

TRABAJOS DE REVISIÓN

MODOS DE VENTILACION MECANICA

Unidad de Cuidados Intensivos
Hospital Universitario Calixto García

Dr. Abilio Arnaldo Hernández García¹ y Dr. Alfredo Triolet Gálvez¹

RESÚMEN

El empleo de la ventilación mecánica (VM) permite mejorar los síntomas y reducir las complicaciones de la insuficiencia respiratoria aguda (IRA). Los recientes avances en la tecnología de los microprocesadores han incrementado la sofisticación de los ventiladores mecánicos, hecho que ha comportado la aparición de nuevas modalidades ventilatorias. Este artículo tiene como objetivo la descripción de las modalidades ventilatorias disponibles, agrupadas en modalidades convencionales, modalidades alternativas y nuevas modalidades. En las convencionales, se describen aquellas que son más ampliamente empleadas; en las alternativas, aquellas cuyo uso es menos habitual, y en nuevas modalidades se incluyen las que han sido recientemente introducidas y están disponibles en los ventiladores mecánicos de última generación.

Palabras Clave: Ventilación mecánica. Insuficiencia respiratoria aguda.

¹ Especialista de I Grado en Medicina Interna. Diplomado en Cuidados Intensivos

INTRODUCCIÓN

Aunque el concepto de respiración artificial se reconoció en el siglo XVI por Vesalius,¹ no fue hasta el siglo XX que la ventilación mecánica se volvió una modalidad terapéutica ampliamente usada.

Durante los últimos 30 años, ha habido una explosión de nuevas técnicas ventilatorias que presentan una serie desconcertante de alternativas para el tratamiento de pacientes con fracaso respiratorio agudo sobre todo durante la última década. Desgraciadamente, aunque el número de opciones disponibles al médico ha parecido aumentar exponencialmente, los ensayos clínicos bien controlados definiendo el papel específico para cada uno de estos modos de ventilación y comparándolos con otros modos de ventilación no han aparecido de manera rápida. Además, durante los últimos años, nuestra comprensión de los efectos beneficiosos y perjudiciales de la ventilación mecánica ha aumentado, junto con las nuevas estrategias por limitar estos efectos negativos.

Los recientes avances en la tecnología de los microprocesadores han incrementado la sofisticación de los ventiladores mecánicos, hecho que ha comportado la aparición de nuevas modalidades ventilatorias.

Los ventiladores, además de permitir suplir las necesidades de un grupo más variado de pacientes, proporcionan unas amplias capacidades de monitorización del paciente y del sistema, hecho que repercute en la seguridad del paciente, siempre que el equipo asistencial conozca sus prestaciones y valore de forma eficaz la interacción paciente-ventilador.

No existe acuerdo en la actualidad para protocolizar un patrón único de ventilación para todas las afecciones pulmonares o extrapulmonares que la indican. Como existen diversas alternativas, la elección del modo de Ventilación Mecánica debe considerar:

- a) El objetivo preferente de la Ventilación Mecánica.

- b) La causa y tipo del fracaso respiratorio; su carácter agudo o crónico.
- c) Si la patología pulmonar es obstructiva o restrictiva.
- d) El patrón ventilatorio y estado hemodinámico del paciente.

Además, para el mismo enfermo, su situación clínica y fisiopatológica varía en el tiempo, por lo que hay que adaptar a ella el régimen del respirador.

El primer punto es discernir si hay necesidad de suplir total o parcialmente la función ventilatoria del paciente. Luego, seleccionar el modo más apropiado en consonancia con el estado del paciente y los objetivos pretendidos con la Ventilación Mecánica.

Los modos de Ventilación Mecánica se definen por la variable controlada en dos grandes grupos: ventilación volumétrica y ventilación barométrica. Posteriormente, las variables de fase deciden si el modo es controlado, asistido o presión soporte, u otros.

Existe acuerdo general sin embargo, en los principios que deben guiar el uso de la ventilación mecánica.²

1. Para minimizar los efectos colaterales, los objetivos fisiológicos de la ventilación mecánica no tienen que estar en el rango normal. Por ejemplo, a veces puede ser beneficioso permitir una PaCO₂ aumentada en lugar de los riesgos que provoca la hiperinsuflación pulmonar.
2. La sobredistensión alveolar puede causar daño alveolar o barotrauma y las maniobras para prevenirlo deben instituirse si es necesario. Debe reconocerse que las causas de lesión pulmonar inducida por el respirador es de causa multifactorial. La presión meseta es el mejor parámetro, clínicamente aplicable de promedio de la presión alveolar máxima, para evitar de esa manera la sobredistensión alveolar. La presión meseta alta (>35 centímetros de H₂O) puede causar más daño en los pacientes que los valores altos de FIO₂.

3. La hiperinsuflación dinámica (HD) (auto PEEP o PEEP intrínseca) a menudo pasa inadvertida y debe medirse o estimarse, sobre todo en los pacientes con obstrucción de la vía aérea. El tratamiento debe dirigirse hacia limitar el desarrollo de la HD y sus consecuencias adversas en estos pacientes.

Definiciones

- **Objetivos de la Ventilación**

Mecánica: Asegurar que el paciente reciba mediante la ventilación pulmonar, el volumen minuto apropiado requerido para satisfacer las necesidades respiratorias del paciente, sin provocar daño a los pulmones, ni dificultar la función circulatoria, ni tampoco aumentar el discomfort del paciente.³

- **Modalidades** (de la operación del ventilador): La forma mediante la cual un ventilador alcanza los objetivos de la ventilación mecánica. Una modalidad puede identificarse o clasificarse especificando una combinación de:³

- Patrón respiratorio producido (control respiratorio primario variable y secuencia respiratoria).

