



11227

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
DIVISION ESTUDIOS DE POSTGRADO

INSTITUTO NACIONAL DE LA NUTRICION
"SALVADOR ZUBIRAN"

APOYO MECANICO VENTILATORIO:
PRINCIPIOS BASICOS

TESIS DE POSTGRADO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
ESPECIALISTA EN MEDICINA INTERNA

presenta

DR. JAIME OMAR HERRERA HOYOS

ASESOR DE LA TESIS

DRA. CAROLINA LAREDO SANCHEZ

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



260401

1998



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

[Handwritten signature]

INSTITUTO NACIONAL DE LA NUTRICION
SALVADOR ZOBIRAN
SUB-DIRECCION DE ENSEÑANZA
México, D. F.

[Handwritten signature]

 **FACULTAD
DE MEDICINA**
☆ **ABR. 16 1998** ☆
SECRETARÍA DE SERVICIOS
ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE POSGRADO
REVR

INDICE

PROLOGO	1
INTRODUCCION	2
PROPIEDADES OPERATIVAS BASICAS DE LOS VENTILADORES	4
CONCEPTO BASICO DE APOYO VENTILATORIO	6
■ VENTILACION MANDATORIA INTERMITENTE	10
■ VENTILACION CON SOPORTE DE PRESION	13
■ VENTILACION CON ASISTENCIA PROPORCIONAL	16
■ VENTILACION CON LIBERACION DE PRESION	19
■ VENTILACION CON RELACION INVERSA	22
GENERALIDADES	25
BIBLIOGRAFIA	27

PROLOGO

La necesidad de ventilar artificialmente los pulmones ha sido una inquietud muy antigua. La urgencia para disponer fácilmente de este recurso, sin embargo, surgió durante la epidemia de Poliomiélitis a mediados de este siglo. Para entonces, el concepto de apoyar la función ventilatoria se practicaba introduciendo a los pacientes en complejas cámaras de presión negativa. La presión pleural subatmosférica, que de manera intermitente se va creando bajo estas condiciones, es lo que permite iniciar o aumentar las excursiones del tórax durante la inspiración.

Cincuenta años han transcurrido desde aquella época. Hoy, muchas y novedosas propuestas de ventilación mecánica han sido planteadas. Todos estos nuevos métodos que han surgido, sin embargo, están basados en un concepto funcional muy diferente al de las antiguas cámaras de presión negativa. Los equipos modernos, por el contrario, tienen como denominador común el empleo de presión positiva para insuflar el tórax.

Así, bajo este principio operativo, técnicamente los pulmones son inflados con gas fresco de manera intermitente o en forma continua. Los distintos métodos que actualmente conocemos, no obstante, varían cada uno entre sí porque, con esa presión positiva, se combinan algunas otras variables físicas y mecánicas de las que se dispone en los equipos. La organización razonada de estos elementos en los ventiladores contribuye, en mucho, a determinar el resultado final de nuestra intervención en el apoyo a la función del sistema respiratorio.

Conviene resaltar que la ventilación pulmonar es, sóloamente, una parte del complejo proceso que permite la oxigenación y la eliminación de bióxido de carbono en nuestro cuerpo. En este trabajo, sin embargo, nos hemos limitado a consideraciones sobre algunos principios de funcionamiento técnico y conceptual que sustentan las distintas modalidades de ventilación mecánica que han sido propuestas en los últimos años.

Para esto, se investigó en la literatura especializada y reciente.

INTRODUCCION

En la actualidad, la ventilación mecánica hace posible ofrecer apoyo total o parcial a la función pulmonar. Por apoyo total se entiende que el ventilador controla y desarrolla el trabajo ventilatorio del paciente. En el apoyo parcial, el paciente conserva su automatismo. Aunque con dificultad, y en forma limitada muchas veces, es el paciente mismo quien inicia el ciclo respiratorio. El aparato mecánico que lo asiste sólomente se suma al esfuerzo que el enfermo realiza y de esta forma contribuye a que se alcance una inspiración completa y más eficiente.

El proceso de la respiración, de mayor complejidad que la sola ventilación de los pulmones, implica el intercambio de gases a través de la membrana alvéolo-capilar. Para lograr esto, es fundamental que exista un funcionamiento muy equilibrado entre la ventilación y la circulación pulmonar (relación V/Q). Naturalmente esta relación existe, sin embargo, intentar reproducirlo en forma artificial exige un conocimiento muy profundo de fisiología respiratoria. Esta exigencia, justamente, ha sido la inquietud de numerosos investigadores que ha llevado, a cada uno, a proponer una modalidad distinta de ventilación artificial. En efecto, en años recientes han surgido tantos métodos de ventilación mecánica que, de alguna manera, se ha generado cierta confusión en cuanto a los objetivos esenciales del apoyo respiratorio. Sin embargo, nunca será suficiente poner énfasis en que, cada vez que se piense en apoyar artificialmente la función respiratoria, nadie se refiere al solo hecho de inflar los pulmones con gas fresco en forma intermitente.

Es verdad que, renovar el aire alveolar adecuadamente y en forma constante, es uno de los objetivos básicos de la ventilación mecánica. Pero también es cierto que, en todo momento, debe conservarse lo más inalterada posible la función cardiovascular que normalmente prevalece en condiciones de ventilación espontánea.

Resulta fácilmente comprensible que al emplear presión positiva con los equipos disponibles hoy día la presión intratorácica se incrementa. Esto ocurre por mecanismos de muy diversa índole y en un grado mayor a lo que

regularmente se observa en la ventilación espontánea. Sin embargo, no existe en la actualidad, o por lo menos no se encuentra fácilmente disponible, otra manera más práctica de apoyar artificialmente la función ventilatoria. Ciertamente, los efectos físicos que esto tiene varían según sea el nivel de presión positiva que se emplee, el volumen corriente (V_C) establecido, la frecuencia (F_R) con que el ciclo respiratorio completo se repite en un minuto, la fracción inspirada (F_I) del gas que se utilice, la relación temporal entre los períodos Inspiración:Espiración en cada ciclo, el flujo de gas (F) y el patrón de flujo inspiratorio que hayan sido seleccionados. Estas y otras variables más, son solamente algunas de las distintas funciones que deben ser prefijadas en los aparatos electro-mecánicos con que hoy día disponemos los clínicos (¹).

