

MONITOREO DE LA MECANICA RESPIRATORIA DURANTE LA VENTILACION MECANICA ESPONTANEA Y ASISTIDA

Introducción

En las modalidades en las que el paciente conserva esfuerzo inspiratorio, la visualización en pantalla gráfica de los registros de presión de vía aérea y flujo aéreo permiten monitorizar que el apoyo ventilatorio sea adecuado o insuficiente para las demandas del paciente (sincronía entre paciente y ventilador). Esto es un capítulo fundamental del monitoreo de la VM en estas modalidades. Por otra parte los adelantos tecnológicos han incorporado a los ventiladores algoritmos que posibilitan la medida de parámetros respiratorios sin necesidad de desconectar al paciente de la máquina ni requerir instrumentaciones adicionales, bastando con que el operador ordene la maniobra a realizar. Se destacan las determinaciones de la presión de oclusión ($P_{0,1}$), PEEP intrínseca (PEEPi), presión inspiratoria máxima (PIM), capacidad vital (CV) y trabajo respiratorio (W_r). Estos parámetros aportan información valiosa para optimizar el soporte ventilatorio, conocer las características mecánicas del paciente y son útiles para identificar las causas de dependencia de la VM.

1) Monitoreo durante Presión de soporte inspiratoria (PSI)

Durante la ventilación con PSI es necesario establecer el nivel de soporte adecuado a las necesidades del paciente que va a depender de:

- las características mecánicas del sistema respiratorio,
- el esfuerzo muscular del paciente y,
- el estímulo central respiratorio
- el acople entre la duración del "tiempo neural" del paciente y el "tiempo del ventilador".

A RECORDAR:

El nivel adecuado de soporte en modalidades espontáneas depende de:

- ✓ ***Características mecánicas***
- ✓ ***Esfuerzo del paciente***
- ✓ ***Presencia de estímulo central***
- ✓ ***Tiempo inspiratorio neural y tiempo inspiratorio mecánico***

- **Valoración clínica para establecer el nivel adecuado de soporte:**

Durante la ventilación con PS la FR tiende a disminuir en respuesta al incremento del Vc, siendo ambos los parámetros habitualmente utilizados para conocer si el nivel de presión es adecuado para el paciente. No existe acuerdo acerca de cuáles son el Vc y la FR que se asocian con una PS óptima para el paciente. Mac Intyre define la PS óptima como aquella que genera la menor FR (16 rpm aprox.) asociada a un trabajo respiratorio cercano a cero. Sin embargo, muchas veces el paciente se encuentra adaptado a frecuencias respiratorias más elevadas. Desde el punto de vista práctico, es razonable tolerar frecuencias respiratorias entre 20 rpm y 30 rpm si se asocia con un volumen corriente y un flujo máximo inspiratorio que satisfagan la demanda ventilatoria, o sea, que no genere aumento del esfuerzo respiratorio del paciente. Para ello es mandatorio la valoración clínica del paciente y su necesidad de contracción de músculos respiratorios accesorios, fundamentalmente los esternocleidomastoideos.

- **Volumen corriente:**

El Vc en esta modalidad depende de:

- magnitud del esfuerzo muscular del paciente
- nivel de presión de soporte,
- tiempo de ascenso de la presurización (o velocidad de ascenso o rampa),
- flujo inspiratorio máximo alcanzado
- tiempo de insuflación (modificable con el trigger espiratorio).

A RECORDAR:

Todo aumento del flujo inspiratorio máximo se acompaña de aumento en el volumen corriente y viceversa

El flujo inspiratorio máximo varía directamente con:

- ✓ ***Esfuerzo del paciente***
- ✓ ***Nivel de presión de soporte***
- ✓ ***Velocidad de ascenso de la presurización (o tiempo de ascenso de la presurización –“rise time”-; en este caso la variación es en sentido inverso)***

A RECORDAR:

Las variaciones en el Trigger espiratorio modifican el tiempo de insuflación y con ello el volumen corriente.

- ✓ ***El aumento en el umbral de corte (% más alto de flujo máximo al que corta la insuflación) disminuye el Vc***
- ✓ ***La disminución en el umbral de corte (% más bajo de flujo máximo al que corta la insuflación) aumenta el Vc***

• **Presión de vía aérea (Pva): morfología de la curva:**

La morfología de la curva de Pva aporta datos fundamentales acerca de:

- nivel de PS
- velocidad con la que el paciente recibe la presurización (y por lo tanto, alcanza el flujo inspiratorio máximo)
- magnitud del esfuerzo muscular del paciente.

