

VENTILACIÓN JET de ALTA FRECUENCIA

“High Frequency Jet Ventilation (271)”

ANESTESIA Tutorial de la semana 271, 8 de octubre de 2012

Dr. Clare Elizabeth Conlon
Hospital de la Universidad Central Manchester, Reino Unido
Correspondencia: clareconlon@doctors.co.uk

(Artículo Traducido por: Dr. Gustavo Lodigiani)

PREGUNTAS

Antes de continuar, trataremos de responder las siguientes preguntas, las respuestas se hallan al final del artículo.

1. **¿Cuándo está indicada la ventilación jet de alta frecuencia (HFJV)?**

2. **¿Qué ventajas tiene esta técnica cuando es utilizada para cirugías de oído-nariz-garganta?**

3. **¿Las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas?:**
 - a. El uso de HFJV incrementa la presión pico de vía aérea (PAWP) y disminuye la presión media (MAWP)
 - b. En la ventilación unipulmonar, la HFJV selectiva del pulmón no dependiente incrementa la PaO₂ comparado con el colapso de este pulmón
 - c. La HFJV reduce el movimiento hepático relacionado con la ventilación de 12 a 2 mm.
 - d. La HFJV como estrategia de ventilación protectora pulmonar
 - e. La HFJV reduce la mortalidad cuando se utiliza en infantes pretérmino con síndrome de distress respiratorio.

4. **Enumerar los mecanismos de intercambio gaseoso en la HFJV**

5. **¿Las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas?:**

- a. El acceso supraglótico provoca un incremento en la presiones de vía aérea menos rápido (el menos rápido)
- b. El monitoreo de la PAWP es una ventaja del acceso subglótico
- c. Es imposible determinar la FiO₂ entregada con acceso subglótico
- d. Nunca debe iniciarse ventilación jet hasta abrir la vía aérea
- e. Hay una relación inversa entre los volúmenes de gas atrapado y el índice cardíaco.

6. Las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

- a. La PAWP y MAWP aumentan linealmente a medida que se acorta el tiempo espiratorio.
- b. Cambios mínimos en el índice cardíaco se observan con ventilación subglótica a una frecuencia de 300/min
- c. La manera más efectiva de aumentar la eliminación de CO₂ es aumentar la presión del impulso (driving pressure, DP) sin modificar la frecuencia
- d. La salida del ventilador no está influenciada por factores externos como resistencia de la vía aérea y compliance pulmonar.
- e. Una medida de seguridad esencial es un mecanismo de corte automático, cuando se excede la pausa de presión (PP)

7. ¿Qué complicaciones se asocian a HFJV?

INTRODUCCIÓN

La HFJV es una técnica versátil, segura y efectiva con indicaciones en aumento para uso electivo y de emergencia. Este artículo intenta mostrar los mecanismos básicos necesarios para realizar con seguridad HFJV y aumentar el conocimiento de los equipos y técnicas utilizadas.

DEFINICIÓN

La HFJV se caracteriza por aportar pequeños volúmenes corrientes (1-3 ml/kg) de un Jet de alta presión a frecuencias suprafisiológicas (1-10 Hz), seguido por una espiración pasiva.

INDICACIONES

Está indicada en situaciones donde ofrezca ventajas sobre la ventilación convencional. Éstas se agrupan en 2 categorías principales; **facilitar el acceso quirúrgico y optimizar la función pulmonar.**

CIRUGÍA DE OÍDO-NARIZ-GARGANTA (ENT)

La laringoscopia diagnóstica requiere una técnica para facilitar la visión de la laringe, con inmovilidad de cuerdas vocales y control completo de la vía aérea y la ventilación. La entrega de pequeños volúmenes corrientes produce menor movimiento de cuerdas vocales, mientras que la ventilación a alta presión permite el uso de catéteres angostos. Esto permite un mejor acceso quirúrgico que los tubos traqueales convencionales.

Los catéteres para ventilación jet son de material no inflamable, produciendo ventajas con el uso de cirugía láser reduciendo la posibilidad de quemaduras.

