

## Modos de ventilación ¿Qué hay debajo de la terminología comercial?

*Pedro Rascado Sedes  
Facultativo Especialista de Área de Medicina Intensiva  
Servicio de Medicina Intensiva  
Xerencia de Xestión Integrada de Santiago de Compostela. A Coruña. España  
e-mail: [pedrorascado@hotmail.com](mailto:pedrorascado@hotmail.com)*

Desde los primeros pulmones de acero hasta los ventiladores de última generación la evolución tecnológica ha provocado grandes avances tanto en los modos de ventilación como en la monitorización de las variables respiratorias. Sin embargo, las bases fisiopatológicas y los conceptos básicos de funcionamiento de un ventilador no se han modificado y sigue siendo necesario comprenderlos para poder avanzar hasta los aspectos más novedosos.

El pulmón es un órgano elástico cuya tendencia natural es a colapsarse hasta el volumen residual. La caja torácica es un conjunto osteomuscular cuya tendencia natural es su expansión máxima hasta la capacidad pulmonar total. El equilibrio se produce en situación de

reposo al final de una espiración no forzada, cuando la presión pleural es ligeramente negativa y el volumen pulmonar se corresponde con la capacidad residual funcional.

En todos los casos, para que se produzca un flujo de aire hacia el pulmón es necesario que exista un gradiente de presión entre la vía aérea superior y los alvéolos pulmonares. En ausencia de ventilación mecánica, la contracción diafragmática e intercostal aumentan el volumen de la caja torácica generando una presión negativa intrapleural que provoca el flujo de aire a los pulmones. La relajación de la musculatura respiratoria produce la espiración de manera pasiva atendiendo a la tendencia elástica del pulmón a colapsarse.

*Modos de ventilación: ¿Qué hay debajo de la terminología comercial?*

En pacientes conectados a un respirador mecánico es la presión positiva que genera el ventilador la que provoca el flujo de aire. Se puede deducir por tanto, que todos los respiradores mecánicos realizan una única función: al inicio de la inspiración presurizan la vía aérea para crear el gradiente de presión que permita el flujo de aire.

¿Cuándo iniciar la inspiración?, ¿Cómo monitorizar la presurización de la vía aérea?, ¿Cuándo acabar la inspiración?, son las únicas preguntas que definirán los diferentes modos de ventilación.

Para entender el funcionamiento de un ventilador, es útil imaginar el sistema respiratorio como un sistema mecánico en el que un elemento resistivo (vía aérea y tubo endotraqueal) se coloca en serie con un elemento elástico (pulmón y pared torácica). La Figura 1 representa este modelo.

De acuerdo a este esquema, la presurización de la vía aérea a través del tubo endotraqueal provocará un flujo de aire que tendrá que vencer la resistencia de la vía aérea y la tendencia del pulmón a colapsarse.

Matemáticamente este concepto se representa mediante la llamada **ecuación del movimiento**

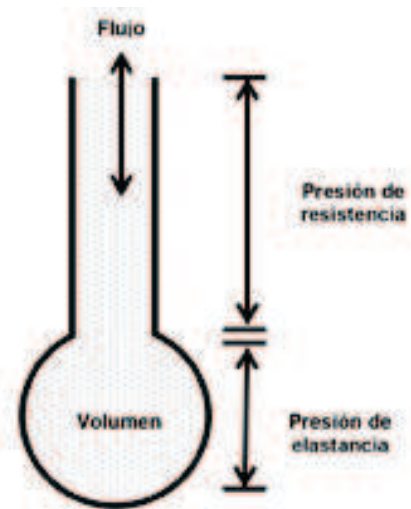


Figura 1.

**del sistema respiratorio:**

$$P_{\text{mus}} + P_{\text{res}} = P_{\text{va}} = P_{\text{R}} + P_{\text{E}} \quad (1)$$

$P_{\text{mus}}$  ⇨ Presión generada por la musculatura respiratoria

$P_{\text{res}}$  ⇨ Presión generada por el respirador.

$P_{\text{va}}$  ⇨ Presión en la vía aérea.

$P_{\text{R}}$  ⇨ Componente resistivo.

$P_{\text{E}}$  ⇨ Componente elástico.

*Modos de ventilación: ¿Qué hay debajo de la terminología comercial?*

$P_R$  es el componente resistivo del esquema propuesto (Presión de resistencia en la Fig. 1). Se corresponde con la presión necesaria para que se produzca un flujo de aire a través del tubo orotraqueal y la vía aérea. Es directamente proporcional a la velocidad de flujo y a las resistencias de la vía aérea.

$$P_R = R_{sr} * \text{Flujo} \quad (2)$$

$R_{sr}$  ⇨ Resistencias de la vía aérea.

Flujo ⇨ Velocidad de flujo.

