia y col.,<sup>18</sup> utilizando técnicas de micromedición. Toutant y col.,<sup>10</sup> lo confirmaron posteriormente usando Xenon,<sup>133</sup> con técnica de lavado y el flujo sanguíneo cerebral con una PIC normal, utilizando ventilación de alta frecuencia, no cambiaba.

Mientras se observaba una disminución en el flujo sanguíneo cerebral y un aumento en la PIC, no ocurrió una disminución de la fluctuación del sincronismo-ventilador en presión intracraneana durante presión positiva intermitente. La disminución o eliminación de las fluctuaciones sincronismo-ventilador con PIC normal y elevada, por ventilación de alta frecuencia, pareció no mejorar el flujo sanguíneo cerebral. Mientras que estos hallazgos pueden describir el flujo sanguíneo cerebral a niveles de presión intracraneana estudiados en este experimento, mayores presiones intracraneales o en un cerebro donde la capacidad de distensibilidad está severamente reducida, las respuestas pueden ser diferentes en términos de flujo sanguíneo cerebral, con la aplicación de ventilación de alta frecuencia.

Durante la craniotomía, la pulsación cerebral inducida por el ventilador es a menudo observada en pacientes neuroquirúrgicos. Estas excursiones en la superficie del cerebro cuando son magnificadas por el microscopio, pueden presentar dificultades en las técnicas de microcirugía. Todos los trabajos experimentales reportados hasta la fecha, han mostrado que la ventilación de alta frecuencia pueden disminuir los movimientos cerebrales provocados por el sincronismo del ventilador. No sólo el cerebro se encuentra en silencio quirúrgico, sino que otros órganos como el corazón y el riñón. Ya que el flujo sanguíneo cerebral durante la ventilación de alta frecuencia, está dentro del rango encontrado con ventilación con presión positiva intermitente, parece que las condiciones quirúrgicas son satisfactorias durante la neurocirugía y se puede establecer esta modalidad de ventilación mecánica.

En una serie de 74 pacientes sometidos a cirugía de abdomen alto, usando ventilación de alta frecuencia con presión positiva, las condiciones quirúrgicas fueron muy buenas, por la disminución de los movimientos abdominales. En la emersión anestésica hay tolerancia satisfactoria del tubo traqueal y no se presenta tos o rechazo. Esto

es importante en pacientes neuroquirúrgicos donde los procesos de extubación pueden ser traumáticos y con respuestas cardiovasculares similares a aquéllos observados durante la intubación. Un fenómeno de interés adicional específico a la ventilación de alta frecuencia es la inducción de apnea normocárbica. Esto puede ser especialmente importante en paciente con daño cerebral, esfuerzos ventilatorios que tengan asincronismo con el ventilador convencional y que puede producir deletereos incrementos en la PIC y en el trabajo de la respiración.

### CONCLUSIONES

Investigaciones experimentales y trabajos clínicos, han demostrado que el intercambio gaseoso alveolar es posible con frecuencias respiratorias arriba de 2400/min. (40Hz). También ha sido claramente demostrado que no hay efectos adversos cardiopulmonares si la ventilación ocurre con frecuencias entre 60-100/min. Las presiones relativamente bajas de las vías aéreas reducen el riesgo de barotrauma en casos de distress respiratorio del adulto y membrana hialina. Las aplicaciones clínicas de la ventilación de alta frecuencia y la ventilación jet de alta frecuencia ha sido exitosamente demostrada para la laringoscopías, broncoscopías, cirugía torácica y abdominal, cirugía oral con dificultad en el manejo de vías respiratorias, tratamiento de fistula broncopleural y enfermedad de membrana hialina.

Sin embargo muchos problemas relacionados con la ventilación de alta frecuencia todavía no se resuelven. Uno es la ausencia de estandarización del equipo para ventilación de alta frecuencia. Actualmente se emplean dispositivos respiratorios con gases a muy alta presión, frecuentemente alcanzando 50 PSI, creando un peligro

potencial de barotrauma. Los ventiladores de alta frecuencia diseñados en el futuro deben tener sistemas de seguridad de presión para las vías aéreas para prevenir estas complicaciones. Utilizando una tecnología moderna, ahora es posible diseñar un ventilador que sea con presión para calcular los volúmenes corrientes, una relación inspiración-espiración determinada, frecuencia,  $\text{FiO}_2$ , mientras que se puedan monitorizar simultáneamente las fracciones de gases espirados. La adición de anestésicos volátiles en el sistema sería ideal para el manejo transoperatorio.