La morfología “ideal” de la curva de Pva es la que adopta una forma de “onda cuadrada”, lo que significa que se satisface plenamente la demanda ventilatoria del paciente (Figura 1).



Figura 1: Registro gráfico de Flujo aéreo, Presión de vía aérea y volumen corriente durante PSI. Se observa la morfología típica de la Pva asociada a un nivel suficiente de presurización.

- Cuando el nivel de PS es insuficiente el paciente desencadena sin problemas el ciclo de máquina pero debe aumentar y prolongar el esfuerzo muscular durante la fase de presurización de la vía aérea. En consecuencia, la curva de Pva adopta una forma excavada perdiendo su “forma ideal” (Figura 2).

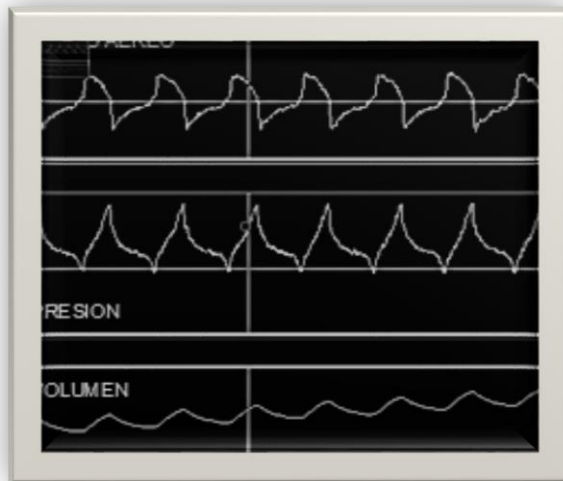


Figura 2: Registro gráfico de Flujo aéreo, Presión de vía aérea y volumen Corriente durante PSI

Se observa pérdida de la morfología típica de la Pva que se excava durante casi todo el tiempo de insuflación por persistencia del esfuerzo activo del paciente.

- Cuando el nivel de PS es excesivo y el paciente tiene como alteración de la mecánica respiratoria hiperinsuflación dinámica (por ejemplo en pacientes con EPOC), el Vc que se genera puede agravar la hiperinsuflación con la aparición de esfuerzos inefectivos (Figura 3). Frente a estos registros es necesario disminuir el nivel de PS (para disminuir el volumen corriente) e incrementar el nivel de PEEP (para contrarrestar PEEPI).

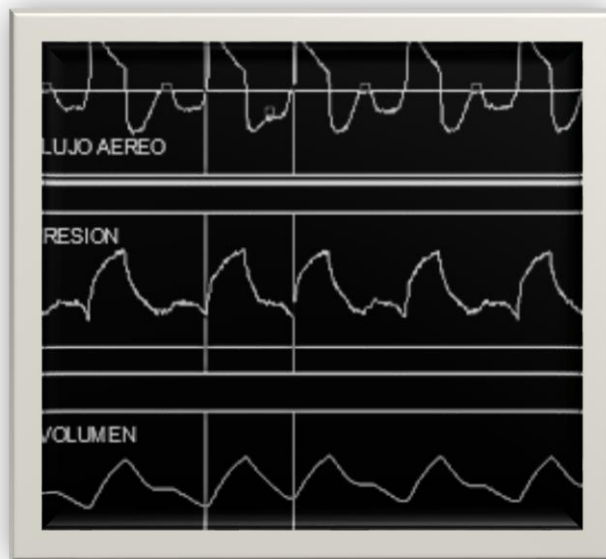


Figura 3: Registro gráfico de Flujo aéreo, Presión de vía aérea y volumen corriente durante PSI.

Se observan esfuerzos que no son suficientes para desencadenar la presurización inspiratoria pero que alteran la morfología de la curva de flujo aéreo y presión de vía aérea.

- Independientemente del nivel de presión fijado, la morfología de la curva de presión se modifica cuando, por las características mecánicas del sistema respiratorio, el tiempo de insuflación se prolonga más del necesario para el paciente. Este fenómeno puede verse en pacientes EPOC que por su tiempo de vaciado prolongado, demoran en alcanzar el porcentaje de caída de flujo para que cese la insuflación. La curva de presión en vía aérea evidencia un sobre-pico de presión al final del tiempo inspiratorio debido a que el paciente hace un esfuerzo activo para interrumpir la insuflación (Figura 4). La variación del trigger espiratorio para que la insuflación se interrumpa a un porcentaje de flujo mayor (35-40% en lugar de 25-30%) corrige esta situación. Si el paciente no es EPOC, puede verse esta situación cuando hay fugas aéreas en el sistema.