- Tipo de control (clasificación de la estrategia de alto nivel: ajuste de control jerárquico, autocontrol jerárquico, ajuste de control adaptativo).

- Estrategia específica (variables de fase, lógica operacional, valores de parámetros).

- **Secuencia Respiratoria:** Hay tres secuencias respiratorias posibles denominadas de la siguiente forma:³

- *Ventilación Obligada Continua (CMV):* Todas las respiraciones son obligadas.
- *Ventilación Espontánea Continua (CSV):* Todas las respiraciones son espontáneas.
- *Ventilación Mandatoria Intermitente (IMV):* Las respiraciones pueden ser mandatorias o espontáneas. Las respiraciones pueden ocurrir separadamente (ej.: IMV) o las respiraciones pueden sobre imponerse

una a la otra (ej.: Las respiraciones espontáneas sobre impuestas sobre las respiraciones mandatorias como en "bilevel" (BIPAP) la Ventilación de Liberación de Presiones en vía aérea (APRV) o las respiraciones mandatorias sobre imponerse sobre las respiraciones espontáneas como en la Ventilación de Alta Frecuencia administrada durante la respiración. Cuando la respiración mandatoria se dispara por el paciente se refiere comúnmente como mandatoria sincronizada (SIMV). Sin embargo, dado que la variabilidad en el disparo puede especificarse en la descripción de las fases variables, usaremos IMV en vez de SIMV para designar las secuencias respiratorias generales.

- **Presión Transrespiratoria:** La diferencia de presión en los pulmones, vías aéreas (incluyendo todo o parte del circuito respiratorio) y la pared torácica. Presión en vías aéreas menos la presión sobre la superficie corporal ($P_{aw} - P_{bsa}$). De manera rutinaria, referida simplemente como "presión transrespiratoria".³
- **Variable de control:** Las variables (ej.: presión, volumen o flujo), que manipula el ventilador para causar inspiración. De acuerdo con la ecuación del movimiento del sistema respiratorio, si la presión transrespiratoria (TRP), es la variable de control, entonces el volumen y el flujo son dependientes de la resistencia del pulmón, la pared torácica y el circuito respiratorio, así como de la distensibilidad y el esfuerzo muscular. Si el volumen o el flujo son las variables de control, entonces la TRP es dependiente de las resistencias del pulmón, la pared torácica y del circuito respiratorio, así como de la distensibilidad y el esfuerzo muscular. Solo puede manipularse una variable y sirve como el control variable en un momento dado durante la inspiración.³
- **Variable de fase:** Una variable (presión, volumen, flujo o tiempo) que es medida y usada por el ventilador para iniciar alguna fase del ciclo respiratorio. El "trigger" variable comienza la inspiración; el límite variable ajusta el valor máximo (amplitud) que el control variable puede lograr antes que termine la inspiración; el ciclo variable

termina la inspiración. Ej. una inspiración en particular puede ser disparada por flujo, limitada por presión y ciclada por tiempo. Algunos de los nuevos ventiladores permiten al operador ajustar el valor de umbral de ciclo en las respiraciones cicladas por flujo en la modalidad presión soporte. A los ajustes de alarma se les refiere frecuentemente como "límites", lo que es inapropiado si terminan la inspiración. Para evitar confusión se les debe llamar ajuste de alarma o umbrales.³

- **Control Dual:** Un esquema de control en el cual el ventilador puede cambiar entre volumen control y presión control. Los equipos incluyen:³
 - La inspiración esta controlada por presión en las respiraciones, pero la presión límite se ajusta automáticamente entre las respiraciones para lograr un volumen tidal deseado en presencia de cambios en la mecánica pulmonar y la mecánica pulmonar ventilatoria.
 - La inspiración cambia entre presión control y volumen control en una respiración dependiendo de la mecánica pulmonar y la mecánica pulmonar ventilatoria.
 - **Tipo de Control:** La categorización de la función de control de alto nivel del ventilador. El control tipo especifica la variación del control y cómo será manipulada (ej.: cuál perfil se producirá). Hay variedad de formas para manipular las variables de control durante la ventilación mecánica. Las dos categorías básicas son: Control de Asa Abierta (Open Loop Control) y Control de Asa Cerrada (Closed Loop Control).³
 - **Control de Asa Abierta (Open Loop Control):** La salida del gas se controla mediante la entrada determinada por el operador (ej.: Flujo y Tiempo Inspiratorio) y alteraciones en el medio (Ej. Escapes en el circuito, cambios en la mecánica pulmonar y el esfuerzo muscular respiratorio). Las salidas de gases no se miden y por lo tanto no se usan para hacer ajustes correctivos.
 - **Control de Asa Cerrada (Closed Loop Control),**

Retroalimentación negativa):

La salida del gas se mide proporcionando una señal de retroalimentación que puede compararse con el valor de entrada. En el sistema clásico de control por retroalimentación negativa, al censarse una diferencia entre la entrada y salida de gases se genera una señal de error usada para ajustar la salida de forma tal que se equipare a la entrada. El control por retroalimentación fuerza la salida de gas a ser estable en presencia de alteraciones del medio (Ej. Fugas del circuito, cambio en la mecánica pulmonar

y en el esfuerzo muscular respiratorio). Note que la señal por retroalimentación puede ser eléctrica, Ej. a partir de un transductor de presión electrónico o mecánico (algunas válvulas de CPAP). En tales dispositivos, un muelle proporciona el ajuste de entrada y la posición del diafragma (una medición de la presión gaseosa es la señal de retroalimentación. Cuando la fuerza causada por la presión excede la carga del muelle. El diafragma se reflexiona liberando gas a la atmósfera para la liberar la presión.

