

MODOS CONVENCIONALES DE VENTILACION MECANICA

Introducción

La ventilación mecánica (VM) es una técnica de soporte respiratorio que puede ser realizada con equipos de diferente complejidad con los objetivos generales de:

- *mejorar o mantener la oxigenación arterial*
- *mejorar o mantener la ventilación alveolar*
- *proveer ayuda o reposo a los músculos respiratorios*
- *prevenir complicaciones*
- *evitar la injuria asociada a la ventilación*

Puede sustituir en forma total o parcial a la ventilación espontánea y está indicada en todas aquellas situaciones de insuficiencia respiratoria que por su severidad puedan comprometer la vida del paciente. También se utiliza en pacientes sin insuficiencia respiratoria, en los que, por presentar otras disfunciones orgánicas severas, es necesario asegurar la estabilidad de la función respiratoria. La VM permite en muchos casos, mantener la vida del paciente mientras se instituye el tratamiento etiológico de la falla respiratoria. Sin embargo, su uso puede generar efectos no deseables y complicaciones potencialmente graves, por lo cual siempre es conveniente mantenerla durante el menor tiempo posible. El conocimiento y el uso correcto de los recursos que brinda la VM permiten trabajar con un buen margen de seguridad para el paciente. Para ello, se dispone de diferentes técnicas para su aplicación a las que llamaremos **modos de ventilación mecánica**. La investigación y el desarrollo tecnológico han permitido aumentar y mejorar los modos de ventilación mecánica en los ventiladores modernos. El médico debe estar familiarizado con éstas herramientas para elegir la más adecuada a la condición del paciente y hacer los ajustes que la evolución clínica requiera. En todos los casos, la VM produce ciertos cambios en la fisiología respiratoria. Se debe colocar una vía aérea artificial con la cual se modifican las resistencias de la vía aérea natural, se sustituye total o parcialmente el trabajo de los músculos respiratorios, se invierte el régimen de presiones intratorácicas, se modifican las condiciones de distribución del gas alveolar y se afecta la circulación pulmonar. De todos estos cambios, sin embargo, se espera resulte una ecuación fisiopatológica más favorable para el paciente. El objetivo de esta sección es el de exponer de una manera resumida, los modos convencionales de VM, que son a su vez, los más frecuentemente empleados en la práctica clínica.

Modos convencionales de VM.

Los ventiladores artificiales modernos ofrecen diferentes modos de apoyo ventilatorio. Nos ocuparemos de los modos básicos o convencionales de ventilación, dejando para otro capítulo las técnicas más modernas. De acuerdo al grado de asistencia mecánica que proporcionan, pueden clasificarse globalmente, como modalidades de **ventilación mecánica asistida/controlada**, **ventilación mandatoria intermitente** y **ventilación espontánea**. El soporte respiratorio mecánico durante estas modalidades puede hacerse a su vez con ventilación **controlada por volumen o por presión**. El término "controlada" se refiere en este caso, al criterio establecido para limitar la insuflación o inspiración. Así por ejemplo, cuando el objetivo de la ventilación es introducir cierto volumen de gas en el aparato respiratorio, la insuflación se completa al alcanzarse este volumen de gas. Hablamos entonces de ventilación controlada por volumen o ventilación volumétrica. Si por el contrario, el objetivo que se determina es la necesidad de alcanzar y mantener ciertas cifras de presión en la vía aérea durante la fase inspiratoria, entonces tendremos ventilación controlada por presión. Estas opciones pueden encontrarse en los ventiladores artificiales modernos y es conveniente familiarizarse con las características de su funcionamiento en cada equipo.