En todo caso, deberá hacerse siempre una programación razonada y con conocimiento en el equipo a utilizar. Significa lo mismo decir que, la eficiencia de nuestro apoyo, exige una muy buena información y experiencia suficiente por parte del médico. Es esa la manera prudente de seleccionar correctamente en los equipos la combinación de variables a emplear en cada caso. Por su parte, cada paciente, con base en sus condiciones de distensibilidad pulmonar, de resistencia en la vía aérea, situación hemodinámica, condiciones de membrana alvéolo-capilar y muchos otros factores responderá individualmente a la modalidad de apoyo ventilatorio que podamos ofrecerle. Una exigencia más, finalmente, es la de hacer evaluaciones frecuentes del estado general del paciente que recibe apoyo ventilatorio mecánico con ayuda de registros en los propios equipos y del laboratorio.

PROPIEDADES OPERATIVAS BASICAS DE LOS VENTILADORES

Aunque el propósito fundamental de cualquier ventilador mecánico es enviar una cantidad de gas fresco a los pulmones (V_C), la manera con que cada equipo realiza automáticamente el ciclado de la respiración puede ser variable. Existen tres formas básicas de controlar los ciclos inspiración:espiración. Estos pueden ser en función de tiempo, en función de volumen o en función de presión (²).

- a) **Ciclado por tiempo:** En estos sistemas, el flujo inspiratorio que el ventilador inicia, es concluido en un tiempo límite que se establece anticipadamente. Al ser la inspiración dependiente de tiempo no puede garantizarse que un determinado Volumen Corriente llegue al paciente como se desea. La cantidad de gas que se envía a los pulmones puede no ser suficiente si existe un alto grado de Resistencia en la vía aérea. La relación entre Volumen Corriente y Resistencia en la vía aérea es invérsamente proporcional con este tipo de generadores de presión. Si en su lugar empleáramos un generador de flujo, sí se lograría el Volumen Corriente prefijado pero habríamos de asegurarnos el que no se exceda un nivel de presión pulmonar. Por lo general, estos cuidados siempre están presentes y para ello se protege al paciente mediante ciertas alarmas de seguridad en los equipos

- b) **Ciclado por volumen:** Estos aparatos interrumpen el flujo inspiratorio cuando ya se ha completado el envío de un Volumen Corriente pre-establecido desde el principio. Operan con generadores de flujo y el Volumen Minuto es razonablemente independiente de variaciones moderadas en la Distensibilidad pulmonar y en la Resistencia de la vía aérea.

- c) **Ciclado por presión:** Sólomente generadores de flujo pueden ser operados con ciclado de presión. Con este tipo de programación en el ventilador el flujo inspiratorio termina cuando en alguna parte del circuito, que se extiende desde la máquina hasta el alvéolo mismo, se alcanza un nivel de presión definido previamente.

Un mismo aparato puede ser utilizado para funcionar con mas de una forma de ciclado.

CONCEPTO BASICO DE APOYO VENTILATORIO

Como ha sido mencionado el apoyo a la función de ventilación pulmonar puede realizarse de manera controlada o asistida. En algunos medios, sin embargo, esta última forma de apoyo también se denomina asisto-controlada por las características que la distinguen como vamos a revisar ahora.

VENTILACION CONTROLADA

Esto puede lograrse con control de volúmen o con control de presión.

Ventilación Controlada por Volumen: En la ventilación controlada por volúmen, se fija un Volúmen Corriente específico para cada paciente con base en su peso corporal. Se establece también en el ventilador un límite de presión que pueda alertarnos de cualquier elevación excesiva de la misma en la vía aérea. De esta forma, la cantidad de gas que efectivamente llegue a los pulmones es altamente confiable considerando que no existen fugas en el circuito y que en ningún momento se rebasen los límites de presión pulmonar.

Estos aparatos pueden ser ciclados por tiempo o por el volúmen mismo. Como ya se ha visto, al ser controlado por tiempo, el flujo inspiratorio se interrumpe en tiempo fijo lo cual permite ajustar con precisión la duración de cada fase del ciclo Inspiración : Espiración. El Volumen Corriente, cuando se ha decidido programar el ciclado de la máquina en función de tiempo, debe ser cuantificado mediante un Espirómetro con el fin de asegurarnos que la cantidad de gas que se envía a los pulmones es adecuada. Cuando se selecciona el ciclado por volumen, la inspiración no concluye hasta que el envío de gas ha sido completo en las cantidades establecidas para cada paciente. La relación inspiración:espiración con esta modalidad no es muy controlable ya que depende del flujo de gas que se esté utilizando.

El flujo de gas, por su parte, puede ser enviado al paciente con una configuración específica. El patrón de flujo, como regularmente se conoce a estas configuraciones está determinado por factores diversos que dependen esencialmente de las variables seleccionadas en los equipos para cada caso. Así,

el flujo inspiratorio puede llegar al paciente en una onda continua o sinusoidal, acelerado o desacelerado o en una combinación de estos como se describe con la Ventilación de Alta Frecuencia. Disponer de aparatos para ventilación mecánica que tengan la posibilidad de seleccionar entre estos patrones de flujo resulta ventajoso. Distintas condiciones como, el tipo de afección pulmonar, áreas de localización de la enfermedad y segmentos bronquiales con diferentes Constantes de Tiempo, hacen que la elección correcta del patrón de flujo, sea determinante para lograr un nivel de eficiencia óptimo con nuestro manejo. Normalmente, el patrón de flujo inspiratorio es en onda continua y por lo general también es el más conveniente a utilizar en la ventilación artificial .

Ventilación Controlada por Presión: En la forma de ventilación controlada por presión, el gas es enviado a los pulmones con una presión constante en un tiempo límite. El patrón de flujo aquí, es de desaceleración, es decir, que el generador inicia con un flujo muy alto y luego disminuye en lo que resta del tiempo inspiratorio. Como puede entenderse, el V_C aquí es resultado de una combinación entre la presión inspiratoria, el número de ventilaciones por minuto y el tiempo inspiratorio que se haya decidido emplear.