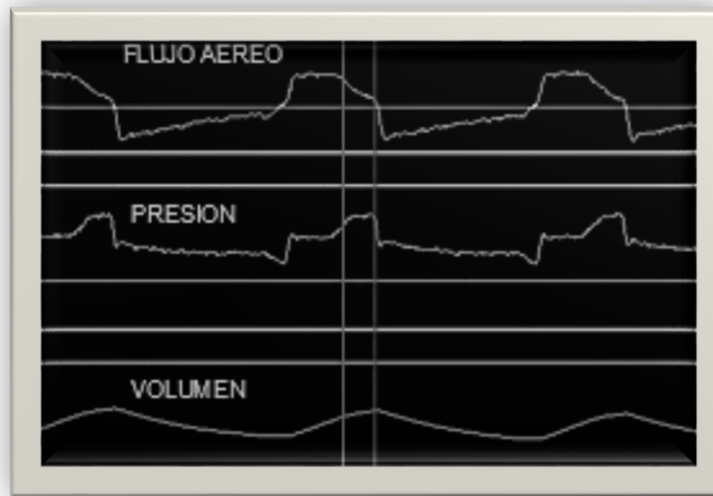


Figura 4: Registro gráfico de Flujo aéreo, Presión de vía aérea y volumen corriente durante PSI. Asincronía de ciclado

La prolongación del tiempo inspiratorio más allá del tiempo inspiratorio neural del paciente lo obliga a hacer una contracción muscular para cortar la insuflación que le resulta excesiva. Eso se traduce en un incremento brusco de la presión antes de la espiración con caída del flujo inspiratorio (situación representada entre las dos líneas verticales).

- La velocidad de ascenso de la presurización (o tiempo de ascenso o rampa inspiratoria) también modifican la morfología de la curva de presión en la medida que la presurización es más o menos rápida.

- **Flujo aéreo: morfología de la curva:**

La PSI es una ventilación limitada por presión y el componente inspiratorio describe una morfología descendente.

El flujo máximo inspiratorio depende de:

- nivel de presión de soporte preseleccionado,
- magnitud del esfuerzo inspiratorio del paciente
- tiempo que se tarda en alcanzar el flujo máximo.

A RECORDAR

- ✓ *A mayor esfuerzo del paciente mayor flujo máximo*
- ✓ *A mayor nivel de PS mayor flujo máximo*
- ✓ *Mayor velocidad de ascenso de la presurización mayor flujo máximo para un mismo nivel de PS*

El trigger espiratorio permite regular el porcentaje de flujo máximo al que se interrumpe la insuflación y comienza la espiración. A mayor porcentaje del flujo máximo o valor absoluto de flujo programado para el ciclado, menor es el tiempo de insuflación (Figura 5).

El componente espiratorio de la curva de flujo aéreo se ve influenciado por la presencia de limitación al flujo aéreo espiratorio y PEEP intrínseca como en todo modo ventilatorio (ver capítulo de monitoreo en ventilación controlada)

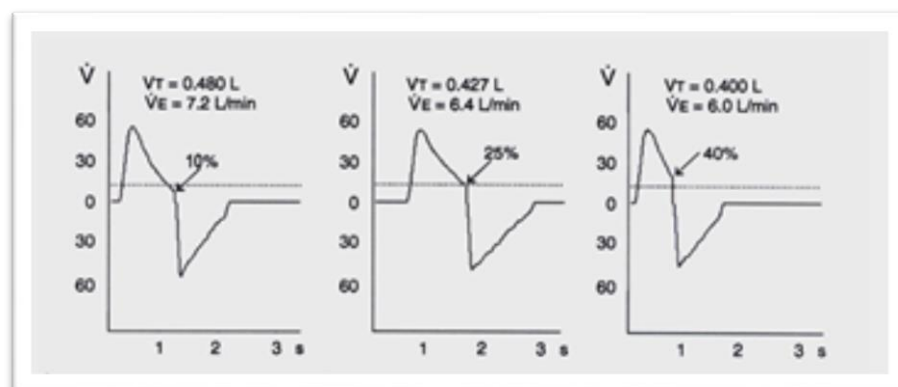


Figura 5: Esquema que representa la relación entre sensibilidad del trigger espiratorio y el volumen corriente. Toda vez que se prolonga la insuflación el volumen corriente aumenta para un mismo nivel de presurización.