Se describirán las características principales de la ventilación asistida/controlada, ventilación mandatoria intermitente sincronizada y ventilación espontánea apoyada con presión de soporte. Si bien la ventilación controlada por presión es una variante dentro de la modalidad asistida/controlada, ésta se describirá especialmente en capítulo aparte. Finalmente, se comentará la aplicación de presión positiva al final de la espiración (PEEP) en las diferentes formas de ventilación mecánica

- **Ventilación asistida/controlada (A/C)**

La ventilación volumétrica en modalidad A/C es quizás, la forma más frecuentemente usada en la práctica clínica. En este caso, el ventilador ofrece un ciclo inspiratorio a presión positiva que permitirá la entrada del volumen de gas prefijado. Si bien nos referiremos en el resto de esta sección a ventilación volumétrica, resulta necesario comentar que, en esta modalidad, el ventilador también podría funcionar controlando la insuflación con presión controlada. Si el comienzo de la inspiración es disparado por el esfuerzo inspiratorio propio del paciente, hablamos de **ventilación asistida**. Esto es, cada vez que el paciente realice un esfuerzo inspiratorio, este será asistido por el ventilador hasta completar los parámetros prefijados por el equipo tratante, sean de volumen o de presión. Sin embargo, cuando el paciente no tiene esfuerzos respiratorios propios, se debe establecer un ciclado a una frecuencia fija y determinada totalmente por el

respirador. Esta variante recibe el nombre de *ventilación controlada*. Figura 1.

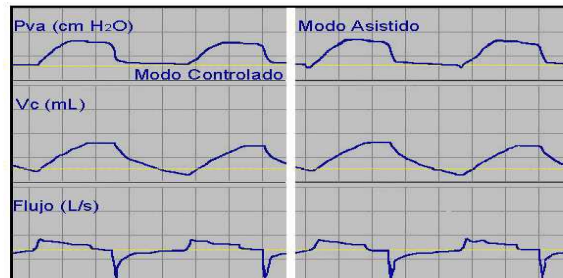


Figura 1. Representación esquemática del modo Asistido/Controlado a través de las curvas de presión en vía aérea, volumen corriente y flujo aéreo. A la izquierda se muestra ventilación volumétrica en modo controlado. A la derecha se observa ventilación volumétrica en asistida. Nótese que una ligera caída de presión en la vía aérea, producto del esfuerzo inspiratorio del paciente, logra dar inicio a un nuevo ciclado del respirador. En ambos casos la onda de flujo es desacelerada y hay pausa inspiratoria.

- *La frecuencia respiratoria.* En ventilación asistida, el ventilador se prefija a una frecuencia mínima pero el paciente podrá imponer su propia frecuencia siempre que ella sea mayor a la del ventilador. Por lo tanto, cuando se deprime el impulso respiratorio central, se entrará automáticamente en modalidad controlada. La ventilación alveolar estará determinada entonces por el comando respiratorio del paciente y/o por ajustes en la frecuencia del respirador.
- *El volumen corriente.* Cuando la ventilación asistida/controlada es volumétrica, éste es fijado en los comandos del ventilador según criterio del equipo tratante. Cada vez que se dispara un ciclo respiratorio, se liberará el mismo volumen corriente independientemente del estado de la mecánica respiratoria, sea el ciclo asistido o controlado. Cuando la ventilación A/C es controlada por presión, el equipo termina la inspiración según un criterio de presión en vía aérea y el volumen corriente será variable y dependiente de: las presiones de ciclado, las resistencias de la vía aérea y la compliance del aparato respiratorio.
- *El trabajo respiratorio.* Es importante señalar que cuando la ventilación es controlada, todo el trabajo respiratorio será realizado únicamente por el ventilador. En fisiología respiratoria, trabajo respiratorio se calcula como el producto del volumen por la presión. De esta manera, en ventilación controlada, el área del bucle dibujado por la presión de la vía aérea y el volumen corriente inspirado equivale al

trabajo realizado por el respirador. Durante mucho tiempo se consideró que el trabajo respiratorio de la ventilación asistida era de poca significación clínica. Sin embargo, se ha demostrado que cuando el paciente inicia el ciclo respiratorio con impulso propio, desarrolla una cantidad de trabajo muscular que resulta necesario considerar. Como mecanismo general, la caída de presión en el circuito del ventilador provocado por el esfuerzo del paciente es detectada por el ventilador. Cuando se alcanza determinado umbral de presión negativa en la vía aérea, el ventilador libera un flujo de gas hasta alcanzar el volumen o la presión prefijados. Al mismo tiempo, se puede observar que el esfuerzo o trabajo respiratorio del paciente no cesa inmediatamente con el inicio del ciclado inspiratorio del ventilador. La diferencia entre las áreas del bucle presión-volumen en ventilación controlada y asistida será el trabajo respiratorio realizado por el paciente.