Clasificación de las Modalidades Ventilatorias

Tabla 1 Modalidades ventilatorias convencionales

- Ventilación Asistida-Controlada. ACV.
- Ventilación Mandatoria Intermitente Sincronizada. SIMV.
- Ventilación con Presión de Soporte. PSV.

Tabla 2 Modalidades ventilatorias alternativas

- Ventilación Controlada a Presión. PCV.
- Ventilación con relación I:E invertida.
- Hipercapnia permisiva.
- Ventilación mandatoria minuto. VMM.
- Ventilación con liberación de presión. APRV.
- Presión bifásica positiva en la vía aérea. BIPAP.
- Presión positiva continua en la vía aérea. CPAP
- Ventilación de alta frecuencia. HFV.

Tabla 3 Nuevas modalidades ventilatorias

Modalidades de control dual

1. En el mismo ciclo
 - Aumento de presión
Presión de soporte con volumen asegurado. VAPS.
2. Ciclo a ciclo
 - a) Limitadas a presión y cicladas a flujo
 - Volumen asistido. VA
 - Presión de soporte variable. VPS
 - b) Limitadas a presión y cicladas a tiempo
 - Ventilación controlada a volumen y regulada a presión. PRVC.
 - Ventilación con soporte adaptativo. APV
 - Autoflow
 - Control de presión variable.

Sincronía paciente-ventilador

- Automode.
- Compensación automática del tubo endotraqueal. ATC.
- Flow-by o flujo continuo.
- Patrón espontáneo amplificado. PEA.
- Ventilación asistida proporcional. PAV.
- Ventilación líquida.

Descripción de los Modos Ventilatorios

MODALIDADES VENTILATORIAS CONVENCIONALES

1. Asistida-controlada. (A/C CMV)

El soporte ventilatorio mecánico total asistido-controlado es la modalidad más básica de VM, se emplea en aquellos pacientes que presentan un aumento considerable de las demandas ventilatorias y que por lo tanto necesitan sustitución total de la ventilación. La modalidad asistida-controlada permite iniciar al paciente el ciclado del ventilador partiendo de un valor prefijado de frecuencia respiratoria (f) que asegura, en caso de que éste no realice esfuerzos inspiratorios, la ventilación del paciente. Para que esto suceda, el valor de "trigger" (sensibilidad) deberá estar fijado en un nivel ligeramente inferior al de autociclado del ventilador.⁴ En función de cuál sea la variable que se prefije en el ventilador, la modalidad asistida-controlada puede ser controlada a volumen o controlada a presión. En la controlada a volumen se fijan los valores de volumen circulante y de flujo, siendo la presión en la vía aérea una variable durante la inspiración. El aspecto más novedoso introducido recientemente en la modalidad de controlada a volumen es la ventilación con hipercapnia permisiva que se describe más adelante.

2. Ventilación mandatoria intermitente sincronizada. (SIMV)

La ventilación mandatoria intermitente sincronizada permite al paciente realizar respiraciones espontáneas intercaladas entre los ciclos mandatorios del ventilador, la palabra sincronizada hace referencia al período de espera que tiene el ventilador antes de un ciclo mandatorio para

sincronizar el esfuerzo inspiratorio del paciente con la insuflación del ventilador. Cuando se emplea con f elevadas cubre las demandas ventilatorias del paciente, siendo equiparable a la ventilación asistida-controlada convencional. Empleada con frecuencias bajas, la SIMV permite la desconexión progresiva de la Ventilación Mecánica (VM). A pesar de que estudios recientes han demostrado que, comparativamente con otras técnicas, la SIMV prolonga el período de desconexión de la VM,⁵ su uso está ampliamente extendido⁽⁶⁾. Recientemente se ha asociado su empleo a la presión de soporte, de manera que puede ajustarse un valor de presión de soporte para los ciclos espontáneos del paciente. En términos de confort, valorado como la no percepción subjetiva de disnea y ansiedad, no se han observado diferencias al comparar la SIMV y la PSV durante la retirada progresiva de la VM.

3. Ventilación con presión de soporte. (PSV)

La ventilación con presión de soporte (PSV) es una modalidad asistida, limitada a presión y ciclada por flujo, que modifica el patrón ventilatorio espontáneo, es decir, disminuye la frecuencia respiratoria y aumenta el volumen circulante. El ventilador suministra una ayuda a la ventilación, programada a partir del nivel de presión de soporte. La presión se mantiene constante durante toda la inspiración, y de forma paralela el flujo disminuye progresivamente hasta alcanzar el nivel que permite el inicio de la espiración. Esta modalidad de soporte parcial es ampliamente usada, ya que permite sincronizar la actividad respiratoria del paciente con el ventilador al responder a los cambios de la demanda ventilatoria del paciente. Además, preserva el trabajo

respiratorio y reduce la necesidad de sedación y curarización, facilitando por lo tanto la desconexión de la VM.⁷