2) Otras variables a monitorizar en ventilación asistida y parcial.

• Sincronía paciente -ventilador

La interacción es sincrónica cuanto más sensible es el equipo de ventilación mecánica al esfuerzo inspiratorio del paciente, se genere un flujo inspiratorio suficiente para cubrir las demandas ventilatorias y cuanto mayor acople exista entre el tiempo inspiratorio neural del paciente y el generado por la programación del ventilador mecánico. El desfase en alguna de estas variables, genera patrones respiratorios asincrónicos. Esta interacción asincrónica entre el paciente y el

ventilador puede objetivarse en situaciones extremas por la "lucha de éste contra el ventilador" o sólo a través de los registros de presiones y de flujo aéreo. El registro de las curvas de presión de vía aérea (P_{va}), flujo aéreo (F) y volumen corriente (V_c), nos permite identificar la asincronía entre el paciente y el ventilador y guiar la corrección del problema identificado (para más detalles ver capítulo de interacción paciente-ventilador)

- **PEEP intrínseca dinámica (PEEPi dyn)**

La PEEPi dyn se define como la carga mínima que debe ser superada por los músculos respiratorios para generar flujo aéreo. La medida de la PEEPi dyn tiene la ventaja que no requiere paralización, por lo que se puede efectuar tanto en ventilación asistida como durante la ventilación por PS. Se deben registrar el flujo aéreo y la presión esofágica (Pes) o la Pva. La caída de la Pes desde el inicio del esfuerzo muscular hasta el comienzo del flujo inspiratorio equivale a la PEEPi dyn (Figura 6), puesto que estima mejor que la Pva el esfuerzo muscular que debe realizar el paciente para vencer la PEEPi.

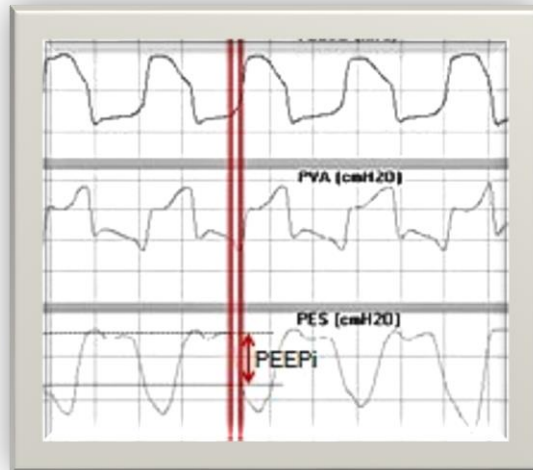


Figura 6: Registro gráfico de Flujo aéreo, Presión de vía aérea y Presión esofágica durante PSI.

Se observa como el esfuerzo inspiratorio puesto de manifiesto con el inicio de la caída de la presión esofágica, comienza antes que el flujo espiratorio se haya completado. El gradiente de presión esofágica entre el inicio del esfuerzo inspiratorio y el comienzo del flujo inspiratorio corresponde a la PEEPi dyn.

Otra técnica, que es la utilizada en los ventiladores modernos, se basa en la medida del gradiente negativo de presión de vía aérea desde el inicio del esfuerzo hasta el inicio del flujo aéreo. En esta situación la sensibilidad del ventilador debe estar ajustada a -2 cm H₂O para que la técnica sea válida.

- **Presión de oclusión ($P_{0,1}$)**

La presión de oclusión de la vía aérea a los 100 ms ($P_{0,1}$) es una medida de la intensidad del impulso neural del centro respiratorio y de la demanda del sistema respiratorio. Si la vía aérea está ocluida cuando comienza la inspiración, se produce una caída de la presión dentro de ella contra una resistencia a flujo cero. Esta caída de presión puede ser medida a nivel de la boca del individuo ventilando espontáneamente al aire o en el tubo endotraqueal del paciente conectado o no al ventilador. El valor de la presión de la vía aérea a los 100 ms de comenzada la inspiración es una medida del impulso central que no está influenciada por la voluntad ni por las características mecánicas del sistema respiratorio del paciente. Los ventiladores actuales incorporan algoritmos que permiten efectuar la medida automatizada ciclo a ciclo de la $P_{0,1}$ utilizando el habitual retardo de apertura de la válvula inspiratoria (que es menor o igual a 100 ms) desde el inicio del esfuerzo muscular del paciente. Otros equipos hacen la oclusión al final de la espiración y en un solo ciclo, todas las veces que se le ordene al equipo.