Los ventiladores modernos también cuentan con un elemento que permite, durante un tiempo breve, sostener la inspiración. Es esta, la pausa inspiratoria y consiste en un momento muy corto en el que la presión en el circuito del paciente se mantiene sin cambio alguno. Este mecanismo en realidad conserva cerrado el circuito espiratorio durante un breve tiempo de fracciones de segundo. En estas condiciones existe un equilibrio de presiones en todo el sistema y solo así puede conocerse la distensibilidad (Compliance) estática (C_{ST}) de los pulmones.

Para concluir la revisión del concepto de control de la ventilación, conviene considerar que el flujo de gas es constante durante toda la inspiración en la modalidad controlada por volumen. No ocurre lo mismo en la forma controlada por presión. Aquí, lo constante es la presión y esto implica que, desde el momento mas temprano de la fase inspiratoria, el Volumen Corriente que el ventilador envía al paciente es muy grande. Una consecuencia de esto es que la Presión Media en la vía aérea resulta un poco mas elevada.

Cuando la ventilación decide controlarse por presión, es fundamental apoyarse, nuevamente lo mencionamos, con un Espirómetro para poder establecer un volumen corriente y volumen minuto (V_M) constantes y suficientes. La presión que el generador ejerza puede variar en función de la Distensibilidad pulmonar y de la Resistencia en la vía aérea. Salta a la vista la necesidad de vigilar cercanamente y con frecuencia a los pacientes que hayan sido incluidos en esta modalidad de manejo. Sin embargo, a pesar de todo, la seguridad tan confiable de estos equipos, su sencillez de operación y la eficiencia incuestionable que la experiencia les ha conferido, es posible que los ventiladores de presión pasen a ser la primera elección en los próximos años.

VENTILACION ASISTIDA

Esta forma de apoyo ventilatorio podría entenderse como una manera de ventilación controlada inversa. Esto es porque, aquí, se trata de que sea el paciente quien controle el ventilador y no lo opuesto como en la modalidad descrita previamente. La asistencia ventilatoria mecánica es iniciada por el propio paciente que, aunque conserva su automatismo, no le basta para respirar con suficiencia. Con grados diferentes de dificultad, el paciente hace un esfuerzo inspiratorio que puede ser exageradamente débil, o medianamente suficiente, y es esto lo que lo activa el ventilador que responde con un envío mecánico para completar la ventilación total.

Por esto mismo, el ventilador solo está asistiendo la función pulmonar espontánea del propio paciente que, a su vez, es quien controla la frecuencia ventilatoria y, en cierto grado, el V_C . Para que todo esto ocurra, el equipo mecánico que se emplea debe poseer una sensibilidad suficiente para identificar cualquier reducción en el nivel de presión o modificaciones del flujo de gas en el circuito del paciente. Esta sensibilidad en el equipo es graduable por el clínico de manera que, para cada caso, exista una fácil respuesta mecánica al esfuerzo inspiratorio que el paciente alcance a iniciar.

La relación entre sensibilidad del aparato y esfuerzo inspiratorio del paciente es inversamente proporcional. Es decir, a manera de ejemplo, que si el ventilador se programa con una sensibilidad muy baja, el esfuerzo inspiratorio del paciente

tendría que ser de gran intensidad para lograr la activación mecánica que lo asista.

Si, por el contrario, se selecciona en el aparato una alta sensibilidad, el ventilador será activado fácilmente en forma rápida y repetida. La capacidad de esfuerzo inspiratorio que el paciente puede ejercer en condiciones de enfermedad, o en cualquier otra circunstancia en la que enfrente el requisito de asistencia ventilatoria mecánica, exige la conservación intacta de cierto grado de retracción elástica en los pulmones y fuerza muscular.

VENTILACION ASISTO-CONTROLADA

Condiciones muy heterogéneas, entre ellas la fatiga muscular y la desnutrición, pueden ocasionar que un paciente incurra en apnea o pierda su capacidad de iniciar cualquier esfuerzo inspiratorio mientras es apoyado con ventilación asistida. Teóricamente, en situaciones así, el ventilador quedaría invalidado para ofrecer su ayuda mecánica a la función pulmonar. La ventilación asisto-controlada combina adecuadamente las dos modalidades de ventilación analizadas previamente. La combinación permite que, en el caso de que el paciente perdiera cualquier esfuerzo inspiratorio para activar oportunamente dentro de un tiempo predeterminado, exista, de cualquier manera, un mínimo de ventilaciones mecánicas por minuto a manera de respaldo (3).

La forma en que esta modalidad funciona, es asistida. Sin embargo, cuando por alguna razón el equipo no recibe del paciente la señal para activarse, la ventilación es asumida automáticamente por el aparato mecánico. Esto asegura que el paciente siempre reciba un envío mínimo de gas fresco. Una recomendación prudente en el manejo de esta forma de apoyo es ofrecer al paciente alrededor del 80% del Volumen Minuto que le corresponda a manera de respaldo. Un comentario adicional es que existen determinadas condiciones específicas en las que esta modalidad ventilatoria es particularmente útil. El período post-operatorio, cuando aún existen efectos residuales de algún fármaco, podría ser un ejemplo. También lo es, en las salas de Cuidados Intensivos, como un método inicial o primario de apoyo ventilatorio.

VENTILACIÓN MANDATORIA INTERMITENTE

Cuando se habla de Ventilación Mandatoria Intermitente (IMV por sus siglas en inglés), parecería que nos referimos a lo mismo que ya se analizó respecto a la ventilación en la modalidad Asisto-Controlada. Con esta última, es claro que el paciente está siendo asistido en su función pulmonar y se ofrece un respaldo mecánico ante la eventualidad de que pudiera deteriorarse mas su condición respiratoria. La Ventilación Mandatoria Intermitente es efectivamente otro método de apoyo parcial con ventilación mecánica. IMV le permite al paciente ventilar espontáneamente entre un número predeterminado de ventilaciones “cicladas” por el ventilador (mandatorias) (4).

En realidad, se trata de un método de ventilación artificial convencional que permite al paciente proseguir con su función respiratoria espontánea sin restricciones. Esto ocurre a través del mismo circuito del paciente por el que mecánicamente el ventilador hace sus envíos intermitentes de gas fresco con presión positiva. Con el tiempo, esta modalidad ha evolucionado en la forma del apoyo mandatorio. Las ventilaciones iniciadas por el ventilador, originalmente aportadas independientemente del ciclo respiratorio del paciente, han sido sincronizadas con el esfuerzo inspiratorio del mismo. Este modo de ventilación mecánica ha sido denominado SIMV, siendo esta denominación actualmente estándar.