CIRUGÍA TORÁCICA

Así como en los casos anteriores, el pasaje de un catéter angosto a través del campo quirúrgico provoca mucho menor interferencia con la cirugía, que la intubación convencional con tubos de doble luz.

Estos catéteres angostos proveen una vía aérea relativamente permeable y mejor acceso a la vía aérea (tráquea y bronquios) mejorando las posibilidades quirúrgicas en la realización de una anastomosis.

La HFJV puede ser ventajosa en la ventilación unipulmonar. El pulmón no dependiente se deja levemente distendido, minimizando el shunt a través del incremento de la presión media de vía aérea (MAWP), ayudando a la perfusión y permitiendo la remoción de CO₂ sin necesidad de utilizar grandes volúmenes. La HFJV selectiva del pulmón no dependiente, mientras el pulmón dependiente es ventilado convencionalmente con presión positiva intermitente, aumenta la PaO₂ comparada con el colapso del pulmón no-dependiente y la ventilación convencional del dependiente (1).

También se ha usado la HFJV exitosamente en el tratamiento de la fístula broncopleural y rotura traqueobronquial. La disminución de la presión pico de vía aérea (PAWP) y los volúmenes corrientes producen menores pérdidas de gas a través de las vías con baja resistencia patológicas. En consecuencia, el enfisema mediastinal e intersticial puede reducirse.

RADIOLOGÍA

La HFJV produce un campo inmóvil y tiene ventajas en los procedimientos guiados por Rx.

Ablación por Radiofrecuencia (RFA)

El uso de HFJV para RFA guiada por TAC de tumores hepáticos minimiza la movilidad hepática relacionada con la ventilación (12 mm a 2 mm) (2). RFA de la aurícula izquierda usando HFJV produce una aurícula más estable, con menor variación de volumen, y requerimiento de menor cantidad de intentos.

Litotricia

La eliminación del movimiento del diafragma es ideal para la utilización de ondas de choque extracorpóreas, reduciendo el movimiento de los cálculos urinarios. Incrementa la eficacia de la litotricia con mejor utilización de la energía de las ondas de choque y menor exposición del paciente al trauma tisular (3).

CUIDADOS CRÍTICOS

La HFJV es particularmente útil en estrategias de ventilación pulmonar protectora. Los bajos volúmenes corrientes reducen el riesgo de sobredistensión y volutrauma. Los menores vaivenes de presión durante el ciclo ventilatorio y el incremento de la Presión media de la VA (MAWP) optimiza el volumen pulmonar tele-espiratorio, previniendo el colapso el atelectrauma cíclico (ciclos de cierre y apertura de los alvéolos colapsados).

Una revisión sistemática Cochrane de HFJV electiva vs ventilación convencional para el síndrome de distress respiratorio en niños pretérmino, no mostró diferencias en la mortalidad, pero si beneficios en la recuperación pulmonar. Son necesarios más estudios en adultos.

MECANISMOS DE INTERCAMBIO GASEOSO

Con ventilación convencional donde los volúmenes corrientes exceden el espacio muerto, el intercambio gaseoso está muy relacionado con el flujo de gas en el alvéolo. Con la HFJV los volúmenes corrientes utilizados son menores que el espacio muerto anatómico y de los equipos y por esto se producen otros mecanismos de intercambio gaseoso.

- Pendelluft describe el movimiento de gas entre las unidades pulmonares con diferentes constantes de tiempo (una propiedad relacionada con el producto de la compliance y la

resistencia). En las inspiraciones sucesivas hay una redistribución del gas inspirado desde las unidades de llenado rápido a las de llenado lento, aumentando el intercambio gaseoso.

- Los flujos convectivos o dispersión de Taylor se producen como resultado del perfil de velocidad asimétrica del frente gaseoso inspirado a medida que se mueve a través del árbol bronquial. Las velocidades axiales en las zonas centrales son más difusas que en las zonas laterales.
- La “mezcla cardíaca” describe como el corazón latiente mejora el intercambio gaseoso, agitando el tejido pulmonar que lo rodea y la difusión molecular.
- El monto del flujo puede contribuir parcialmente al intercambio gaseoso alcanzando una cantidad de alvéolos proximales

La discusión detallada del mecanismo de intercambio gaseoso puede hallarse en otros sitios y va más allá del alcance de este artículo.