MODALIDADES ALTERNATIVAS

1. Ventilación controlada a presión. (PCV)

La ventilación controlada a presión se propone con la finalidad de limitar la presión alveolar. En esta modalidad se ajusta el nivel de presión inspiratoria que se desea utilizar, la frecuencia respiratoria y la duración de la inspiración, y son variables el volumen circulante y el flujo. La limitación más destacable es el riesgo de hipoventilación y los efectos que se pueden producir debido a las modificaciones en el volumen. Por este motivo, es frecuente asociar la utilización de la ventilación controlada a presión con la relación I:E invertida, ya que la prolongación del tiempo inspiratorio puede de alguna manera evitar la hipoventilación.⁸

2. Ventilación con relación I:E invertida. (IRV)

La relación I:E (inspiración:espiración) convencional es de 1:2 a 1:4. La ventilación con relación I:E invertida, es decir, con ratios superiores a 1:1, puede asociarse a ventilación controlada a volumen o controlada a presión⁽⁹⁻¹⁰⁾. El hecho de que la inspiración sea más alargada evita, como se ha comentado, la hipoventilación en el caso de que se asocie a ventilación controlada a presión. El acortamiento del tiempo espiratorio impide el completo vaciado pulmonar, de forma que se produce atrapamiento pulmonar, con la consiguiente aparición de auto-PEEP. Esta auto-PEEP se debe monitorizar regularmente mediante una maniobra de pausa espiratoria, ya que en ventilación controlada a volumen genera un aumento de la presión de la vía aérea y en ventilación controlada a presión comporta una disminución del volumen circulante.¹¹

Estudios recientes no demuestran ningún beneficio evidente del empleo de la ventilación con relación I:E invertida, y la ventilación controlada a presión en relación

a la clásica controlada a volumen⁽¹²⁾. Cuando se emplea esta modalidad ventilatoria el paciente puede precisar dosis de sedación elevadas e incluso la administración de relajantes musculares.

3. Hipercapnia permisiva. (PH)

Para garantizar la normocapnia durante la VM, a veces deben emplearse volúmenes circulantes elevados, con el consiguiente aumento de la presión en la vía aérea, la aparición de alteraciones hemodinámicas y el riesgo de baro/volutrauma. La ventilación con hipercapnia permisiva tiene como finalidad el disminuir la incidencia de baro/volutrauma al ventilar al paciente con volúmenes circulantes alrededor de 5 ml/kg, sin que éstos generen presiones en la vía aérea superiores a 35 mmHg. Este tipo de ventilación produce una acidosis respiratoria por hipercapnia, hecho que incrementa el estímulo central y hace que los pacientes requieran dosis elevadas de sedación y a menudo curarización. Su empleo está contraindicado en las situaciones de hipertensión endocraneal, patologías convulsionales y en la insuficiencia cardiocirculatoria. Algunos estudios demuestran que la ventilación con hipercapnia permisiva reduce la incidencia de barotrauma y mejora la supervivencia en pacientes con lesión pulmonar aguda, junto con una reducción de la duración de la ventilación, de la estancia media en la UCI y de las infecciones pulmonares.¹³

En dos estudios recientes se ha comparado de forma prospectiva y randomizada los efectos de la ventilación con hipercapnia permisiva vs la ventilación convencional. En el estudio de Amato¹⁴ la incidencia de barotrauma fue claramente diferente en los dos grupos, 42 % en el grupo control y 7 % en el grupo tratado con hipercapnia permisiva, pero no se observaron diferencias significativas entre las dos modalidades en la mortalidad al alta del hospital. En el estudio multicéntrico de Brochard realizado en 116 pacientes con SDRA, de forma randomizada se ventilaba a los pacientes con V_T inferior a 10 ml/kg de peso y limitando la presión meseta a 25 cmH₂O, constituyendo este grupo el de la hipercapnia permisiva, o con V_T superior a

10 ml/kg de peso y sin límite de presión, formando estos pacientes el grupo control. En los resultados obtenidos no se observaron diferencias significativas en la mortalidad a los 60 días (47 % en el grupo de la hipercapnia permisiva vs 38 % en el grupo control, $p= 0,38$), ni en la incidencia de neumotórax (14% vs 12 % grupo de hipercapnia, grupo control respectivamente $p= 0,78$). Queda por tanto todavía por demostrar si esta modalidad ventilatoria representa una terapéutica eficaz para modificar el pronóstico de los pacientes con SDRA.

4. Ventilación mandatoria minuto. (MMV)

En la década de los setenta Hewlett et al¹⁵ propusieron la ventilación mandatoria minuto (VMM) como modalidad para desconectar a los pacientes de la VM. Esta modalidad garantiza un nivel mínimo de ventilación minuto para cubrir las demandas del paciente, el paciente decide la frecuencia respiratoria (b) y el ventilador ajusta los parámetros en función de su respuesta. El modo de funcionamiento varía de un ventilador a otro, se ajusta un volumen minuto mínimo y teniendo en cuenta el volumen minuto espontáneo del paciente, el ventilador administra el volumen minuto restante modificando la f o el V_T . En un estudio de Lemaire en el que se valoraban los efectos de la VMM en 10 pacientes afectados de IRA, se puso de manifiesto que la VMM proporcionaba una ventilación adecuada y segura si se ajustaba el apropiado soporte ventilatorio. A pesar de ser una modalidad ampliamente descrita en la literatura, su uso rutinario es poco frecuente.¹⁶