- **Ventilación mandatoria intermitente sincronizada (SIMV)**

La ventilación mandatoria intermitente sincronizada (SIMV) permite sincronizar los esfuerzos respiratorios espontáneos del paciente con otros ciclos obligatorios o mandatorios prefijados en el ventilador.

Al igual que en la modalidad A/C, los ciclos mandatorios pueden ser volumétricos o limitadas por presión y son iniciados o disparados por el propio impulso respiratorio del paciente.

- *La frecuencia respiratoria.* La frecuencia mandatoria se puede variar en un amplio rango. El número de ciclos mandatorios por minuto debe ser preestablecido según el objetivo perseguido. En un extremo del espectro, es posible fijar una frecuencia mandatoria relativamente elevada de manera que permita cubrir toda la demanda ventilatoria del paciente. Figura 2. En general, cuando la frecuencia respiratoria mandatoria es fijada a 12-14 ciclos por minuto o más, quedan pocas posibilidades de que el paciente introduzca una cantidad significativa de ciclos respiratorios espontáneos.

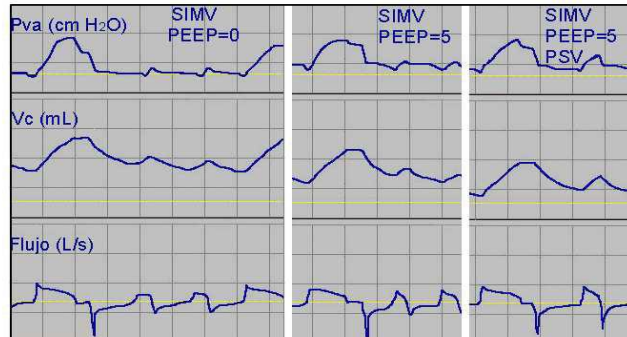


Figura 2. Curvas de presión en vía aérea, flujo y volumen en la modalidad SIMV. En el panel izquierdo se observa 1 ciclo mandatorio volumétrico seguido de 2 ciclos espontáneos del paciente. En el panel central, una secuencia similar con el agregado de 5 cm H₂O de PEEP. A la derecha, los ciclos espontáneos han sido apoyados con PS.

- *El volumen corriente.* Al igual que con la frecuencia respiratoria, se debe diferenciar el volumen corriente mandatorio del volumen corriente espontáneo. El primero es generalmente un volumen fijo mientras que el espontáneo suele ser variable. La ventilación minuto está determinada por la sumatoria de los efectos de la ventilación mandatoria y la espontánea. Ya se ha mencionado que los ciclos espontáneos pueden ser apoyados con PS. En este caso, el volumen corriente espontáneo aumentará a medida que se aumente el nivel de PS.
- *El trabajo respiratorio.* Parte del esfuerzo respiratorio es realizado por el paciente en sus respiraciones espontáneas y parte es proporcionado por el ventilador. No debemos olvidar que los ciclos mandatorios también demandan un esfuerzo significativo por parte del paciente. A medida que se disminuye la frecuencia mandatoria, la proporción de trabajo realizado por el paciente tiende a aumentar.

En general, los ventiladores artificiales ofrecen la posibilidad de combinar la SIMV con otras técnicas y modalidades de VM. Así por ejemplo, todos los ciclos respiratorios tanto espontáneos como mandatorios pueden ser combinados con niveles variables de presión positiva al final de la espiración (PEEP). Sobre los ciclos espontáneos, se pueden agregar además, como ya hemos mencionado, diferentes niveles de presión de soporte que,

como veremos más adelante, ayuda a disminuir la carga de trabajo adicional inevitablemente impuesta por el tubo endotraqueal, las válvulas y los circuitos del ventilador. Figura 2.