La medida de la $P_{0,1}$ requiere que la sensibilidad del trigger inspiratorio este ajustado por presión.

La $P_{0,1}$ normal oscila en torno a -1 cmH₂O. Todo aumento de las demandas ventilatorias se satisface a través del incremento del impulso central. El aumento exagerado del impulso central obliga al sistema respiratorio a aumentar la ventilación minuto (V_E), situación que de mantenerse en el tiempo, puede llevar al fracaso de la discontinuación de la VM.

- **Trabajo respiratorio**

La ventilación supone la realización de un trabajo respiratorio (W) que es proporcional a la integración del volumen movilizado en la inspiración (V_c) por la presión desarrollada. El W es muy pequeño en el sujeto sano, pero aumenta enormemente en el sujeto con insuficiencia respiratoria, de tal modo que los músculos respiratorios pueden no soportarlo y entrar en fatiga muscular. La medida

del W en sus distintos componentes requiere la colocación de un balón esofágico para estimar la presión intrapleural (Ppl). Si el Vc se mide en litros y el gradiente de presión en cmH₂O, el W se expresará en joules (J). Cuando el gradiente de presión desarrollado es la diferencia entre la presión en la vía aérea y la presión alveolar (Pva-Pal), su integración con el Vc inspirado permite el cálculo del W resistivo, vale decir, el trabajo realizado por los músculos respiratorios para vencer las resistencias de la vía aérea. Cuando el gradiente de presión desarrollado equivale a la diferencia entre la presión alveolar y la presión intrapleural (Pal-Ppl), su integración con el Vc inspirado informa acerca del trabajo elástico realizado para expandir el parénquima pulmonar. Cuando el paciente está en ventilación espontánea o asistida, se puede utilizar el Diagrama de Campbell para obtener los distintos componentes del trabajo respiratorio. Este parámetro es de utilidad para identificar las causas que impiden la desvinculación de la ventilación mecánica.

Una limitación de este método es de orden práctico y es que requiere la colocación de un balón esofágico. La otra limitación es que excluye el trabajo realizado por los músculos respiratorios para abrir la válvula inspiratoria, o el esfuerzo realizado para generar flujo aéreo cuando existe PEEPi, puesto que en ambos casos la contracción muscular se produce sin generar cambio de volumen pulmonar. Como alternativa a la primera limitación, algunos ventiladores de última generación han incluido softwares que realizan el cálculo del trabajo inspiratorio ploteando la curva dinámica de presión en vía aérea vs. el volumen corriente durante la inspiración (Figura 7).



Figura 7: Bucle presión volumen y cálculo del trabajo respiratorio. El área de presión negativa corresponde al trabajo realizado por el paciente

Cuando comienza la inspiración y existe esfuerzo del paciente, se produce un desplazamiento hacia la izquierda de la curva Pva-Vc por debajo del nivel de Pva que marca el reposo espiratorio. El área comprendida entre esta parte de la curva y la Pva basal representa el trabajo inspiratorio que desarrolla el paciente (trabajo impuesto) para disparar el ventilador y va precedido de un signo negativo. Cuando la curva cruza la Pva basal y se desplaza hacia la derecha hasta el fin de la inspiración, el área comprendida entre esta parte de la curva y el nivel basal de Pva corresponde al trabajo inspiratorio que realiza el ventilador y va precedido de un signo positivo. La suma algebraica de ambos componentes equivale al trabajo inspiratorio total y representa la asistencia inspiratoria neta del ventilador. El desplazamiento hacia la izquierda de la porción inicial de la curva dinámica Pva-Vc o el aumento de este componente negativo de trabajo inspiratorio indica un seteo inadecuado de la sensibilidad de trigger o mayor demanda de flujo inspiratorio. Si bien no todos los ventiladores de última generación calculan el trabajo respiratorio, por lo general permiten desplegar en pantalla la curva dinámica Pva-Vc en tiempo real. La adecuación de la sensibilidad de trigger o del flujo inspiratorio a las demandas del paciente puede hacerse observando la minimización del desplazamiento hacia la izquierda del componente inicial del bucle Pva-Vc en tiempo real. Una alternativa a la segunda limitación es el cálculo del producto negativo presión-tiempo (PTP), que equivale al área bajo la curva de Pva-tiempo desde que comienza el esfuerzo inspiratorio hasta que la Pva alcanza nuevamente el nivel basal luego de su deflexión negativa inicial. De este modo el PTP permite cuantificar la carga de trabajo impuesta por el ventilador en condiciones de contracción muscular isovolumétrica.