5. Ventilación con liberación de presión (APRV)

La APRV combina los efectos positivos de la presión positiva continua en la vía aérea (CPAP), con el incremento en la ventilación alveolar obtenido por el descenso transitorio de la presión en la vía aérea desde el nivel de CPAP a un nivel inferior. La ventilación con liberación de presión proporciona períodos largos de insuflación, intercalados con períodos breves de

deflación pulmonar. Es una modalidad de soporte ventilatorio parcial ciclada por el ventilador o por el paciente y en la que durante el período de insuflación el paciente puede respirar espontáneamente. Su principal ventaja radica en el hecho de que la presión en la vía aérea se puede fijar en un nivel modesto, y además como la presión se mantiene durante un período más largo del ciclo respiratorio se produce un reclutamiento alveolar. En teoría, los breves períodos de deflación no permiten el colapso alveolar, pero sí es suficiente para que el intercambio de gases no se vea afectado por el aclaramiento de CO_2 . La experiencia clínica es limitada, pero los primeros datos demuestran que se produce un correcto intercambio de gases y además se produce una coordinación con el paciente, a pesar de que sea un patrón respiratorio inusual.¹⁷

6. Presión bifásica positiva en la vía aérea. (BIPAP) (Bilevel)

La presión bifásica positiva en la vía aérea (BIPAP) es, al igual que la APRV, otra modalidad controlada a presión y ciclada a tiempo. La duración de cada fase con su nivel correspondiente de presión se puede ajustar de forma independiente. Permite al paciente inspirar de forma espontánea en cualquier momento del ciclo respiratorio. En caso de que el paciente no realice ningún esfuerzo inspiratorio, el comportamiento del respirador será el mismo que en ventilación controlada a presión.¹⁸

7. Presión positiva continua en la vía aérea. (CPAP)

Es una modalidad de respiración espontánea con PEEP, en la cual se mantiene una presión supraatmosférica durante todo el ciclo ventilatorio. El flujo debe ser alto para garantizar un aporte de gas elevado, superior a los requerimientos del paciente y las oscilaciones de presión pequeñas (< 5 cm. H_2O) para no provocar trabajo respiratorio excesivo.

Hay dos formas de practicarla: a) a través del respirador con válvula de demanda b) con sistema de flujo continuo, que necesita caudalímetros de alto débito y balón-reservorio de gran capacidad para

estabilizar el flujo y la presión y amortiguar sus variaciones; se puede aplicar con máscara facial sin vía aérea artificial como una modalidad de ventilación mecánica no invasiva.

8. Ventilación de alta frecuencia. (HFV)

La ventilación de alta frecuencia se experimentó por primera vez en perros en 1967. De forma general se define como el soporte ventilatorio que utiliza frecuencias respiratorias superiores a las habituales, alrededor de 100 respiraciones por minuto en adultos y de 300 en pacientes pediátricos o neonatales. Para poder suministrar gas a estas frecuencias se deben emplear mecanismos específicos, que generalmente consisten en osciladores o "jets" de alta frecuencia, ya que los ventiladores convencionales no pueden trabajar a frecuencias tan elevadas. Diferentes estudios han demostrado un transporte razonable de gases, pero no se han demostrado diferencias en la supervivencia, días de estancia en la UCI, ni reducción en las complicaciones al compararla con la ventilación convencional.¹⁹

NUEVAS MODALIDADES VENTILATORIAS

La tabla 3 recoge las nuevas modalidades ventilatorias propuestas con la finalidad de responder de forma efectiva a los cambios que se producen en la demanda ventilatoria del paciente y para mejorar la interacción paciente-ventilador. Algunas de las nuevas modalidades ventilatorias permiten al ventilador controlar el volumen o la presión basándose en un mecanismo de feedback de volumen. Estas modalidades reciben el nombre de modalidades de control dual. Existen dos tipos de control dual, el primero realiza modificaciones en los parámetros del ventilador dentro del mismo ciclo respiratorio y el segundo realiza las modificaciones pertinentes ciclo a ciclo, es decir, modifica el soporte en el ciclo siguiente, a partir de los datos recogidos en el ciclo anterior.²⁰

Las nuevas modalidades que prestan especial atención a la sincronía entre el

paciente y el ventilador son el Automode, la Compensación Automática del Tubo Endotraqueal, el Flow-by, el Patrón Espontáneo Amplificado y la Ventilación Asistida Proporcional. Finalmente en este apartado también se incluye la ventilación líquida, ya que es una nueva modalidad ampliamente utilizada en estudios experimentales.

1. Modalidades de control dual

a) Control dual en el mismo ciclo

En la modalidad de control dual en un ciclo, este control permite el paso de presión control a volumen control en medio del ciclo. La terminología que emplean las casas comerciales para denominar estas modalidades ventilatorias son:

- i) Aumento de presión: La ventilación comienza como controlada a presión, si el volumen no se ha entregado cuando el flujo decae, entonces la ventilación pasa a volumen control. Si la presión cae por debajo del valor ajustado entonces vuelve a control de presión.³ Está disponible en el ventilador BEAR 1000 (Allied Healthcare Products, Inc).
- ii) Soporte de presión con volumen asegurado (VAPS): El respirador asegura un volumen tidal predeterminado a una mínima de presión, en modalidad de los ventiladores TBird y Bird 8400ST (Bird Corp., Palm Springs, CA). La descripción inicial de esta modalidad ventilatoria la realizó Amato,²¹ en un estudio realizado en ocho pacientes con IRA, y observaron una reducción del 50% en el trabajo respiratorio, al comparar la VAPS con la ventilación controlada a volumen clásica.

b) Control dual ciclo a ciclo

En las modalidades de control dual ciclo a ciclo, el límite de presión de cada ciclo aumenta o disminuye en función del volumen circulante del ciclo previo. Dependiendo de si es el flujo o el tiempo el responsable de finalizar la inspiración, la ventilación limitada a presión puede ser ciclada a flujo o ciclada a tiempo⁽³¹⁾.