Ninguna otra modalidad ventilatoria ha generado tanta controversia en relación a sus posibles ventajas y desventajas, sin embargo, SIMV ha soportado la prueba del tiempo y constituye, hoy día, uno de los modos establecidos de ventilación mecánica.

En principio, IMV es similar a la ventilación controlada en tanto que SIMV semeja la ventilación asisto-controlada, en la cual los disparos mandatorios pueden ser desencadenados por el paciente.

Por lo general, el clínico es quien programa las variables que conforman la ventilación mandatoria intermitente. La modalidad hace posible que pueda ofrecerse apoyo parcial o total a la función pulmonar. Este concepto de

ventilación alveolar, por envío intermitente y programado de gas fresco a los pulmones por presión positiva, ha sido el aspecto medular a partir del cual se han elaborado diversas propuestas de ventilación artificial. Por muchos años, este método en especial ha sido empleado en el proceso de destete de la ventilación mecánica y, actualmente, es una de las formas más popular de ventilación artificial en el mundo.

VENTILACIÓN MANDATORIA INTERMITENTE SINCRONIZADA

Esta forma de apoyo a la función pulmonar, se utiliza exclusivamente en la modalidad de ventilación asistida. La respiración espontánea ocurre de manera independiente respecto al envío intermitente que la máquina efectúa en forma mandatoria. Sin embargo, cualquier otro envío mecánico de asistencia que se genere se encuentra convenientemente sincronizado con el esfuerzo inspiratorio del paciente. Por lo tanto, es el mismo paciente quien puede modificar el ritmo o patrón respiratorio. Aunado a lo anterior, con IMV o SIMV, el clínico es capaz de variar el nivel del apoyo mecánico de acuerdo a la frecuencia mandatoria pre-establecida. Con una frecuencia de IMV elevada, el esfuerzo que realiza el paciente es prácticamente suprimido y el apoyo mecánico es completo. Con una frecuencia de IMV de cero, no existe apoyo mecánico alguno y todas las ventilaciones serán desencadenadas y sostenidas por el paciente.

Actualmente 3 sistemas de IMV se encuentran disponibles para uso clínico: IMV con flujo continuo, IMV con flujo a demanda (desencadenado por presión), y SIMV "ciclado" por flujo (SIMV flujo-sensible).⁽³⁾ A diferencia de IMV con flujo constante, SIMV incorpora una válvula de demanda, la cual es activada por el paciente con cada esfuerzo ventilatorio espontáneo y proporciona una ventilación mandatoria en concierto con el esfuerzo inspiratorio del paciente. La válvula de demanda puede ser activada por un cambio en la presión del circuito o en el flujo de gas presente en el circuito. Cuando se trata de SIMV activado por presión, deberá alcanzarse un nivel de presión negativa preestablecido para que el ventilador proporcione gas fresco

hacia el circuito inspiratorio. Con SIMV flujo-sensible (flow-by), un mínimo incremento en el flujo predeterminado en el circuito es utilizado como gatillo para la asistencia ventilatoria.

Hasta hoy, no ha sido posible, sin embargo, documentar beneficios reales en la función cardiovascular al comparar IMV con la modalidad sincronizada como se sugirió en un principio. Por lo menos teóricamente, no obstante, parece muy razonable que el paciente con Ventilación Mandatoria Intermitente Sincronizada tolere mejor esta forma de apoyo al minimizarse la posibilidad de que, en un momento dado, ocurra sumación de envíos mecánicos mandatorios innecesarios con el esfuerzo del paciente. Mas aún, que se presente enfrentamiento entre un envío mecánico mandatorio y el momento espiratorio del paciente.

De cualquier manera, SIMV, facilita el que, siempre que sea posible, optemos por la ventilación asistida. La conservación de la función pulmonar espontánea en algún grado, como se ha descrito en todas las modalidades de ventilación asistida, contribuye a prevenir la atrofia muscular que puede observarse por el ejercicio pasivo de los músculos de la respiración cuando el apoyo que se ofrece es con ventilación controlada.

Además, reconocido el hecho de que en ventilación espontánea la presión intratorácica es mas baja al compararla con ventilación artificial, es otro motivo para optar por modalidades asistidas en tanto esto sea permisible.

VENTILACIÓN CON SOPORTE DE PRESIÓN

Es esta, una modalidad de apoyo ventilatorio parcial introducida en la práctica clínica en época más reciente. Su concepción ha sido novedosa y tiene como fundamento práctico la intención de completar, cada una de las respiraciones espontáneas del paciente, con el envío mecánico adicional de un flujo variable de gas. Es por esto que al menos parte del patrón ventilatorio es controlado por el paciente.

Varias ventajas acompañan a esta modalidad: una mejor interacción paciente-ventilador, menor necesidad de sedación y relajación neuromuscular y el prevenir la instalación de atrofia muscular respiratoria por desuso son algunas de ellas. Aún más, esta modalidad ventilatoria constituye una de las más utilizadas y de las más ventajosas en el proceso de retiro de la ventilación mecánica (^{3,6}).

La ventilación con soporte de presión (PSV por sus siglas en inglés) constituye un modo ventilatorio limitado por presión, en el cual cada ciclo ventilatorio es iniciado por el paciente. Provee asistencia en forma de una onda de presión positiva sincronizada con el esfuerzo inspiratorio del paciente. Durante la inspiración, el ventilador trabaja como un circuito a demanda de flujo, presurizado, hasta alcanzar un nivel de presión predeterminado. Este nivel de presión es mantenido por el equipo hasta que la máquina sensa el inicio de la espiración, habitualmente en forma de un descenso del flujo inspiratorio hasta un umbral. Durante la fase espiratoria, es posible aplicar cualquier nivel de PEEP.

