

*Hospital Provincial Clínico Quirúrgico Docente "Manuel Ascunce Domenech"*

## VENTILACIÓN PROTECTORA UTILIZANDO EL MONITOREO GRÁFICO

**Dr. Volfredo Camacho Assef\***; **Dr. Raúl Koelig Padrón\*\***; **Dra. Carmen Barredo Garcés\*\*\***; **Dr. Rafael Pila Pérez\*\*\*\***

\* *Especialista II Grado en Medicina Interna y en Cuidados Intensivos. Profesor Auxiliar. Facultad de Ciencias Médicas de Ciego de Ávila. Hospital Provincial "Antonio Luaces Iraola".*

\*\* *Especialista de I Grado en Cirugía. Verticalizado en Cuidados Intensivos. Instructor del ISCM de Camagüey.*

\*\*\* *Especialista de II Grado en Anestesia y Reanimación y en Cuidados Intensivos. Instructor de la Facultad de Ciencias Médicas de Ciego de Ávila. Hospital Provincial "Antonio Luaces Iraola".*

\*\*\*\* *Especialista de II Grado de Medicina Interna. Profesor Titular.*

## RESUMEN

Durante años la selección de los parámetros ventilatorios aplicados en los pacientes ventilados, correspondía a cálculos realizados sobre la base del sexo y peso del paciente, sin tener en cuenta las condiciones particulares que la enfermedad provocaba sobre la mecánica ventilatoria y el funcionamiento de los pulmones. Actualmente es posible el monitoreo de los parámetros ventilatorios de forma no invasiva y a la cabecera del paciente, con una precisión que sólo es lograda en el laboratorio con anterioridad. Según los datos ofrecidos con el monitoreo gráfico, se propuso una estrategia de ventilación protectora que permita establecer en cada caso de forma particular el nivel de la presión positiva al final de la espiración óptima que garantice un máximo reclutamiento alveolar; el volumen tidal que no implique riesgo de sobredistensión, la relación

inspiración-espирación y la frecuencia respiratoria ideal que garantice una inspiración completa y una espiración sin riesgo de hiperinsuflación dinámica; la velocidad de flujo necesaria para suministrar el volumen tidal seleccionado en el tiempo apropiado. Estas inferencias se hicieron a partir de cinco interrogantes que se propusieron como guía terapéutica.

## **DeCS: RESPIRACIÓN ARTIFICIAL; MONITOREO**

### **INTRODUCCIÓN**

Los análisis gráficos en pacientes sometidos a ventilación mecánica constituyen un medio apropiado de información sobre las adecuadas estrategias ventilatorias y ayudan a la monitorización de los parámetros ventilatorios y los efectos adversos de la ventilación mecánica. De forma didáctica se pueden considerar cinco objetivos generales durante la monitorización gráfica, los cuales se enumeran a continuación:

Objetivos de los análisis gráficos:

1. Determinación rápida de enfermedades respiratorias mediante la medición de:
  - Volumen tidal ( $V_T$ ).
  - Presiones en la vía aérea (PaW).
  - Compliancia.
  - Resistencia en la vía aérea.
2. Determinar la efectividad de las intervenciones médicas utilizadas en la asistencia al paciente:
  - Determinación de la presión positiva al final de la espiración (PEEP) óptima.
  - Seleccionar el volumen tidal y la presión inspiratoria adecuada.
  - Establecer los principios de ventilación protectora.
3. Evaluar, cuando están presentes los efectos adversos de la ventilación:
  - Sobredistensión alveolar.
  - Hiperexpansión dinámica (atrapamiento aéreo).
  - Detección de fugas de aire.
  - Obstrucción en las vías aéreas.
4. Evaluar el sincronismo del ventilador al paciente:
  - Por ajuste inadecuado del trigger.
  - Por fugas aéreas.
  - Por esfuerzos ventilatorios del paciente mientras el ventilador libera la embolada.