- **Limitadas a presión y cicladas a flujo**

Las nuevas modalidades de ventilación limitada a presión y ciclada a flujo son:

- a) **Volumen soporte o volumen asistido. (VA)** (Siemens 300; Siemens-Elema AB, Solna, Sweden).
- b) **Presión de soporte variable. (VPS)** (Venturi; Cardiopulmonary Corporation, New Haven, CT).

En estas modalidades, se programa un V_T y un volumen minuto deseados, así como una f de referencia, y el ventilador, de forma automática en cada ciclo, calcula y ajusta el nivel de presión de soporte necesario para conseguir el volumen prefijado en función de la mecánica pulmonar del paciente. Durante este tipo de ventilación se debe prestar atención a las alarmas de volumen espirado mínimo y máximo. Las alarmas que responden a un alto o bajo volumen espirado pueden indicar cambios en la constante de tiempo del sistema respiratorio, pérdidas alrededor del tubo endotraqueal o de los pulmones o desconexión del circuito del paciente. En la actualidad no existen estudios que evalúen estas técnicas.²²

- **Limitadas a presión y cicladas a tiempo**

En las nuevas modalidades de ventilación limitada a presión y ciclada a tiempo, se emplea el volumen como un control de feedback para ajustar de forma continua el límite de presión. La supuesta ventaja de estas modalidades es el mantenimiento de un pico mínimo de presión que permite administrar un volumen predeterminado y la desconexión automática del paciente cuando éste mejora. Dentro de estas modalidades se incluye:

- a) Ventilación controlada a volumen y regulada a presión. (PRVC): Se ajusta la presión a su menor nivel posible entregando el volumen

prefijado (Siemens 300; Siemens-Elema AB, Solna, Sweden).²³

- b) Ventilación con soporte adaptativo. (ASV): El volumen minuto entregado se basa en el peso corporal ideal del paciente y el porcentaje del Volumen Minuto (VM) que debe aportarse. Durante cada inspiración el ventilador determina la mecánica pulmonar del paciente en cada respiración y a continuación ajusta la frecuencia, Volumen Tidal (VT) y la relación I:E para minimizar la presión y continuar manteniendo el volumen requerido. (Hamilton Galileo; Hamilton Medical, Reno, NV).²⁴
- c) **AutoFlow:** No es una modalidad real. Es un aditamento que regula el nivel de flujo inspiratorio para generar menor presión y lograr el volumen programado. (Evita 4; Drägerwerk AG, Lübeck, Alemania).²⁵
- d) **Control de Presión Variable:** El respirador censa el volumen tidal entre cada respiración, y en la siguiente respiración aumenta la presión de soporte hasta alcanzar paulatinamente el volumen tidal deseado.

Estas modalidades tienen el mismo principio de funcionamiento, ya que incorporan las ventajas de la ventilación controlada a volumen, es decir, se asegura un V_T determinado y las ventajas de la controlada a presión, ya que limitan la presión en el valor ajustado. A pesar de ser modalidades muy interesantes no se dispone todavía de estudios suficientes que demuestren su efectividad⁽²⁰⁾.

Sincronía paciente-ventilador

1. Automode

El Automode es una modalidad disponible en el Servo Siemens 300A (Siemens-Elema AB, Solna, Sweden), que combina soporte de volumen con control de volumen regulado a presión en una única modalidad,

cambiando de una a otra en función de la actividad respiratoria del paciente.²⁰

2. Compensación automática del tubo endotraqueal (ATC)

La compensación automática del tubo endotraqueal, disponible en el Evita 4 (Drägerwerk AG, Lübeck, Alemania) y Puritan Bennet 840, compensa de forma automática la resistencia del tubo endotraqueal a través de un circuito cerrado de cálculo de la presión traqueal, ajustando la presión necesaria para garantizar el volumen tidal deseado.³

3. Flow-by o flujo continuo

El flow-by o flujo continuo, disponible en el ventilador basado en microprocesador Serie 7200 (Nellcor Puritan Bennett Inc, Coral Springs, EE. UU.), mantiene una circulación constante de gas, que tiene como finalidad cubrir de forma inmediata el esfuerzo inspiratorio del paciente. El flujo continuo es activo en todas las respiraciones, ya sean mandatorias o espontáneas, sea cual sea la modalidad elegida como soporte ventilatorio. Para activarlo, se debe ajustar el flujo de base y la sensibilidad de flujo, necesario para que el ventilador reconozca la inspiración de paciente. Para no oponer resistencia a la salida del flujo del paciente, el flujo de base se reduce de forma automática durante la espiración.³⁷ Sassoon demostró que cuando se empleaba el flujo continuo, la respuesta del ventilador al esfuerzo inspiratorio del paciente, era mucho más rápida (80 mseg) con una sensibilidad ajustada a tres litros/minuto, al compararse con un trigger de presión convencional ajustado a -1cm. H₂O, en el que la respuesta del ventilador se producía a los 250 mseg del inicio del esfuerzo del paciente.^{26,27}