La modalidad de ventilar a un paciente con Soporte de Presión (PSV por sus siglas en inglés) puede emplearse como el único método de apoyo de la ventilación, sin embargo, tomando en cuenta que no existen ventilaciones mandatorias, debe proponerse un sistema de seguridad en caso de apnea. Es así que PSV se utiliza en muchos centros de cuidados intensivos en forma combinada con SIMV. Dos abordajes pueden ser empleados: la adición de un nivel de soporte de presión durante las ventilaciones espontáneas como una manera de contrarrestar la resistencia que impone el circuito artificial, o bien,

que el SIMV represente una frecuencia ventilatoria de respaldo (ej. 6-8 ciclos por minuto). Durante PSV el paciente mantiene el control de la frecuencia respiratoria, duración de T_I y V_C , permitiendo al paciente ventilar de una manera más espontánea y confortable, sin embargo, su principal ventaja parece ser que reduce importantemente el trabajo respiratorio del paciente (7). En efecto, observaciones descritas por Brochard y Cols. (8) han permitido corroborar que, tanto el trabajo inspiratorio como la presión transdiafragmática, son significativamente menores con PSV. La velocidad de presurización o velocidad de ataque del ventilador determina la rampa de presión inspiratoria y depende primordialmente del flujo inspiratorio pico. Dicho flujo, es específico de cada equipo en la mayoría de los ventiladores de que disponemos. Sin embargo, puede ser ajustado a voluntad del médico en algunos equipos más modernos.

La repercusión hemodinámica que los sistemas de ventilación artificial con presión positiva se sabe pueden provocar, ha sido siempre motivo de especial atención. En el caso de PSV, ninguna consecuencia hemodinámica deletérea ha sido descrita. Una de las ventajas adicionales de ventilar a un paciente con soporte de presión, es que la presión pico en la vía aérea (P_{AW}) puede ser limitada a un rango más seguro. Sin embargo, como con cualquier otro equipo que cicla por flujo y que es limitado por presión, es fundamental medir frecuentemente el volumen corriente. Con PSV esta actitud es particularmente importante porque no dispone de envíos mandatorios de reserva como se ha descrito en la modalidad de ventilación asisto-controlada. La más pequeña fuga en el sistema, al igual que cualquier cambio en la distensibilidad pulmonar (dinámica o estática) o en la resistencia de la vía aérea (R), modificará el volumen corriente y por ende el volumen minuto. De igual manera, al no disponerse de esa reserva mandatoria en el ventilador, el paciente queda expuesto a una ventilación igualmente inadecuada en el caso de que, por cualquier circunstancia, deprimiera su automatismo.

Ventilar a un paciente con PSV será siempre una buena opción cuando exista automatismo respiratorio. Sus aplicaciones son diversas y, en condiciones ideales, el nivel de presión de soporte se establece en un rango que permita el envío de un V_C 7 a 10 ml por kg de peso corporal ideal. Gradualmente, en la medida que el paciente se recupere, el nivel de presión de soporte se va reduciendo en 2 a 5 cm de H_2O hasta un nivel aproximada de 5 cm H_2O . No es

aconsejable disminuir el soporte de presión hasta cero por el hecho conocido de que ventilar a través de un tubo endotraqueal y una válvula de demanda puede incrementar el trabajo respiratorio desarrollado por los músculos respiratorios. El nivel de PSV necesario para compensar este incremento en el trabajo inspiratorio ha sido medido en diferentes modelos de ventiladores mecánicos, variando entre cifras de 5 a 8 cm de H₂O para un flujo inspiratorio de 0.5 a 1 L/seg y un tubo endotraqueal con calibre de 8 mm.

Una vez reducido el nivel de soporte de presión hasta un valor aproximado de 5 cm. de agua, el apoyo ventilatorio puede interrumpirse y el paciente ser extubado eventualmente.

VENTILACIÓN CON ASISTENCIA PROPORCIONAL

Una manera más versátil aún de ofrecer apoyo parcial a la función pulmonar, ha sido descrita por Younes y cols. como Ventilación de Asistencia Proporcional (PAV por sus siglas en inglés) ^(9,10). PAV es una forma de apoyo ventilatorio parcial, sincronizado, en el cual el ventilador genera presión en proporción al esfuerzo del paciente; mientras más presión negativa genere el paciente, más presión positiva producirá el ventilador. Esta modalidad permite que sea el propio paciente quien vaya ajustando el V_M que requiere mientras es apoyado mecánicamente en su ventilación. Todavía más, es el paciente mismo quien de manera individual establece, en cada ciclo respiratorio, muchas de las variables que convencionalmente se han considerado dependientes del ventilador. Tal es el caso del flujo inspiratorio, el volumen corriente, el tiempo inspiratorio (T_i), la presión pico de la vía aérea y aún más, el patrón de flujo inspiratorio.

Técnicamente, el aparato que se emplea para esta forma de apoyo es de complejidad electromecánica un poco mayor. Esto tiene que ser así puesto que su estructura está diseñada para responder con gran rapidez en su capacidad de sobrepasar la resistencia normal de la vía aérea (natural y artificial) y la retracción elástica del aparato respiratorio. El ventilador, tiene la capacidad de estar ajustando continuamente la presión en el circuito en respuesta a cambios que el propio paciente provoca en la presión y en el flujo de la vía aérea.

Con la ayuda de un pneumotacógrafo adaptado en el brazo inspiratorio del circuito del paciente el equipo registra información de cambios de volumen y flujo inspiratorios generados por el paciente. Cada señal es sometida a amplificación a través de controles de "ganancia". Esta información se integra electrónicamente a un motor eléctrico que activa un pistón para generar un nivel de presión positiva. El grado de presión positiva que el pistón ejerce es variable. Siempre será en proporción, sin embargo, con la información obtenida de flujo/volumen por el pneumotacógrafo. Esta presión positiva, lógicamente, incrementa el gradiente de presión para lograr suficiente expansión torácica. En ausencia de esfuerzo inspiratorio del paciente, el sistema está inactivo. Conforme el paciente inspira, se desplaza un volumen aéreo del cilindro al paciente. Al generarse señales de flujo y volumen, el motor aplica presión al gas. Asumiendo que la ganancia en la señal de volumen sea la mitad de la

elastancia del paciente (en $\text{cmH}_2\text{O/L}$) y que la ganancia en la señal de flujo sea la mitad de la resistencia de la vía aérea del paciente (natural y artificial, en $\text{cmH}_2\text{O/L/seg}$), el ventilador proveerá automáticamente la mitad del trabajo elástico y resistivo durante la ventilación. En otras palabras, el ventilador proveerá la mitad de la presión total aplicada. Con el esquema anterior, el paciente tendrá que desarrollar la mitad del trabajo en cada momento. La proporcionalidad será por lo tanto de 1:1. Si el paciente aumenta su esfuerzo, más volumen y flujo serán generados y por lo tanto el ventilador incrementará la presión de manera concordante.