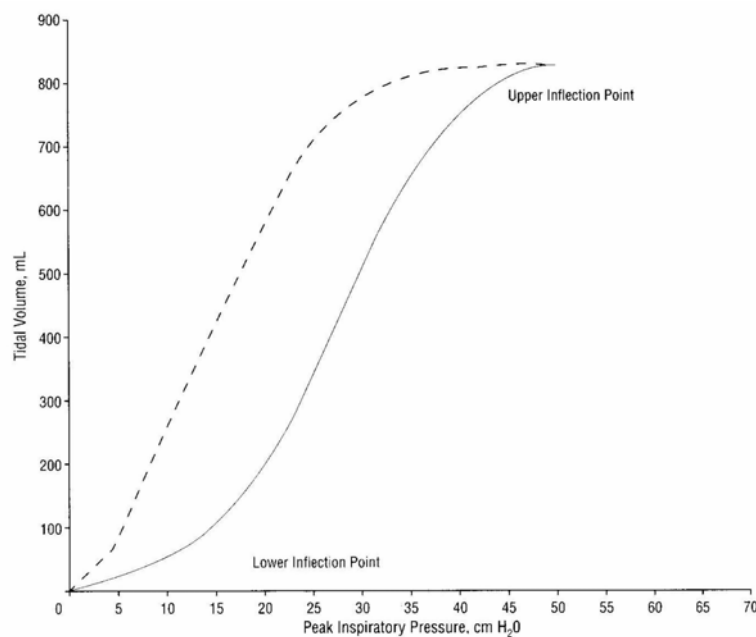
- Determinar las tendencias y eventos de forma retroactiva.

## DESARROLLO

Para cumplimentar los anteriores objetivos los monitores gráficos utilizan diferentes tipos de curvas y lazos.

### ¿Cómo calcular el nivel de PEEP y el $V_T$ apropiado del paciente?

Una vez tomada la decisión de ventilar mecánicamente al paciente se recomienda su intubación, bajo relajación y sedación profunda, de forma tal que inmediatamente después de intubado, el paciente pueda ser ventilado en volumen control, con un  $V_T$  de 10 ml/kg y flujo constante. De esta forma se procede a obtener la curva presión-volumen, (con menos artefactos) sobre la cual se establecerán los parámetros ventilatorios del paciente.



**Fig. 1. Curva de presión-volumen obtenida en un paciente en volumen control, con flujo constante**

Se observa el punto de inflexión inferior en 15 cm de H<sub>2</sub>O, y el punto de inflexión superior en 45 cm H<sub>2</sub>O.

### **¿Qué parámetros establecer mediante la curva presión-volumen?**

Primero, se establece el nivel de PEEP ideal, el cual será igual a 2 cm de H<sub>2</sub>O por encima del punto de inflexión inferior. Con este nivel, que generalmente es de  $\pm 17$  cm de H<sub>2</sub>O se alcanza un reclutamiento alveolar máximo, que se acompaña de mejores índices de oxigenación en sangre arterial.

En segundo lugar, se establece el Vt ideal <sup>1-2</sup>, que será el volumen corriente máximo liberado por el ventilador, que no llegue a producir el desplazamiento de la curva más allá del punto de inflexión superior (aproximadamente 45 cm de H<sub>2</sub>O) (Fig. 1), lo que equivale a ventilar sin producir sobredistensión alveolar, obsérvese que de esta forma se calcula el volumen tidal, según la compliancia del pulmón del paciente y no se considera el peso del mismo. Un volumen tidal máximo protector es aquel que se distribuye entre los puntos de inflexión superior e inferior de la curva, zona de mayor compliancia pulmonar.

Con esta forma de establecer los parámetros ventilatorios se protege el pulmón del daño asociado a la ventilación mecánica, al garantizar el máximo reclutamiento alveolar, disminuir el cizallamiento y evitar la sobredistensión alveolar.

El volumen tidal calculado en base a la curva presión-volumen, usualmente oscila entre 5 a 6 ml/kg, y del mismo resulta un aumento de la CO<sub>2</sub> entre 55–80 mm Hg y una disminución del pH arterial entre 7.1 y 7.2 conocido como hipoventilación controlada o hipercapnia permisible.<sup>3-6</sup>

### **¿Cómo calcular la frecuencia respiratoria y la relación inspiración-espriación (I/E) ideal, utilizando el monitor gráfico?**

La frecuencia respiratoria es el mayor determinante de la relación I/E ideal, y la misma puede calcularse mediante las siguientes fórmulas:

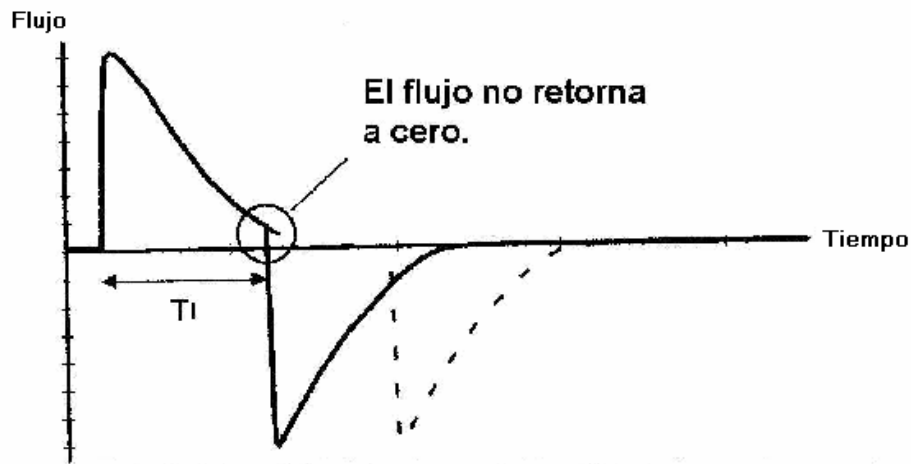
$$T_I = V_t / \text{Flujo}$$

$$T_I = \text{Ciclo respiratorio (60 s/FR)} - T_E$$

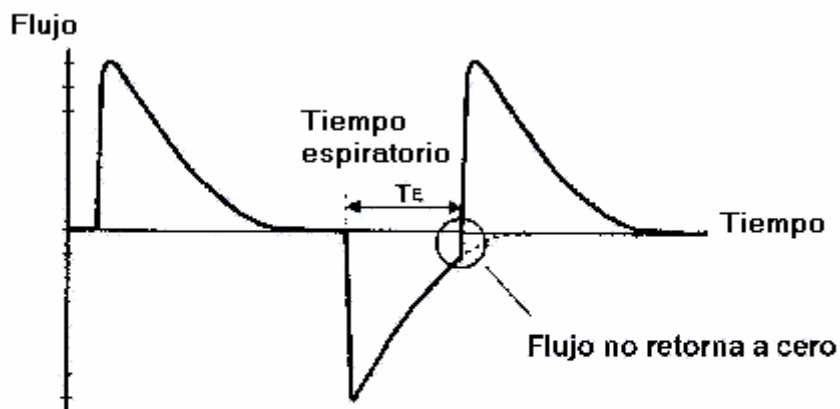
$$FR = 60 \text{ s} / (T_I + T_E)$$

Donde el ciclo respiratorio es igual a 60 / FR expresado en segundos. Se observa que al aumentar la frecuencia respiratoria, el ciclo respiratorio ( $T_I + T_E$ ) disminuye (para un mismo Vt). Atendiendo al monitor gráfico, se establece una FR que permita que el ventilador libere la

embolada sin generar presiones pico excesivamente elevadas en la vía respiratoria, y simultáneamente establezca un tiempo espiratorio que permita que el flujo espiratorio del paciente llegue a cero, sin que se produzca atrapamiento de aire o autoPEEP.<sup>7-8</sup>



**Fig. 2. Tiempo inspiratorio excesivamente corto**, la espiración comienza antes de que el ventilador haya terminado de liberar el volumen tidal prefijado.



**Fig. 3.**

Obsérvese cómo una frecuencia respiratoria alta, puede generar un tiempo espiratorio excesivamente breve (el flujo espiratorio no llega a cero), con atrapamiento de aire y producción de autoPEEP (Fig. 3).

Uno de los principios básicos de la ventilación protectora es el no uso de modalidades controladas que obliguen al uso de relajantes y sedantes implicados en la miopatía del paciente crítico y en el fracaso de las maniobras de destete. Por tal razón, una vez conocida la PEEP óptima, y el volumen tidal, la frecuencia respiratoria y la relación I/E ideal, Se debe pasar al paciente a una modalidad asistida, que no implique el uso obligado de relajantes y sedantes, así como establecer modalidades con flujo sinusoidal o descelarante que producen una mejor distribución del volumen tidal liberado por el ventilador y generan menores presiones en la vía aérea del paciente.<sup>9-12</sup>

La modalidad ventilatoria a establecer depende del tipo de ventilador disponible y de cómo es regulado el mismo:

1. Ventiladores regulados en base al tiempo.
2. Ventiladores regulados en base al volumen minuto o tidal.
3. Ventiladores regulados en base a presiones.
4. Ventiladores regulados en base a flujo.