3. Patrón espontáneo amplificado (PEA)

La última modalidad comercializada que favorece la sincronía paciente-ventilador, es la ventilación vectorial incorporada en el respirador Vector XXI, diseñado y fabricado por Temel S.A. Este ventilador además de disponer de todas las técnicas

actuales de ventilación, ofrece la posibilidad de ventilar con un patrón de flujo similar al del paciente. En la modalidad de espontánea ofrece la novedad de la técnica de patrón espontáneo amplificado (PEA), en la que a partir de generar una pendiente rápida de flujo, en función de la demanda del paciente amplifica su propio patrón con la finalidad de cubrir sus demandas ventilatorias. En un estudio realizado en la unidad, en el que se comparaban los efectos fisiológicos de la PEA y de la PSV sobre el trabajo y el patrón respiratorio en 11 pacientes durante la fase de retirada de la VM, se puso de manifiesto que los efectos agudos de ambos métodos ventilatorios eran similares en términos de trabajo respiratorio, cuando el soporte proporcionado por el ventilador era equivalente.^{28,29}

4. Ventilación asistida proporcional (PAV)

La ventilación proporcional asistida permite optimizar las interacciones paciente-ventilador, estableciéndose una relación más sincrónica y armoniosa. El mecanismo de control de la ventilación del propio paciente es preservado y mejorado, y se produce una menor presión en la vía aérea, así como una menor probabilidad de sobredistensión.

Es un soporte ventilatorio interactivo que utiliza ganancias de flujo y de volumen para suministrar soporte ventilatorio a partir de las demandas del paciente. Cuanto mayor es el esfuerzo del paciente, mayor es el soporte que realiza el aparato. El objetivo es asegurar la sincronía entre el paciente y el ventilador durante niveles altos y moderados de soporte ventilatorio. Los datos clínicos demuestran que este tipo de ventilación facilita la sincronía entre el paciente y el ventilador, hecho que repercute en el confort del paciente.⁴³ Recientemente, en un estudio de Ranieri, la PAV se ha utilizado con éxito para disminuir el trabajo respiratorio durante el soporte ventilatorio parcial en los pacientes EPOC.³⁰

Esta modalidad no tiene todavía aplicación clínica pero parece ser que está en

preparación en los ventiladores que se comercializarán en un futuro no muy lejano.

5. Ventilación líquida (LV)

La ventilación líquida utiliza un líquido gas soluble para reemplazar o aumentar la ventilación. La primera aplicación biomédica de la ventilación líquida fue en 1962, el líquido empleado es el perfluorocarbono, el cual se distribuye en el pulmón generando presiones de insuflación muy bajas, posee además una alta solubilidad para los gases respiratorios. Un volumen determinado de perfluorocarbono saturado con oxígeno contiene por lo menos tres veces más oxígeno que el mismo volumen en sangre o aire. Las primeras investigaciones se realizaron sumergiendo completamente al animal en el líquido y se observó que a pesar de mantener una oxigenación adecuada se producía retención de CO₂ y acidosis. Se han descrito dos técnicas, la ventilación líquida total y la ventilación líquida parcial. El fracaso de la ventilación líquida total motivó el desarrollo de la ventilación líquida parcial, en la que se combina la ventilación mecánica convencional con los principios de la ventilación líquida. El primer estudio en humanos se publicó en 1990, y puso de manifiesto que este tipo de ventilación aumentaba la compliancia, facilitaba la expansión uniforme del pulmón y mejoraba la oxigenación sin producir compromiso hemodinámico. Actualmente no existen suficientes datos para asegurar si esta técnica es útil para prolongar los períodos o afecta a la supervivencia en animales o humanos, pero están en marcha diferentes estudios multicéntricos para valorar la efectividad de la ventilación líquida en distintos grupos de pacientes.³¹

CONCLUSIONES

En un estudio reciente de Esteban et al,³² realizado en 412 UCI de siete países: España, Portugal, Estados Unidos, Argentina, Brasil, Chile y Uruguay, con 4153 pacientes, el 39 % estaba en VM al ingreso en UCI, el 47 % en la modalidad asistida controlada, el 31 % en ventilación

mandatoria intermitente sincronizada (SIMV) + presión de soporte (PS), el 15 % en PS y el 7 % restante en otras modalidades. De estos resultados se observa que el 93 % de los pacientes estaban ventilados con modalidades convencionales y que las modalidades alternativas y las nuevas modalidades están representadas por el 7% restante.

Desde la última década se dispone de nuevas modalidades ventilatorias que facilitan el destete y reducen la necesidad de una acción directa por el médico. Los clínicos deben comprender estas nuevas técnicas de ventilación y apreciar los matices en los algoritmos ventilatorios. La decisión de aplicar una modalidad particular de ventilación, sin embargo, debe basarse en una comprensión de la fisiología subyacente. Solo porque una nueva modalidad haga lo que dice hacer, no quiere decir que sea más útil, que las modalidades ya existentes. Desafortunadamente no existen datos suficientes que apoyen la efectividad de cualquier modalidad ventilatoria de destete. Cuando el ventilador se usa para destetar, la elección de una modalidad de destete en particular se determina casi siempre por las experiencias del intensivista, preferencias institucionales y la disponibilidad de ventiladores o modalidades específicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Vesalius A. De humani corporis fabrica, Lib VII, Cap. XIX: De vivorum sectione nonnulla, Basle, Operinus, 1543; 658
2. Slutsky AS.: M.D: Mechanical Ventilation. ACCP Consensus Conference. F.C.C.P (Chest 1993; 104:1833-59)
3. Chatburn RL.: A New System for Understanding Modes of Ventilation, RRT, FAARC. 2002
4. Benito S.: Sustitución total de la ventilación. En: Net A, Benito S, eds. Ventilación mecánica. 3ª ed. Barcelona: Springer-Verlag Ibérica; 1998. p. 70-9
5. Esteban A, Frutos F, Tobin MJ, Alia I, Solsona F, Vallverdú I, Fernández R,