Es de esta manera que el único parámetro que el clínico debe definir en el equipo es el porcentaje de asistencia (o nivel de ganancia de las señales de flujo y volumen) que el ventilador aportará en cada ciclo ventilatorio. Si las ganancias de flujo y volumen corresponden a dos tercios de la resistencia y la elastancia respectivamente, el paciente producirá únicamente $1/3$ de la presión total a cada momento. Lo anterior representaría una proporcionalidad de 2:1. Es decir, por cada cm. de agua de presión que el paciente genere, el ventilador proporcionará 2 cm. de agua y así sucesivamente.

Al final de la inspiración, cuando el esfuerzo del paciente ha llegado a su mínimo, la presión alveolar iguala la presión de distensión elástica del aparato pulmonar. Al reposar los músculos respiratorios, el ventilador interrumpe automáticamente su aporte y el flujo aéreo se invierte permitiendo que se inicie la espiración.

Durante el apoyo parcial con PAV puede obtenerse una ventilación muy eficiente en condiciones de baja presión pico en la vía aérea. Esto puede comprenderse mejor al conocer que la presión de soporte que PAV ofrece está íntimamente relacionada con la intensidad de esfuerzo que el propio paciente realiza durante la inspiración. De este modo, es el mismo esfuerzo del paciente lo que regula el límite de P_{aw} en la vía aérea. No es, como habitualmente se actúa con otras modalidades de apoyo ventilatorio, un nivel de presión que deba ser pre-seleccionado en este equipo (^{9,10}).

Por supuesto, PAV es muy sensible para reconocer el inicio de cualquier esfuerzo inspiratorio del paciente y, además, responde continuamente y de manera instantánea a todo cambio en las demandas de flujo y volumen. La

ventilación con PAV, finalmente, puede emplearse con mascarillas y aditamentos faciales de manera que puede evitarse la intubación traqueal o, si así ha sido, permite extubar la tráquea en forma más temprana.

VENTILACION CON LIBERACION DE PRESION

Nunca será suficiente puntualizar que, en toda forma de apoyo mecánico a la ventilación con presión positiva, un aspecto a evitar siempre es el incremento exagerado de la presión pico en la vía aérea. Mucho ha sido escrito en relación a barotrauma, interferencia cardiocirculatoria y otras muy diversas situaciones, en pacientes con ventilación mecánica. Problemas de esta naturaleza han sido explicados por la elevación anormal en los niveles de presión intratorácica que pueden ocurrir con el uso de presión positiva en circunstancias específicas. Esto es especialmente cierto en presencia de pacientes con alguna forma muy aguda de lesión pulmonar o de neumopatía crónica muy avanzada. Sin embargo, aún pacientes que son apoyados en su función respiratoria por motivos diferentes a la presencia de enfermedad pulmonar alguna, pueden cursar con este tipo de complicaciones.

En un intento por reducir la presión pico en la vía aérea Downs y Stock (¹¹) han propuesto una modalidad de ventilación artificial con liberación de presión de la vía aérea (APRV por sus siglas en inglés). APRV se basa en una disminución intermitente, en lugar de un incremento, en la presión de la vía aérea y el volumen pulmonar. La ingeniosa concepción de esta forma de apoyo a la función pulmonar surgió de asociar un circuito de CPAP con alto flujo con una válvula de desalajo que derive el flujo espiratorio de manera alterna a través de 2 válvulas de CPAP con diferentes presiones de apertura.

Conforme la válvula de desahogo dirige el flujo de gas hacia la válvula de CPAP con el umbral más bajo, la presión en el circuito disminuye abruptamente, permitiendo la salida de gas de los pulmones. Cuando se restablece el CPAP, los pulmones son re-inflados con gas fresco al volumen previo. No se trata de dos ventiladores sino de exponer, a un paciente cuya ventilación espontánea es apoyada con CPAP en un rango de presión establecido, a la reducción súbita mandatoria de ese nivel de presión en el circuito.

La válvula de liberación de presión debe tener una resistencia mínima para producir una caída prácticamente instantánea de la presión de la vía aérea que permita un tiempo suficiente para la reducción del volumen pulmonar y la eliminación de bióxido de carbono (¹²).

El volumen corriente de las ventilaciones de liberación, depende de la distensibilidad pulmonar, la resistencia de la vía aérea y la magnitud y duración de la liberación de presión (¹²).

La eliminación de gas pulmonar con la liberación de presión se lleva al cabo pasivamente. Esto hace descender la presión en la vía aérea hasta equilibrarla con la del ambiente de manera que los pulmones quedan con capacidad funcional residual (CFR). Conviene puntualizar, no obstante, que la reducción de presión en el circuito del paciente al abrirse la válvula de alivio se fija previamente en el equipo de manera que sea, precisamente esta, la presión al final de la espiración. De la misma manera, el número de ventilaciones de liberación es prefijada por el clínico.

Teóricamente la fase de liberación de APRV representa espiración y el restablecimiento del CPAP representa inspiración. Si la ventilación alveolar se incrementa de manera suficiente para abolir el esfuerzo inspiratorio del paciente, los patrones de presión de la vía aérea e intratorácico se vuelven indistinguibles de los que se presentan en la ventilación con relación inspiración/espiración inversa controlada por presión.

Algunas de las ventajas que pueden obtenerse con APRV se discutirán a continuación. Tomando en cuenta que las ventilaciones apoyadas mecánicamente se logran por una disminución de la presión de la vía aérea a partir de un nivel de CPAP considerado óptimo para el paciente, la presión inspiratoria pico durante APRV no rebasa nunca la de CPAP. Por tanto, el riesgo de mayor presión intratorácica o de cualquier incremento exagerado en la presión media de la vía aérea es prácticamente inexistente. Otra ventaja de APRV particularmente en pulmones con daño agudo, es que el patrón de presión proporcionado por esta modalidad produce una distribución más uniforme del gas inspirado con la consecuente disminución en el espacio muerto. Esta disminución del espacio muerto se traduce a su vez en niveles menores de presión arterial de bióxido de carbono y mejoría secundaria en la oxigenación.