- **Ventilación espontánea con presión de soporte**

Es una forma de ventilación espontánea controlada por presión. La ventilación con PS es por definición una forma de asistencia parcial a la ventilación espontánea. Se logra por la aplicación de una presión predeterminada en vía aérea, que se mantiene constante durante la fase inspiratoria del ciclo. Como cualquier otra técnica de soporte respiratorio parcial, requiere de la integridad del sistema de control de la ventilación. El ciclo inspiratorio puede ser iniciado por cambios del flujo o descensos de la presión en la vía aérea. Esta demanda inspiratoria, iniciada por los músculos respiratorios, será acompañada por la liberación de un flujo de gas de tipo decreciente que rápidamente permite alcanzar la presión prefijada. A diferencia de los modos de ventilación con presión positiva ciclados por volumen, esta presión predeterminada se mantendrá en meseta durante la fase inspiratoria. Cuando el esfuerzo inspiratorio del paciente declina y el flujo en la vía aérea disminuye, se da inicio a la fase espiratoria del ciclo. De esta forma, la PS no sólo es capaz de sensar el comienzo de la inspiración, sino que de alguna manera detecta también, el comienzo de la espiración. Figura 3.

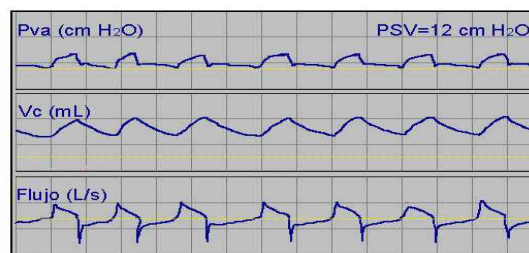


Figura 3. Curvas de presión de vía aérea, volumen y flujo durante la ventilación espontánea con PS fijada en 12 cm H₂O. La curva de flujo es decreciente. Todos los ciclos son iniciados por el paciente y la espiración comienza cuando el flujo inspiratorio ha descendido debajo de cierto valor del flujo inspiratorio máximo.

Como hemos mencionado, el ciclado a la fase espiratoria es generalmente flujo dependiente. Los criterios que utiliza el ventilador para identificar este segundo momento del ciclo respiratorio dependen del equipo utilizado. Un criterio suele ser la caída del flujo inspiratorio a un 25% del valor máximo. Otras veces, la inspiración cesa cuando se alcanza un valor fijo de flujo inspiratorio (por ejemplo, 5 L/min). Finalmente, algunos equipos introducen además, un criterio de tiempo. Así por ejemplo, cuando una inspiración se prolonga más de cierto lapso de tiempo, sea por la presencia de fugas en el circuito o por apnea del paciente, el equipo iniciará la espiración para evitar la ausencia de ciclado. Por todas estas características se ha postulado que la PS es una modalidad ventilatoria más fisiológica.

- *La frecuencia respiratoria.* El paciente puede comandar la duración de los tiempos inspiratorio y espiratorio y la frecuencia respiratoria. Sin embargo, la frecuencia se puede modificar de manera sustancial con los cambios en los niveles aplicados de PS. En general, a mayor nivel de PS, menor frecuencia respiratoria y viceversa.
- *El volumen corriente.* Como en todas las formas controladas por presión, es necesario señalar que el volumen corriente y por lo tanto la ventilación minuto no están asegurados. Estos dependen del grado de esfuerzo inspiratorio del paciente y de los niveles de presión de soporte inspiratorio prefijados. Pero dependen también, de la complacencia y resistencias particulares del aparato respiratorio. Debido a que en la evolución de un paciente crítico, la complacencia tóraco-pulmonar y las resistencias de la vía aérea pueden variar ampliamente, el volumen corriente y la ventilación minuto también serán variables. A medida que se aumenta la PS, se produce un incremento proporcional del volumen corriente y de la ventilación minuto, acompañados de una caída de la frecuencia respiratoria. Esto generalmente mejora la ventilación alveolar lo que se expresa por descenso de la PaCO_2 .
- *El trabajo respiratorio.* Uno de los efectos más notables del incremento progresivo del nivel de presión de soporte es que disminuye el trabajo muscular respiratorio del paciente. Niveles elevados, en el entorno de 20 cm H_2O pueden dar sustitución ventilatoria total y reposo muscular. De hecho, en algunos centros se utiliza esta modalidad como técnica de asistencia ventilatoria total. Niveles menores, de entre 8 y 12 cm H_2O , se usan para compensar por el trabajo sobreañadido de los circuitos del ventilador y el tubo endotraqueal. Esto se usa en pacientes que no requieren otra forma de apoyo ventilatorio o que están en plan de destete de VM. Cifras de 12 a 20 cm H_2O determinan grados variables de ayuda muscular. Como concepto general, en nivel óptimo de presión de soporte puede ser aquel que permite la mayor participación muscular del paciente, evitando la posibilidad de fatiga muscular respiratoria. Quizás el uso más frecuente de PS sea como técnica de discontinuación