- De la Cal MA, Benito S, Tomas R, Carriedo D, Macías D, Blanco J.: A comparison of four methods of weaning patients from mechanical ventilation. *N Engl J Med* 1995;332: 345-50
6. Esteban A, Anzueto A, Alía I et al.: Clinical characteristics of patients receiving mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159:A47
 7. Brochard L, Harf A, Lorini H, Lemaire F.: Inspiratory pressure support prevents diaphragmatic fatigue during weaning from mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis* 1989;139:513-21
 8. Marini JJ.: Pressure-controlled ventilation. En: Tobin MJ, ed. *Principles and Practice of Mechanical Ventilation*. New York: McGraw-Hill; 1994. p. 305-17
 9. Lain DC, Di Benedetto R, Morris SL et al.: Pressure-control inverse-ratio ventilation as a method to reduce peak inspiratory pressure and provide adequate ventilation and oxygenation. *Chest* 1995;95:1081-7
 10. American College of Chest Physicians Consensus Group. Mechanical ventilation. *Chest* 1993;104:1833-59
 11. MacIntyre Neil R.: New modes of mechanical ventilation. En: Nahum A, Marini JJ, eds. *Clinics in Chest Medicine. Recent advances in Mechanical Ventilation*. USA: WB Saunders Company; 1996. p. 411-22
 12. Mancebo J, Vallverdú I, Bak E et al.: Volume-controlled ventilation and pressure-controlled inverse ratio ventilation: A comparison of their effects in ARDS patients. *Monaldi Arch Chest Dis* 1994;49:201-7
 13. Hickling KG: Low-volume ventilation with permissive hypercapnia in the adult respiratory syndrome. *Clin Intensive Care* 1992;3:67-78
 14. Amato MBP, Barbas CSV, Medeiros D et al.: Beneficial effects of the «open lung approach» with low distending pressures in acute respiratory distress syndrome. A prospective randomized study on mechanical ventilation. *Am J Resp Crit Care Med* 1995;3:1835-46
 15. Hewlett AM, Platt AS, Terry VG: Mandatory minute volume. *Anaesthesia* 1977;32:163-9
 16. Quan SF: Mandatory minute ventilation. En: Tobin MJ, ed. *Principles and Practice of Mechanical Ventilation*. New York: McGraw-Hill; 1994. p. 333-7
 17. MacIntyre Neil R: New modes of mechanical ventilation. En: Nahum A, Marini JJ, eds. *Clinics in Chest Medicine. Recent advances in Mechanical Ventilation*. USA: WB Saunders Company; 1996. p. 411-22
 18. Tintoré M: Evita 4. En: Net A, Benito S, eds. *Ventilación mecánica*. 3ª ed. Barcelona: Springer-Verlag Ibérica; 1998. p. 485-99
 19. MacIntyre Neil R: New modes of mechanical ventilation. En: Nahum A, Marini JJ, eds. *Clinics in Chest Medicine. Recent advances in Mechanical Ventilation*. USA: WB Saunders Company; 1996. p. 411-22
 20. Branson RD: New modes of mechanical ventilation. *Current Opinion in Critical Care* 1999;5:33-42
 21. Amato MBP, Valente CS, Bonassa J et al.: Volume-assured pressure support ventilation (VAPSV). A new approach for reducing muscle workload during acute respiratory failure. *Chest* 1992;102:1225-34
 22. Rincón M.: Ventilador BEAR 1000. En: Net A, Benito S, eds. *Ventilación mecánica*. 3ª ed. Barcelona: Springer-Verlag Ibérica; 1998. p. 413-25
 23. Esquinas JJ.: Sistema Servo 300. En: Net A, Benito S, eds. *Ventilación mecánica*. 3ª ed. Barcelona: Springer-Verlag Ibérica; 1998. p. 500-12
 24. Campbell RS, Branson RD, Johannigman JA : Adaptive support ventilation. *Respir Care Clin N Am* 2001 Sep;7(3):425-40
 25. Sanborn WG: Ventilador basado en microprocesador. Serie 7200. En: Net A, Benito S, eds. *Ventilación mecánica*. 3ª ed. Barcelona: Springer-Verlag Ibérica; 1998. p. 426-47
 26. Palma O: Manual práctico de ventilación mecánica. 1 Ed. p 55. 2001

27. Sassoone CSH: Mechanical ventilation design and function: the trigger variable. *Respir Care* 1992;37:1036-69
28. Notario S, Jordá R, Alapont V, Galván A: La ventilación vectorial. *Respirador Vector* - XXI. En: Net A, Benito S, eds. *Ventilación mecánica*. 3ª ed. Barcelona: Springer-Verlag Ibérica; 1998. p. 513-8
29. Santos JA, Romero E, Subirana M, Mancebo J: Efectos fisiológicos del patrón espontáneo amplificado y la presión de soporte sobre el trabajo y patrón respiratorios. *Med Intensiva* 1998;22:253
30. Ranieri VM, Grasso S, Mascia L et al.: Effects of proportional assist ventilation on inspiratory muscle in patients with chronic obstructive pulmonary disease and acute respiratory failure. *Anesthesiology* 1997;86:79-91
31. Villar J: Respiración líquida: de hombres como peces. En: Net A, Benito S, eds. *Ventilación mecánica*. 3ª ed. Barcelona: Springer-Verlag Ibérica; 1998. p. 148-60
32. Esteban A, Anzueto A, Alía I et al.: Clinical characteristics of patients receiving mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159:A47