La indicación clínica básica de APRV es hipoxemia refractaria por lo que, en aquellos pacientes particularmente susceptibles de barotrauma, esta modalidad

podría ser conveniente, ya que APRV puede proveer apoyo ventilatorio parcial o completo con baja presión pico de la vía aérea.

La aplicación adecuada de APRV requiere el ajuste del CPAP a un nivel que produzca un intercambio gaseoso y una mecánica pulmonar óptimos. Posteriormente, se inicia APRV mediante liberaciones de presión con una frecuencia que produciría una ventilación normal (menor a 20 liberaciones por minuto). La duración de las liberaciones de presión se ajusta a un intervalo de 1.5 segundos. El volumen corriente es medido y si es necesario, se incrementa mediante elevación del nivel de CPAP o se disminuye mediante un aumento de la presión de liberación.

VENTILACION CON RELACION INSPIRACION:ESPIRACION INVERSA

En la medida en que el objetivo de apoyar mecánicamente la función ventilatoria se ha definido mejor, el manejo de las variables dependientes en los ventiladores convencionales se ha hecho con mayor libertad y, algunas veces incluso, de manera más razonada.

En presencia de hipoxemia refractaria el clínico enfrenta uno de sus mayores retos. La experiencia en estas condiciones mantiene abierta toda posibilidad para que aparezcan propuestas nuevas de ventilación como alternativas a emplear en esos casos. Es esta la situación con la modalidad de ventilar artificialmente los pulmones con relación inversa (IRV por sus siglas en inglés).

Es esta una opción más para asistencia mecánica de la función pulmonar mediante presión positiva, la cual puede controlarse por volumen o por el nivel de presión en el circuito del paciente. Su carácter especial, sin embargo, se fundamenta en establecer la relación del tiempo inspiratorio:espiratorio (I:E) del ciclo de ventilación en una proporción superior a 1:1 (¹³).

La utilización de un tiempo inspiratorio prolongado ha sido utilizado predominantemente en pacientes con síndrome de insuficiencia respiratorio progresivo del adulto (SIRPA). En condiciones normales de ventilación espontánea, la relación de tiempo I:E varía entre 1:2 y 1:3. Con IRV, el T_I se prolonga hasta el punto de invertir la relación normal, en ocasiones hasta índices de 4:1. En teoría, IRV sería capaz de mejorar el intercambio gaseoso (oxigenación principalmente) con niveles proporcionalmente menores de presión pico de la vía aérea. La base fisiológica para el uso de un T_I extendido es manipular el patrón de aplicación de la presión para obtener reclutamiento alveolar sin producir sobredistensión de unidades pulmonares relativamente normales. Es importante revisar en este momento la relación entre presión media de la vía aérea y las presiones que determinan el volumen alveolar. Presión media de la vía aérea es la presión promedio de la vía aérea durante la totalidad del ciclo respiratorio. Por otro lado, la presión alveolar media es la presión promedio que distiende los alveolos en contra del retroceso elástico

torácico y pulmonar. Dentro de un rango razonable de presión media de la vía aérea, una relación lineal entre la presión media y oxigenación ha sido descrita a partir de estudios realizados en modelos animales de daño pulmonar así como en algunos estudios que incluyeron adultos con SIRPA.

La prolongación del tiempo inspiratorio, incrementa la presión media, sin incrementar la presión pico de la vía aérea a pesar de mantener un volumen corriente y PEEP constantes, siempre y cuando el tiempo espiratorio sea suficiente para evitar hiperinflación dinámica (auto-PEEP). Si el tiempo espiratorio es insuficiente, la presión alveolar al final de la espiración se elevará por arriba del nivel de PEEP prefijado, especialmente en unidades con elevada resistencia espiratoria. Aunque diversos autores han propuesto la generación deliberada de auto-PEEP como un método de reclutar alveolos y mejorar la oxigenación, esto se logra a un “precio” muy elevado. El auto-PEEP incrementará la presión pico de la vía aérea durante la ventilación mecánica ciclada por presión, mientras que disminuirá el volumen corriente durante ventilación mecánica con presión prefijada. Aún más, el nivel de auto-PEEP diferirá ampliamente entre las unidades pulmonares sanas y las más enfermas, fomentando mayores diferencias regionales en la relación V/Q.

Como se mencionó antes, esta forma de ventilación puede ser aplicada con formas de ventilación cicladas por tiempo y limitadas por presión o por ventilación mecánica ciclada por volumen. Uno de los factores que determinarán la elección de uno u otro método será la preferencia del clínico de garantizar un volumen corriente o de controlar acuciosamente la presión pico. Durante ventilación mecánica controlada por presión, el ventilador aplica una onda “cuadrada” de presión hasta un nivel predeterminado por el clínico. Es el clínico quien también prefija el tiempo inspiratorio, ya sea como un porcentaje del tiempo total o bien en segundos para producir un índice I:E determinado. El flujo inspiratorio es inicialmente alto pero declina aceleradamente conforme se eleva la presión alveolar. La evidencia científica con que contamos indica que un flujo en desaceleración es preferible que el flujo constante en términos de oxigenación⁽¹³⁾. Es evidente que con esta forma de control de la ventilación con IRV, la presión pico es controlada de manera precisa, aunque el volumen corriente puede sufrir variaciones. Cuando se utiliza ventilación mecánica ciclada por volumen, la relación I:E puede incrementarse disminuyendo el flujo inspiratorio, agregando una pausa al final de la fase inspiratoria, o bien

utilizando un flujo en desaceleración. A diferencia de IRV-CP, la relación I:E no puede fijarse directamente y estará en función del flujo inspiratorio y de la frecuencia ventilatoria. Para un mismo volumen corriente e índice I:E, la aplicación de una pausa inspiratoria producirá una mayor presión media de la vía aérea que un flujo inspiratorio lento o un patrón de flujo en desaceleración (¹⁴). La implementación de IRV-CV con patrón de flujo en desaceleración puede proveer teóricamente las ventajas en oxigenación intrínsecas al patrón de flujo y un volumen corriente garantizado (^{15,16}).