TRES ACCESOS DIFERENTES

La ventilación jet puede administrarse por vía supraglótica, transtraqueal o subglótica. Abajo se discuten las ventajas y desventajas de cada técnica.

Acceso Supraglótico

Permite un campo quirúrgico libre de tubo traqueal. Igualmente esta técnica requiere el mantenimiento de la vía aérea por el cirujano, y la calidad de la ventilación puede alterarse por la mala alineación del jet con la vía aérea durante el acceso al sitio operatorio. Hay mayor movilidad de las cuerdas vocales comparado con las otras técnicas y mayor riesgo de restos sanguíneos en la vía aérea. No es posible monitorizar la PAWP o la EtCO₂ con este acceso.



Figura 1. Rigid bronchoscope with jet ventilator attached for supraglottic jetting

Con todos los accesos, las presiones pico y media de la vía aérea se incrementan linealmente con el aumento de las frecuencias y la disminución del tiempo espiratorio. La tasa de incremento esta relacionada con el acceso utilizado. El mayor incremento en las presiones de vía aérea se ven con este acceso y el menor con las técnicas subglóticas.

Esto podría significar que las técnicas subglóticas incrementan las presiones de vía aérea más rápidamente porque el jet es aplicado distalmente y el flujo espiratorio está limitado por la glotis (estenosis), mientras que con técnicas supraglóticas el jet es aplicado proximalmente, y la estenosis glótica dificulta el flujo inspiratorio y espiratorio, y de esta forma reduce el aumento de la presión en la vía aérea (VA). De todas maneras, lo opuesto es verdadero.

Hay 4 razones para esto:

1. Efecto Venturi- un flujo de gas acelerado disminuye la presión y la entrada gaseosa. La ventilación jet supraglótica es de tipo venturi verdadera y el volumen corriente es la suma del volumen inyectado y el que ingresa.

2. características del flujo. En la vía aérea hay flujo turbulento, con flujo laminar primariamente en vía aérea distal y alvéolos. El flujo turbulento generado en vía aérea superior es conducido por una distancia variable corriente abajo y luego un punto de inyección supraglótico crea una mayor columna de flujo turbulento causando mayor resistencia al flujo espiratorio y atrapamiento gaseoso.

3. Doble jet. Cuando se administra un jet supraglótico parte del gas es reflejado desde la estenosis glótica incrementando la presión supraglótica. Esto actúa como un jet de alta presión secundario dirigiendo el gas más allá de la estenosis y creando un gradiente de presión desfavorable para extraer los gases, y de esta manera dificultando el flujo espiratorio e incrementando el atrapamiento gaseoso.

4. Impedancia espiratoria. La eliminación de gases debe realizarse a través de una glotis estenótica, que solo se abre durante la fase espiratoria del ciclo con las técnicas supraglóticas. La impedancia espiratoria depende de la relación I:E y el área de apertura de la estenosis.

Las técnicas supraglóticas deben evitarse en estenosis de pequeño diámetro debido al rápido aumento de presión en la vía aérea. Con diámetros estenóticos mayores estas técnicas proporcionan un aporte de gas más eficiente con mayores presiones de distensión (fenómenos

venturi y doble jet), lo cual puede requerirse en pacientes con baja compliance respiratoria. Debe tenerse precaución para evitar el excesivo atrapamiento gaseoso.

Acceso Transtraqueal

Provee al cirujano mejores condiciones operatorias, y control anestésico de la vía aérea y ventilación. El ingreso es mínimo permitiendo una FiO_2 constante.