de la ventilación mecánica. En este caso, la estrategia consiste en disminuir gradualmente el valor de presión de soporte fijado, permitiendo la mayor participación del esfuerzo muscular del paciente. Cuando se alcanzan valores de aproximadamente 8 cm H₂O se considera que la ayuda que recibe el paciente es mínima, sólo la necesaria para vencer las resistencias impuestas por el tubo traqueal y los circuitos del ventilador. Probablemente, al desconectar y extubar al paciente, la cantidad de trabajo respiratorio que tendrá que realizar será semejante al que hacía mientras estaba en el ventilador con esos niveles de PS.

- **Ventilación controlada por presión.**

Esta modalidad surge de la necesidad de controlar las presiones generadas por la ventilación mecánica en la vía aérea, para minimizar las posibilidades de injuria inducida por ventilación mecánica. En la actualidad constituye un modo muy difundido de asistencia respiratoria y la mayoría de los ventiladores la incluyen. En este modo, el operador fija una presión inspiratoria de vía aérea que se mantendrá constante durante toda la fase inspiratoria. La onda de presión de vía aérea tiende a describir una meseta en el valor elegido. Para ello, la onda de flujo inspiratorio siempre es de tipo decreciente, caracterizada por un ascenso rápido inicial hasta alcanzar la presión prefijada y un decrecimiento posterior paulatino hasta llegar a cero. Figura 4. Además de la presión máxima de vía aérea, el médico selecciona la frecuencia y el tiempo inspiratorio. Dependiendo del ventilador, el tiempo inspiratorio puede ser una fracción del tiempo respiratorio total o un valor absoluto medido en segundos. Algunos ventiladores permiten seleccionar una relación I:E y basados en la frecuencia respiratoria, derivan el valor del tiempo inspiratorio. Como ya ha sido señalado, los ciclos inspiratorios de la ventilación A/C y los ciclos mandatorios de la SIMV pueden ser controlados por presión.

- *La frecuencia respiratoria.* Caben para ella las consideraciones hechas en las modalidades para las cuales se aplica ventilación controlada. Para poder aplicar VCP, en la mayoría de las veces se usa sedación y bloqueo neuromuscular, por lo que la frecuencia respiratoria pasa a ser comandada completamente por el ventilador.



Figura 4. Curvas de presión de vía aérea, volumen y flujo en modalidad de ventilación controlada por presión (VCP). La presión inspiratoria se ha fijado en 30 cm H₂O mientras se administran 5 cm H₂O de PEEP.

- *El volumen corriente.* El volumen corriente desarrollado es una consecuencia del patrón respiratorio impuesto por el ventilador, pero depende también, de las variaciones de la mecánica respiratoria del paciente. Los cambios en las resistencias de la vía aérea, en la compliance tóraco-pulmonar y también, el desarrollo de PEEP intrínseca, pueden tener gran impacto en disminuir el volumen corriente liberado.
- *Trabajo respiratorio.* Como ya hemos mencionado, para aplicar ventilación con presión controlada suele ser necesario utilizar niveles importantes de sedación y/o parálisis muscular en cuyo caso, el trabajo respiratorio es asumido enteramente por el ventilador.
- **Presión positiva al final de la espiración (PEEP/CPAP)**

Es bien conocido que uno de los mecanismos más importantes de hipoxemia es el shunt intrapulmonar. Esto ocurre cuando los espacios alveolares pierden su estabilidad y se colapsan, anulando la ventilación alveolar de estos sectores mientras la perfusión se mantiene conservada. Esto se acompaña de disminución de la capacidad residual funcional y descenso de la complacencia pulmonar. El objetivo de la técnica es mantener cierto nivel de presión positiva dentro de los espacios alveolares al final de la espiración. Con ello se pretende impedir el colapso de unidades alveolares afectadas y reclutar aquellos espacios aéreos que ya están cerrados. La PEEP puede ser combinada con diferentes modalidades de ventilación mecánica tales como ventilación A/C, SIMV o PS. También es posible aplicar PEEP mientras el paciente ventila de manera espontánea, en

cuyo caso hablamos de respiración con presión positiva continua en vía aérea (CPAP).
Figura 5.