La hipoxemia refractaria con daño pulmonar difuso es, quizás, la mejor indicación clínica de IRV. Una de sus limitaciones sin embargo, es la necesidad de sedación profunda y muchas veces de relajación neuromuscular, en prevención de asincronía entre el ventilador y el paciente ya que esto deteriora el intercambio de gases y expone a barotrauma.

En segundo lugar, un incremento sostenido en la presión media de la vía aérea puede producir efectos deletéreos en el tejido pulmonar y en el aparato cardiovascular. Un mayor riesgo para barotrauma ha sido descrito, así como un incremento en la incidencia de edema pulmonar agudo no cardiogénico. Finalmente, el gasto cardíaco y por ende el aporte de oxígeno a los tejidos puede declinar conforme se incrementa la presión media de la vía aérea y se genera auto-PEEP. Este efecto se observa con mayor frecuencia conforme la relación I:E sobrepasa un índice de 2:1, aunque es poco predecible en su magnitud.

En vista de estas complicaciones potenciales, la utilización de ventilación mecánica con relación inversa deberá considerarse únicamente cuando el apoyo ventilatorio convencional sea incapaz de producir una adecuada oxigenación sin utilizar niveles excesivamente altos de PEEP, fracción inspirada de oxígeno o presión pico de la vía aérea.

GENERALIDADES

Lo común es que, en toda revisión, las generalidades del tema a tratar se incluyan al inicio del escrito. En ese sentido, este trabajo queda fuera de lo común. Sin embargo, después de describir el concepto global de apoyo ventilatorio mecánico y algunas de sus modalidades convencionales mas conocidas en la actualidad no es difícil confundirse ni resulta fácil concluir. Generalidades, por tanto, viene a ser en este caso un intento por puntualizar algunos aspectos generales de la ventilación artificial.

A quienes interese, estos conceptos generales y básicos pudieran representar la invitación por conocer con mayor detalle lo que de una manera, exageradamente simple tal vez, se ha tratado en este escrito. Desde un punto de vista muy personal los puntos generales que considero de beneficio puntualizar se enumeran a continuación:

1. La ventilación mecánica de los pulmones es solamente una manera de movilizar, hacia adentro y hacia afuera, un determinado volumen de gas. La respiración es un proceso mucho mas complejo.
2. Existen actualmente estrategias muy diversas para ofrecer apoyo ventilatorio mecánico, sin embargo, con todas ellas, lo común es el empleo de presión positiva como principio elemental de funcionamiento.
3. En cualquier situación en la que se decida apoyar mecánicamente la función ventilatoria los equipos a emplear deben ser programados en una serie de variables que definan las características de nuestro apoyo (Ejemplo: Volumen Corriente, Presión Inspiratoria, Flujo, Fracción Inspirada de gas, Relación I:E, Frecuencia, Etc.)
4. La selección adecuada de estas variables exige conocimientos amplios de fisiología respiratoria, de la mecánica de la ventilación y experiencia en el manejo de los equipos.
5. Ninguna forma de ventilación mecánica, hasta ahora, tiene comprobadamente el perfil ideal de constituir una seguridad de apoyo. En

todo caso, es el clínico y la ayuda de estudios de laboratorio y gabinete lo que ofrece confiabilidad en el manejo.

6. Los aspectos que se han considerado en este trabajo, respecto a las distintas modalidades convencionales disponibles hoy, no han sido más que descriptivos y de ninguna manera suficientes para pretenderse conocidas por la sola revisión.
7. Aunque para nada se tocaron en esta revisión, conviene mencionar en forma complementaria que existen otras propuestas, no convencionales, que se han desarrollado y se encuentran disponibles para apoyo ventilatorio. Tal sería el caso de Ventilación de Alta Frecuencia, Ventilación de Flujo Constante, Difusión Apnéica, Oxigenación por Membrana Extracorpórea, Ventilación con Presión Positiva de Baja Frecuencia con Remoción Extracorpórea de Bióxido de Carbono, Etc.

BIBLIOGRAFIA

1. Chatburn RL. Classification of Mechanical Ventilators. In: Tobin MJ, editor. Principles and Practice of Mechanical Ventilation. New York, NY: McGraw-Hill, Inc, 1994: 37-64.
2. Hubmayr RD. Setting the Ventilator. In: Tobin MJ, editor. Principles and Practice of Mechanical Ventilation. New York, NY: McGraw-Hill, Inc, 1994: 191-206.
3. American Association of Respiratory Care. Consensus statement on the essentials of mechanical ventilation-1992. *Respi Care* 1992; 37: 1000-8.
4. Weisman IM, et al. Intermittent mandatory ventilation. *Am Rev Respir Dis* 1983; 127: 641-7.
5. Whaba RWM. Pressure support ventilation. *J Cardiothorac Anaesth* 1990; 4: 624-30.
6. MacIntyre NR. Respiratory function during pressure support ventilation. *Chest* 1986; 89: 677-83.
7. Kacmarek RM. The role of pressure support ventilation in reducing work of breathing. *Respir Care* 1988; 33: 99-120.
8. Brochard L, et al. Improved efficacy of spontaneous breathing with inspiratory pressure support. *Am Rev Respir Dis* 1987; 136: 411-5.
9. Younes M. Proportional assist ventilation, a new approach to ventilatory support: theory. *Am Rev Respir Dis* 1992; 145: 114-20.
10. Younes M, et al. Proportional assist ventilation: results of an initial clinical trial. *Am Rev Respir Dis* 1992; 145: 121-92.
11. Downs JB, Stock MC. Airway pressure release ventilation: a new concept in ventilatory support. *Crit Care Med* 1987; 15: 459-61.
12. Stock MC, Downs JB, Frolicher DA. Airway pressure release ventilation. *Crit Care Med* 1987; 15: 462-6.
13. Al-Saady N, Bennett E. Decelerating inspiratory flow waveform improves lung mechanics and gas exchange in patients on IPPV. *Int Care Med* 1985; 11: 68-75.
14. Lain D, et al. Pressure control inverse ratio ventilation as a method to reduce peak inspiratory pressure and provide adequate ventilation and oxygenation. *Chest* 1989; 95: 1081-8.
15. Tharratt R, Allen R, Albertson T. Pressure controlled inverse ratio ventilation in severe adult respiratory failure. *Chest* 1988; 94: 755-62.

16. Mercy T, Marini J. Inverse ratio ventilation: rationale and implementation. Chest 1991; 100: 494-504.