La HFJV transtraqueal puede ser peligrosa en las estenosis de pequeño diámetro ($D < 2d$ donde D = diámetro de la estenosis, y d = diámetro del catéter), porque la apertura de la estenosis está parcialmente obstruida por el catéter, incrementando la resistencia al vaciamiento de los gases. Con un diámetro de estenosis $< 4,5$ mm, la presión en la vía aérea durante el jet transtraqueal es mayor que la que se produce con la técnica subglótica a igual tamaño de la estenosis.(4)

Acceso Subglótico

La tasa de incremento de las presiones en vía aérea se reduce en esta técnica. Las presiones supraglóticas/estenóticas permanecen a valores atmosféricos y la vía de eliminación de gases esta abierta durante el ciclo ventilatorio, reduciendo la impedancia espiratoria y el atrapamiento gaseoso. Estas técnicas también proporcionan concentraciones de O_2 constantes. El monitoreo de PAWP y $EtCO_2$ es posible. Esta técnica puede dificultar el acceso quirúrgico a la glotis posterior especialmente.



Figure 2.1 Ventilación Jet subglótica en la práctica



Figure 2.2 Transtracheal jet ventilation in practice

Tabla 1. Ventajas y desventajas de cada acceso

TÉCNICA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Supraglótica	Campo libre de tubo traqueal	Aumento rápido de presión en vía aérea; confianza con el cirujano para adecuada ventilación; sin monitoreo de PAWP/EtCO ₂ ; movimiento de cuerdas vocales, sin control de FiO ₂
Transtraqueal	Campo libre de tubo traqueal; control de FiO ₂	Control incompleto de la ventilación, contraindicado en estenosis finas; sin monitoreo de PAWP/EtCO ₂
Subglótica	Incremento mínimo en la presión de vía aérea; control de FiO ₂ ; monitoreo de PAWP/EtCO ₂	Invasión del campo quirúrgico

COMPLICACIONES DE LA HFJV

Barotrauma

Muchas complicaciones de esta técnica se asocian al uso de una fuente de gas de alta presión. El jet de alta presión puede provocar un rápido incremento en la presión de la vía aérea llevando a atrapamiento gaseoso si la vía espiratoria es inadecuada.

El incremento de la frecuencia ventilatoria y la relación I:E produce más frecuentemente atrapamiento gaseoso, y las estenosis de pequeño diámetro también predisponen a esto. El atrapamiento de gas altera el gasto cardíaco; hay una relación inversa entre el volumen de gas atrapado y el índice cardíaco. El volumen tele-sistólico del VD (RVESV) muestra una relación directa con la frecuencia ventilatoria. A medida que aumenta la presión intratorácica, el retorno venoso disminuye y la poscarga del VD aumenta (debido a compresión de vasos pulmonares). El VD débil falla al intentar superar el aumento de la poscarga pudiendo provocar una grave alteración en el gasto cardíaco.

El excesivo atrapamiento gaseoso no es algo inevitable en la ventilación jet. Pequeñas cantidades de gas atrapado y cambios mínimos en el índice cardíaco pueden observarse con la ventilación subglótica a frecuencias de 150 vent/min.

Exposición a gases secos

La HFJV sin humidificar limita su duración. La exposición prolongada a gases secos a presión causa lesión traumática de la vía aérea llevando a una traqueobronquitis necrotizante, atelectasias, pérdida del epitelio ciliado, inflamación mucosa, excesiva mucosidad y obstrucción de vía aérea. Los equipos de HFJV que aportan gases humidificados (Monsoon, Acutronic medical system) pueden ser usados por mayor tiempo.

Hipercapnia

La eliminación de CO₂ depende de la frecuencia, y el volumen corriente elevados a la 2da potencia. El volumen tidal se modula a través de la Presión del impulso (DP), y la manera más efectiva para aumentar la eliminación de CO₂ es aumentar esta presión mientras la frecuencia permanece sin modificar. Grandes aumentos en la DP y frecuencia, reducen la eliminación de CO₂ a medida que se reduce el tiempo espiratorio para la eliminación de los gases.

Tabla 3. Complicaciones de la HFJV

Barotrauma	Gas seco	Alteracion en la ventilación
Neumotorax	Trauma mucoso	Hipoxia
Neumopericardio	Necrosis traqueal	Hipercapnia
Neumomediastino	Atelectasia	Alteracion de via aérea por detritos, secreciones, vomitos
Enfisema subcutáneo		
Hipotensión		
Falla de VD		

EQUIPAMIENTO

Ventiladores HFJV

En Reino Unido el ventilador Mistral o Monsoon (acutronic medical system) es el más usado.