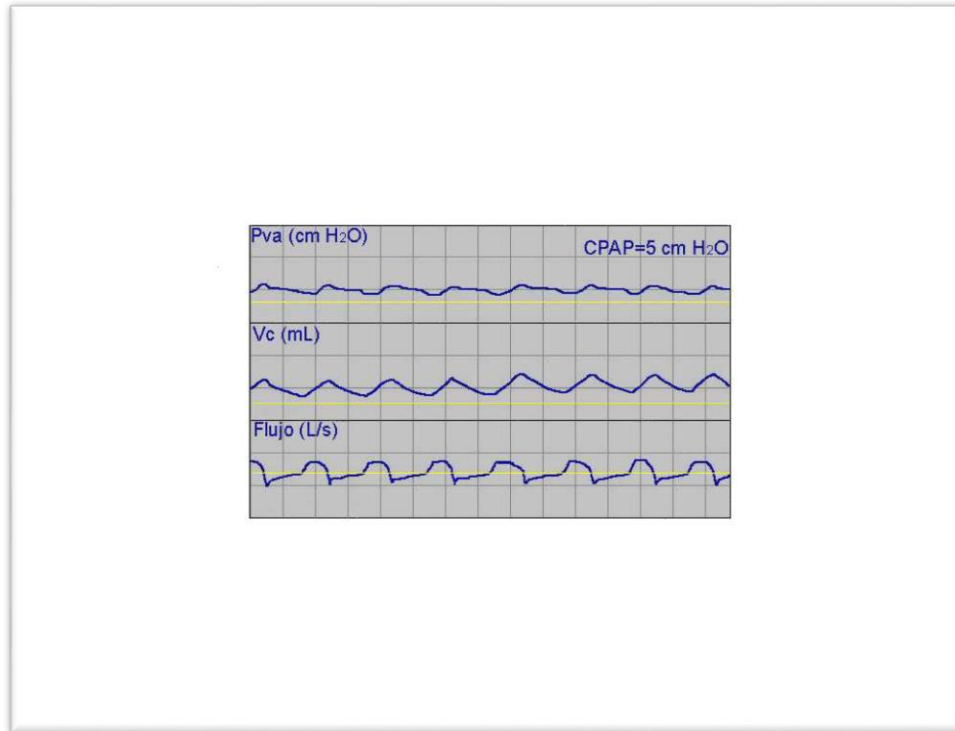


Figura 5. Curvas de presión de vía aérea, volumen y flujo mostrando ventilación espontánea con presión positiva continua en vía aérea de 5 cm H₂O (CPAP).

La PEEP puede ser necesaria en pacientes con insuficiencia respiratoria aguda que persisten hipoxémicos a pesar del uso de FIO₂ iguales o mayores de 0.6. El hecho de no lograr una mejora en los gases sanguíneos con fracciones inspiradas de oxígeno altas, sugiere que el mecanismo dominante de la hipoxemia es el shunt intrapulmonar.

¿Cómo seleccionar el nivel más adecuado de PEEP? Algunos autores han sugerido que el nivel de PEEP más adecuado es el que deviene en una mejor disponibilidad tisular de oxígeno. Dado que la PEEP puede modificar la oxigenación arterial y la hemodinamia en sentidos opuestos, fue sugerido que la PEEP óptima es aquella que determina la mejor oxigenación en sangre arterial, con la menor repercusión hemodinámica. Con un criterio clínico también atendible, se puede elegir la PEEP mínima, que permita disminuir la FIO₂ a niveles por debajo de 0.6 para evitar los efectos tóxicos del oxígeno. También se ha propuesto usar un nivel de PEEP ligeramente mayor que el valor de presión observada en el punto de inflexión inferior de la curva de compliance del aparato respiratorio, lo cual supone conocer el comportamiento de la curva de compliance del paciente. El