$P_E$  representa el componente elástico (Presión de elastancia de la Fig. 1). Se corresponde con la presión necesaria para expandir el pulmón, esto es, para vencer la tendencia elástica del pulmón a colapsarse. Matemáticamente es directamente proporcional a la elastancia pulmonar y al volumen insuflado. La elastancia es la inversa de la compliance (distensibilidad).

$$P_R = E_{rs} * \text{Vol} \quad (3)$$

$E_{rs}$  ⇨ Elastancia (distensibilidad) del pulmón y la caja torácica.

Vol ⇨ Volumen insuflado

Considerando (1), (2) y (3) podemos expresar más correctamente la **ecuación del movimiento del sistema respiratorio**:

$$P_{mus} + P_{res} = P_{va} = R_{sr} * \text{Flujo} + E_{rs} * \text{Vol}$$

La resistencia de la vía aérea ( $R_{sr}$ ) y la elastancia pulmonar ( $E_{rs}$ ) se pueden considerar constantes. Flujo y volumen son variables dependientes: el volumen es la integral del flujo con respecto al tiempo. A Flujo constante:

$$\text{Volumen} = \text{Flujo} * \text{Tiempo.}$$

De esta ecuación, con las consideraciones anteriores, se pueden deducir fácilmente conceptos básicos en la mecánica respiratoria de los pacientes sometidos a ventilación mecánica:

En todo momento la presión en la vía aérea dependerá de la acción simultánea y dependiente de la presión generada por el respirador y la producida por la contracción de la musculatura respiratoria. Los respiradores modernos son capaces de monitorizar las tres variables de la ecuación del movimiento (flujo, volumen y presión).

*Modos de ventilación: ¿Qué hay debajo de la terminología comercial?*

Sin embargo, en cada instante sólo una es manipulable, convirtiéndose las otras dos en variables dependientes.

Teniendo en cuenta lo anterior, y desde un punto de vista conceptual podemos definir todos los modos de ventilación en función de tres variables que responden a las preguntas planteadas previamente: dos son conocidas como variables de fase (trigger y ciclado), y la tercera como variable de control.

El **trigger** marca el inicio de la inspiración. El ciclado el fin de la inspiración. La variable de control define la forma en la que la máquina entrega el gas.

El inicio de la inspiración neural se produce cuando se inicia la contracción diafragmática. Sin embargo, la práctica totalidad de los respiradores son incapaces de medir esta contracción. El respirador responde al esfuerzo inspiratorio del paciente al detectar una caída de presión en la vía aérea (trigger de presión) o una variación en el flujo a través de la válvula espiratoria (trigger de flujo). Aunque inicialmente se consideró que el trigger de flujo producía una mejor interacción paciente-respirador, en los respiradores actuales no se encuentra ningún tipo de diferencia.

En los últimos años se ha descrito un nuevo modo de ventilación: *neurally adjusted ventilator assist* (NAVA). En este modo, la señal usada por el respirador para iniciar la asistencia inspiratoria no es el flujo o la presión en la vía aérea, sino la señal del electromiograma diafragmático detectada mediante electrodos colocados en un catéter esofágico. A pesar de sus prometedoras teóricas ventajas hasta la fecha hay poca evidencia de la superioridad de NAVA frente a otros modos ventilatorios.

Si no se produce esfuerzo inspiratorio, los ciclos pueden ser iniciados por la máquina. Hablaremos de trigger de tiempo cuando el respirador inicia una inspiración de acuerdo a la frecuencia programada, aún en ausencia de esfuerzo inspiratorio. Se llaman respiraciones mandatorias aquellas iniciadas por la máquina y asistidas las iniciadas en respuesta al esfuerzo inspiratorio del paciente.

La ausencia de respiraciones mandatorias programadas define las modalidades espontáneas en las que todos los ciclos deben ser iniciados por el paciente.

La variable de **control** marca el comportamiento de la máquina durante la inspiración. La ecuación del movimiento nos aclara que sólo

*Modos de ventilación: ¿Qué hay debajo de la terminología comercial?*

una variable (flujo, volumen, presión) puede ser manipulada. En las modalidades controladas por volumen, el respirador aporta el volumen programado, siendo la presión alveolar y de vía aérea dependientes de la *compliance* y resistencias del sistema respiratorio. De manera análoga, en las modalidades controladas por presión, el equipo mantiene una presión constante en la vía aérea durante el ciclo inspiratorio. En consecuencia, el volumen será la variable dependiente.

Los respiradores modernos tienen complejos algoritmos de control. Algunos de estos algoritmos permiten modificar la variable de control dentro de un mismo ciclo inspiratorio:

- Se inician como controladas por presión pero con un volumen mínimo garantizado, lo que obliga a que la variable de control pase a ser el flujo si el volumen no se alcanza.

- Se inician como controladas por flujo o volumen pero con una presión máxima. Si se alcanza el límite se convierten en controladas por presión con el objetivo de no superarlo.