Incorpora los principios fundamentales de la ventilación jet de alta frecuencia.

El ventilador Mistral, está alimentado por corriente eléctrica, ciclado por solenoide, es automático. Lleva aire comprimido y O₂ a 4 ATM. Luego de pasar por un regulador de presión, el gas alcanza un sistema de 4 válvulas en paralelo controladas por un solenoide electromagnético, que están cerradas en la posición de reposo. Cuando los solenoides son estimulados, una o más de la válvulas se abren, generando un discreto pulso de gas.

El volumen de cada pulso se determina por el seteo de la frecuencia respiratoria, la relación I:E, y la presión del impulso (DP). Por ejemplo incrementando la frecuencia o disminuyendo la DP se reduce el volumen corriente, mientras que el aumento del tiempo inspiratorio o de la DP tiene el efecto opuesto. La salida del ventilador no depende de factores externos (resistencia de la vía aérea, compliance pulmonar).

Un componente esencial del ventilador es la alarma de presión en vía aérea con mecanismo de corte automático, cuando esta excede el límite programado. Este límite se selecciona como la presión de pausa (PP), que es la presión dentro de la vía aérea y es medida desde la punta del catéter de ventilación entre cada jet. La PP se asemeja a la presión media de la vía aérea. Una PP que exceda el valor seleccionado acciona una alarma y suspende la ventilación.



Figura 3. Mistral Jet Ventilator

CATETERES DE VENTILACION JET

Las técnicas supraglóticas emplean HFJV sin tubo traqueal, con catéteres que sirven para los accesos transtraqueal y subglótico.

Catéteres Subglóticos

Hunsaker Mon-Jet y Laserjet son de doble luz, y están hechos específicamente para HFJV subglótica. Ambos tienen un estilete metálico para asistir la intubación y están hechos con material no inflamable y resistente al laser.

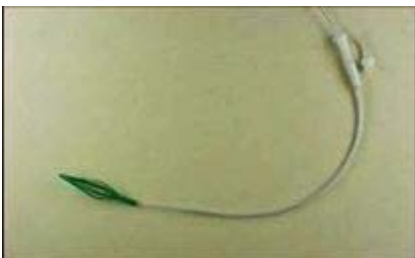


Figura 4. Hunsaker Mon-Jet Catheter (Medtronic Xomed)

El catéter de la fig. 4 fue designado especialmente para microcirugía laríngea. Es de 35,5 cm de largo con un diámetro interno de 2,7 mm y externo de 4,3 mm. El ventilador se conecta al lumen central, con la salida de gas a través de una apertura en la punta del catéter. Tiene un puerto de monitoreo 3,2 cm por encima de la punta, que permite medir la presión y la EtCO₂. El balón verde distal autocentra el tubo dentro de la tráquea, alineando el jet lejos de la mucosa traqueal para prevenir el trauma de la misma.



Figura 5. LaserJet Catheter (Acutronic Medical Systems)

El catéter de la fig. 5, viene en 2 medidas, 40 y 70 cm. Ambos tienen un diámetro externo de 3,4 mm. Tienen doble luz (a igual que el Hunsaker), una para el aporte de gas y la otra para monitoreo de presión y EtCO₂.

El largo necesario del tubo de los labios a la glotis puede determinarse aproximadamente posicionando el tubo a lo largo de la vía aérea del paciente antes de su inserción. El balón rojo que rodea el tubo debe colocarse en el punto correcto para que coincida adecuadamente al nivel de la posición de los labios.

Catéteres Transtraqueales

Hay muchos disponibles. Uno de ellos es el Ravussin, que viene en 3 tamaños: 13G, 14G, 16G para adultos, niños, y bebés respectivamente. Son resistentes a los acodamientos y se utilizan también para ventilación jet manual.