objetivo de esta estrategia es doble: por un lado lograr una mejoría de la oxigenación arterial y por otra parte, prevenir la apertura y cierre alveolar, mecanismo involucrado en la génesis de la lesión inducida por la ventilación. En ese sentido más recientemente se propone establecer la PEEP en base al comportamiento espiratorio de la curva de compliance o a partir de descensos sucesivos de PEEP después de obtenido un reclutamiento máximo. Esta PEEP, elegida de medida para cada caso, según el comportamiento mecánico lograría mejorar la oxigenación y la compliance pulmonar, aumentar la CRF e impedir la lesión asociada a la ventilación mecánica.

Los pacientes con EPOC pueden presentar niveles propios de presión alveolar positiva al finalizar la espiración. Este fenómeno que ocurre por limitación del flujo espiratorio, se conoce como PEEP intrínseca (PEEPi). En pacientes ventilados mecánicamente por exacerbación de su EPOC, pueden encontrarse niveles de PEEPi relativamente elevados. En estas condiciones, puede ocurrir que el impulso respiratorio del paciente no logre alcanzar el umbral de disparo del ventilador para iniciar el próximo ciclo respiratorio. Para abrir la válvula de demanda el paciente debe generar una caída de presión en la vía aérea igual a la suma de la PEEPi más aquella necesaria para abrir la válvula inspiratoria. Un paciente en estas condiciones puede fracasar en su intento de destete del ventilador por agotamiento o fatiga muscular. Esto mejora con el agregado de un cierto nivel de PEEP externa, en cantidad ligeramente menor al valor de la PEEPi (80%), con el objeto de ayudar a vencer el umbral de disparo del ventilador.

Uso de PEEP en maniobras de reclutamiento alveolar. Estas técnicas lograrían la apertura de áreas alveolares colapsadas para luego mantenerlas abiertas con niveles adecuados de PEEP. Muchas veces, con este tipo de maniobra se logra revertir dramáticamente la penuria hipóxica del paciente. Como ejemplo mencionemos que se puede lograr reclutamiento con aplicación de CPAP en niveles de 40 cm H₂O mantenida durante 40 segundos. Con el mismo objetivo se pueden usar patrones de ventilación con presión controlada en los que se va incrementando la PEEP de manera gradual, en escalones de 5 cm H₂O, desde los 25 hasta los 40 cm H₂O. Durante estas maniobras se busca identificar el aumento oximétrico y el momento en que se recluta volumen pulmonar por apertura alveolar. Dado que estos pacientes suelen estar extremadamente graves y dependientes de la VM, el reclutamiento se debe hacer de manera protocolizada y bajo estrecha vigilancia para prevenir complicaciones.

Hemos de señalar que la CPAP no es una modalidad de ventilación mecánica, es solamente una forma de aplicar PEEP durante ventilación espontánea. Las técnicas de CPAP fueron introducidas en los circuitos de los ventiladores modernos y actualmente se incluyen en la mayoría de los equipos. Así, por mucho tiempo, se ha usado CPAP con

máscaras para el tratamiento de la injuria pulmonar leve en pacientes que no requerían estar intubados. La CPAP se ha usado también, en pacientes ventilados, como modalidad de destete de la VM, con el objetivo de ayudar a una transición más gradual entre la ventilación mecánica y la extubación. Con el mismo fundamento que para la PEEP, se ha usado CPAP en el tratamiento y el destete de pacientes con EPOC. Lo que hace más interesante esta técnica, es la aparición de equipos de bajo costo, capaces de generar altos flujos de gas, para aplicar CPAP con máscaras faciales o nasales. Combinando la CPAP con PS y siempre como técnica no invasiva, ha sido de ayuda en pacientes con enfermedades neuromusculares, en las exacerbaciones agudas de la EPOC y en el manejo de la falla respiratoria por edema pulmonar cardiogénico. La ventilación no invasiva ha permitido el manejo de insuficiencia respiratoria de estos pacientes evitando la intubación endotraqueal en un número significativo de casos.