Son frecuentes también los algoritmos que utilizan lo que se conoce genéricamente como

control dual: La variable de control es en todos los ciclos la presión aunque el operador programa un volumen objetivo. Ciclo a ciclo se modifica la presión para asegurar que se entregue el volumen programado.

No existe nomenclatura estandarizada para denominar a los modos ventilatorios basados en estos algoritmos complejos por lo que la terminología depende del fabricante.

En cualquier caso la idea que subyace es siempre la misma: el respirador responde de manera automática para conseguir los objetivos programados aun cuando se produzcan cambios en las condiciones del paciente. Todo ello teniendo en cuenta que en cada instante de tiempo sólo una variable puede ser controlada.

El fin del ciclo inspiratorio (**ciclado**) se puede producir de manera automática o bien en respuesta al fin del esfuerzo inspiratorio del paciente.

En el primer caso, la forma más habitual es el ciclado por tiempo. Pasado el tiempo programado desde el inicio de la inspiración el equipo acaba el ciclo y abre la válvula espiratoria. Otras posibilidades son el ciclado por volumen (tras alcanzar el volumen programado) o el ci-

### *Modos de ventilación: ¿Qué hay debajo de la terminología comercial?*

clado por presión (tras sobrepasar la presión límite).

En el caso del ciclado en respuesta al fin del esfuerzo del paciente, conviene recordar que si exceptuamos NAVA, ningún modo ventilatorio es capaz de detectar el fin de la contracción diafragmática que marca la terminación del tiempo inspiratorio neural. Se utiliza como variable subrogada del fin de la inspiración una caída del flujo por debajo de cierto umbral en relación al flujo inspiratorio máximo. Dependiendo del equipo, este umbral se puede programar (entre el 5 y el 70%) o bien es fijo (habitualmente 25% del flujo máximo). Podemos destacar dos consecuencias prácticas de esta forma de funcionamiento: una vez iniciada la inspiración la ausencia de contracción diafragmática efectiva (bien por debilidad o porque finalice el tiempo inspiratorio neural) no provoca necesariamente el fin del ciclo. En segundo lugar, y en consecuencia, no se garantiza que el tiempo inspiratorio neural coincida con el tiempo inspiratorio mecánico.

Prácticamente todos los modos ventilatorios se pueden clasificar en dos grupos:

-Modos asistidos: El respirador es capaz de responder al esfuerzo inspiratorio del pacien-

te. En ausencia de esfuerzo el respirador inicia ciclos mandatorios. El ciclado se produce por tiempo en todos los casos.

-Modos espontáneos: Todos los esfuerzos inspiratorios son iniciados por el paciente. El ciclado se produce siempre por flujo.

La ventilación mandatoria intermitente (IMV) combina respiraciones asistidas y espontáneas.

Las diferentes denominaciones dependen de los algoritmos de control.

Teniendo en cuenta que todos los respiradores actuales tienen mecanismos de seguridad para garantizar una frecuencia respiratoria de seguridad en los modos espontáneos en el caso de ausencia de esfuerzo inspiratorio, la única diferencia sustancial entre las modalidades espontáneas y asistidas es el ciclado.

Es habitual considerar más fisiológicos los modos espontáneos ya que se interpreta que el paciente tiene todo el control sobre su respiración y la máquina se utiliza para disminuir el trabajo respiratorio. Sin embargo, ya se comentó que la utilización del flujo como variable subrogada del fin de la inspiración no garantiza que el ciclado coincida con el fin de la inspiración neural. Es posible que, dependien-

## Modos de ventilación: ¿Qué hay debajo de la terminología comercial?

do de las características mecánicas del sistema respiratorio, sea más fisiológico el ciclado por tiempo de los modos asistidos que el ciclado por flujo de los espontáneos.

A pesar de la evolución tecnológica, ninguno de los nuevos modos ventilatorios ha demostrado superioridad cuando se analizan indicadores que representen morbilidad. Sin embargo, sí condiciona la morbilidad la elección de objetivos de ventilación inadecuados.

No nos puede engañar la terminología, los respiradores siguen siendo exclusivamente generadores de presión con cada vez mayor capacidad de monitorización y de respuesta automática. El modo ventilatorio elegido no puede ser el fin, es el medio que debe garantizar que se evita la asincronía, se mantiene en la medida de lo posible la contracción diafrágica y se previene la sobredistensión.

### Más información en:

Tobin MJ. Principles & Practice of Mechanical Ventilation. 3rd ed. New York: McGraw-Hill; 2013.

MacIntyre NR. Patient-ventilator interactions: optimizing conventional ventilation modes. Respir Care. 2011;56: 73-84.

Chatburn RL, Mireles-Cabodevila E. Closed-loop control of mechanical ventilation: description and classification of targeting schemes. Respir Care. 2011;56: 85-102.