Las medidas de trabajo respiratorio y del PTP analizadas pueden ser efectuadas en los respiradores de última generación, en forma automática y ciclo a ciclo, lo que brinda una información completa y rápida de la energética de la respiración del paciente ventilado sin necesidad de instrumentación engorrosa adicional.

- **Presión inspiratoria máxima (PIM)**

La PIM es la caída de presión en la vía aérea registrada durante un esfuerzo inspiratorio máximo contra la vía aérea ocluída. Este método requiere la comprensión del paciente para que la maniobra sea reproducible. Marini describió un método de optimización de la PIM en el paciente no cooperador mediante la estimulación máxima de la respiración por intermedio de la oclusión prolongada de la vía aérea (Figura 8).

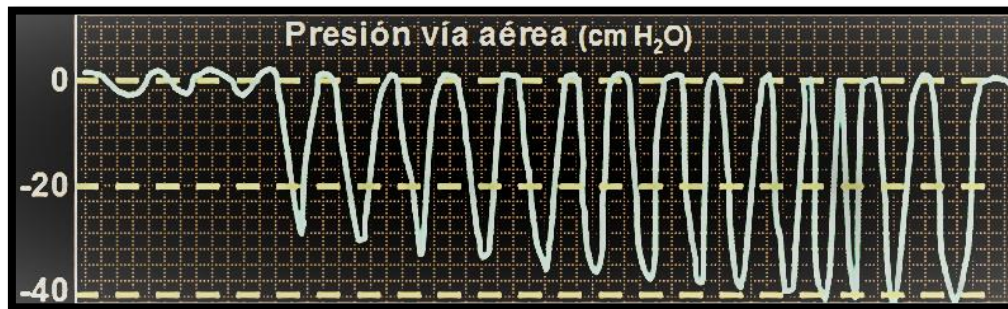


Figura 8: Registro de presión de vía aérea durante la maniobra de PIM. La oclusión se mantiene durante por lo menos 25 segundos.

Esta maniobra se puede realizar sin necesidad de desconectar al paciente del ventilador. El paciente debe estar en ventilación mecánica en modo PSI sin PEEP y realizarse en forma manual o automática una oclusión al final de la espiración que se mantiene durante 30 segundos. El paciente realizará una sucesión de esfuerzos inspiratorios crecientes dentro del circuito del ventilador con la válvula inspiratoria cerrada, desarrollando el mayor esfuerzo dentro de los 20-25 seg siguientes a la oclusión de la vía aérea. El valor del mayor esfuerzo equivaldrá a la PIM.

Un adulto sano puede desarrollar una PIM de -115 cmH₂O. Estos valores disminuyen con la edad y están severamente comprometidos en la enfermedad neuromuscular. Su medida es útil para evaluar la participación muscular respiratoria cuando fracasó la discontinuación de la VM, o como guía evolutiva y para valorar la oportunidad de la desconexión del ventilador en los pacientes con enfermedad neuromuscular.

- **Capacidad vital (CV)**

La capacidad vital (CV) es el máximo volumen de gas que un sujeto puede espirar en forma lenta y profunda luego de tomar una inspiración máxima. Su valor normal oscila entre 65 y 75 mL/Kg. Para poder mantenerse la ventilación espontánea se requiere un valor mínimo de CV de 10 a 15 mL/Kg. La CV disminuye en las enfermedades restrictivas y cuando disminuye la fuerza de los músculos respiratorios. En pacientes con enfermedad neuromuscular agravada, valores de CV menores de 10 mL/Kg indican necesidad de intubación y VM. Durante la VM de estos pacientes, la medida diaria de la CV en decúbito supino y en posición semisentado, es muy útil para determinar la oportunidad de la desconexión del ventilador. Los ventiladores de última generación permiten medir la CV sin la necesidad de desconectar al paciente del aparato. El paciente queda ventilando en CPAP = 0 y se le debe ordenar que efectúe una inspiración máxima, que mantenga la insuflación

por 2 o 3 segundos y que luego espire lenta y profundamente. Se despliega la medida automática o puede efectuarse en forma manual si el ventilador da la posibilidad de congelar la pantalla y disponer de cursores. La única limitación del método es que se necesita la colaboración del paciente.