El otro problema todavía no resuelto es la humidificación. Parece ser de menor importancia cuando la ventilación de alta frecuencia se aplica por un periodo de 2-6 horas. Sin embargo llega a ser importante en neonatos, en unidades de cuidados intensivos y en cirugías prolongadas. En el presente se emplean sistemas ventilatorios de no reinhalación, utilizando gases fríos y secos. La humidificación puede suministrarse por varios métodos, empleando infusión continua de gotas de solución salina en el frente del adaptador o humidificador a la entrada de gases. La otra posibilidad es la humedad pasiva y un intercambiador de calor (nariz artificial), colocado entre el tubo endotraqueal y la válvula neumática.

Con este método los pacientes conservan su propia humedad.

Queda claro que la ventilación de alta frecuencia no reemplaza a la ventilación convencional. Sin embargo es un modo adicional de ventilación efectiva y con futuros avances técnicos, encontrará nuevas aplicaciones clínicas. Quizás una combinación con o sin presión positiva intermitente puede probar ser superior para el soporte respiratorio.

### REFERENCIAS

1. — SJOSTRAND U H: *High-frequency positive-pressure ventilation (HFP-PV): A review*. Crit. Care Med 1980; 8:345-364.
2. — SJOSTRAND U H, ERIKSSON I A: *Hiagh rates and low volumes in mechanical ventilation — not just a matter of ventilatory frequency*. Anesth Analg 1980; 59:567-576.
3. — MALINA J R, NORDSTROM S G, SJOSTRAND U H, WATTWILL L M: *Clinical evaluation of high-frequency positive-pressure ventilation (HFP-PV) in patients scheduled for open-chest surgery*. Anesth Analg 1981; 60:324-330.
4. — BABINSKI M F, SMITH R B: *High frequency positive pressure ventilation for laryngoscopy*. Anesthesiology 1980; 52:178-180.
5. — BUTLER W M, BOHN D J, BRYAN A C, FROESE A B: *Ventilation by high frequency oscillation in humans*. Anesth Analg 1980; 59:577-584.
6. — BABINSKI M F, SMITH R B: *High frequency positive pressure ventilation for abdominal surgery*. Anesth Analg 1984; 63:175-184.
7. — BLAND R D, KIM M H, LIGHT M J, WOODSON J L: *High-frequency mechanical ventilation of low-birthweight infants with respiratory failure from hyaline membrane disease: 92% survival*. Pediatr Res 1977; 11:531.
8. — BABINSKI M F, ALBIN M, SMITH R B: *Effect of high frequency ventilation on ICP*. Crit Care Med 1981; 9:159.
9. — LANGFITT T W, KASSEL N F, WEINSTEIN J D: *Cerebral blood flow with intracranial hypertension*. Neurology 1965; 15:761-773.
10. — TOUTANT S M, TODD M M, DRUMMOND J C, SHAPIRO H M: *Cerebral blood flow during high frequency ventilation in cats*. Crit Care Med 1983; 11:712-715.
11. — KLAIN M, KESZLER H, NORDIN U: *Aspiration: A danger during high frequency ventilation?* Crit Care Med 1983; 9:163.
12. — KLAIN M, KESZLER N, STOOL S: *Transtracheal high frequency jet ventilation prevents aspiration*. Crit Care Med 1983; 11:170.
13. — MILLER J, LOVINO W, FINE J, KLAIN M: *High-frequency jet ventilation in oral and maxillofacial surgery*. J Oral Maxillofac Surg 1982; 50:790-793.
14. — SCHUSTER D P, KLAIN M, SNYDER J V: *Comparison of high frequency jet ventilation to conventional ventilation during severe acute respiratory failure in humans*. Crit Care Med 1982; 10:625-630.
15. — SMITH R B, SJOSTRAND U H: *High frequency ventilation*. Int'l Anesthesiol Clin 1983; 21:1-208.
16. — WATTWILL L M, SJOSTRAND U H, BORG U R: *Comparative studies of IPPV and HFPPV with PEEP in critical care patients. I A Clinical evaluation*. Crit Care Med 1983; 11:30-37.

17. — WATTWILL L M, SJOSTRAND J H, BORG U R, ERIKSSON I A: *Comparative studies of IPPV and HFPPV with PEEP in critical care patients. II Studies on intrapulmonary distribution.* Crit Care Med 1983; 11:98-43.
18. — GIOIA F R, HARRIS A P, TRAYSTUM R J: *Hemodynamic effects of high frequency ventilation.* IN: *Perspectives in high Frequency Ventilation.* Edited by Scheck PA, Sjstrand UH, SMith RB, Boston/The Hauge, Martinus Nijhoff Publishers, 1983, p. 19.