Figura 6. Jet ventilation catheter acc. to Ravussin (VBM Medizintechnik GmbH-Germany)

TÉCNICA

Existen muchas técnicas basadas en las características del paciente, requerimientos quirúrgicos y experiencia anestésica. Se describirá la técnica utilizada por el autor.

Si se utiliza un catéter Laserjet, debe medirse aproximadamente la longitud a insertar, posicionando el catéter próximo a la vía aérea. El balón rojo se utiliza luego como guía de la profundidad de la inserción. Frecuentemente no se utiliza el estilete ya que el catéter es lo suficientemente rígido.

Se induce anestesia con un agente intravenoso, se administra una baja dosis de bloqueante neuromuscular y se hace una laringoscopia directa. Es necesario usar una técnica de TIVA, excepto que se use un ventilador adicional para la administración de gases anestésicos.

Aunque en nuestra práctica se utilizan relajantes musculares, es posible la inserción del catéter sin estos, con anestesia tópica local por ejemplo. El catéter se introduce y se fija con tela en el costado izquierdo de la boca del paciente. Esto facilita el acceso quirúrgico desde la derecha. El paciente es ventilado con mascara/bolsa hasta que se lo posiciona adecuadamente en la mesa quirúrgica con la v. aérea abierta. Puede alternativamente ventilarse con máscara laríngea hasta la apertura de v. aérea y el comienzo de la ventilación jet.

Una vez abierta la V. aérea se comienza con la HFJV. El ventilador se conecta al lumen central, y al otro lumen se conectan los monitores de presión y EtCO₂ a través de un mecanismo Luer-loc para prevenir la desconexión bajo presión. Se seleccionan los parámetros del ventilador; usualmente 100-150/min de frecuencia, presión de impulso (DP) 1-1,5 bar, presión de pausa (PP) 20 mbar, y FiO₂ 1. Estos parámetros se van ajustando para lograr la mayor eficacia y la menor cantidad de efectos adversos.

Se observa si la ventilación es adecuada visualmente y por palpación de la movilidad torácica, monitorizando la SpO₂.

Se monitoriza la EtCO₂, aunque no da una estimación certera del CO₂ arterial, debido a los bajos volúmenes corrientes y la respuesta lenta de los analizadores de CO₂.

La interrupción de la ventilación jet y la utilización de ventilación convencional a presión positiva, permite superar este problema. Una lectura segura puede obtenerse suspendiendo la HFJV y comprimiendo el tórax del paciente provocando una espiración.



Figura 7. Capnograph during HFJV technique

Cuando termina la cirugía y el paciente muestra signos de esfuerzo ventilatorio, se discontinúa la HFJV. Se administra O₂ suplementario con máscara/bolsa y se retira el catéter de la misma manera que un tubo traqueal.

REFERENCIAS Y LECTURAS ADICIONALES

1. Abe K et al. Effect of high-frequency jet ventilation on oxygenation during lone-lung ventilation in patients undergoing thoracic aneurysm surgery. *J Anaeth* 2006;20(1):1-5
2. Biro P et al. High-frequency jet ventilation for minimizing breathing-related liver motion during percutaneous radiofrequency ablation of multiple hepatic tumours. *Br. J. Anaesth* 2009;102(5):650-653
3. Canty D J, Dhara S S. High frequency jet ventilation through a supraglottic airway device. *Anaesthesia* 2009;64:1295–1298
4. Buczkowski P W et al. Air entrainment during high-frequency jet ventilation in a modelo f

AGRADECIMIENTOS

Many thanks to Dr. Radhika Bishma (North Manchester General Hospital) for guidance on writing the article and Dr. Patrick Wong (St George's Hospital) for guidance and figures.

RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS

1. Cuando proporciona ventajas sobre la ventilación convencional
2. Inmovilidad de cuerdas vocales, mejora de la visibilidad, catéteres seguros para laser
3. FVFFF
4. Cantidad de flujo, pendelluft, corrientes convectivas, mezcla cardiaca
5. FVFVV
6. VFVVV
7. ver texto en la tabla

Artículo completo en: <http://totw.anaesthesiologists.org/wp-content/uploads/2012/10/271-High-frequency-Jet-Ventilation.pdf>