En los ventiladores que permiten el ajuste de la velocidad de flujo, el mismo se calcula mediante la siguiente ecuación<sup>13-15</sup>.

**Velocidad de flujo = Volumen tidal / tiempo inspiratorio.**

Donde el volumen tidal y el tiempo inspiratorio fueron previamente determinados con la utilización de las curvas y lazos del monitor gráfico. En sentido general la velocidad de flujo es igual a:

1. Flujo constante: 4 veces el volumen minuto.
2. Flujo descelarante: 4 veces el volumen minuto + 25 %.

Una vez establecidos los parámetros ventilatorios mediante la selección de los datos inferidos a partir del monitoreo gráfico, se procede a medir los gases sanguíneos en sangre arterial, si las mediciones realizadas demuestran una buena oxigenación de la sangre arterial, se aplicará una fracción de oxígeno en el aire  $FiO_2$  tan baja como sea posible.<sup>16-18</sup>

**¿Qué otras estrategias se deben seguir si una vez establecidos los parámetros ventilatorios anteriormente determinados, la oxigenación de la sangre continua insuficiente?**

Cuando con el máximo reclutamiento alveolar no se logra oxigenar plenamente la sangre, no se debe aplicar  $\text{FiO}_2$  por encima de 0.6, bajo ninguna circunstancia; en este caso sería recomendable aplicar ventilación en decúbito prono. Una vez aplicada la misma, nuevamente se hace necesario proceder a determinar la curva de presión-volumen y establecer el nuevo nivel de PEEP y el volumen corriente necesarios para lograr un adecuado reclutamiento alveolar sin sobredistender los alvéolos. La posición prona se mantendrá por períodos de tiempo entre 12 y 24 h que alternen con períodos de 30 min. a 1 h de posición supina.<sup>19</sup>

**¿Qué hacer si el nivel de acidosis hipercápnica resulta no permisible?**

En caso de presentarse excesiva acidosis hipercápnica o mixta, se hace necesario la remoción del  $\text{CO}_2$  alveolar, con este fin se han aplicado dos estrategias en las cuales no tenemos experiencia:

1. Aplicación de oxigenación extracorpórea.
2. Aplicación de ventilación a alta frecuencia, preferiblemente High Frequency Oscillation (HFO).

La ventilación con alta frecuencia es una estrategia muy interesante, ya que permite ventilar con volúmenes corrientes de pocos mililitros que generan presiones muy bajas en la vía aérea, mantiene el reclutamiento alveolar y provoca la remoción total del  $\text{CO}_2$  alveolar sin que se produzca hipercapnia<sup>20</sup>.

**ABSTRACT**

During years, the selection of the ventilative parameters applied in the ventilated patients, corresponded to calculations performed on the base on the sex and weight of the patient, without taking into account the particular conditions that the illness caused on the mechanic ventilative and the functioning of the lungs. Today it is possible to monitor the ventilative parameters by non-invasive methods at the patient bedside with a precision that was only achieved previously in the laboratory. According to the data offered with the graphic monitoring, we propose a strategy of protective ventilation that allows to settle down in each particular patient the level of the optimal Positive End-Expiratory Pressure) that guarantees a maximum alveolar recruitment, the tidal volume that doesn't imply risk of overdistension, the relationship inspiration-expiration and the ideal breathing frequency that guarantees a complete inspiration and an expiration without risk of dynamic hyperinflation the flow speed necessary to give the tidal volume selected in the

appropriate time. These inferences we make are from 5 queries that we propose as a therapeutic guide.

## **DeCS: ARTIFICIAL RESPIRATION; MONITORING**

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Dreyfuss D, Martin-Lefèvre, L, Saumon G. Hyperinflation-induced lung injury during alveolar flooding in rats: effect of perfluorocarbon instillation. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159:1752-57.
2. Esteban A., Anzueto A., Alía I, Gordo F, Apezteguía C, Pálizas F, et al. How is mechanical ventilation employed in the intensive care unit?: an international utilization review. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;161:1450-8.
3. Jubran A. Advances in respiratory monitoring during mechanical ventilation. *Chest* 1999;116:1416-25.
4. Matthay MA. Conference summary: acute lung injury. *Chest* 1999;116:119-26.
5. Esteban A., Alía I, Gordo F, Pablo R de, Suárez, J, González, G, et al. Prospective randomized trial comparing pressure-controlled ventilation and volume-controlled ventilation in ARDS. *Chest* 2000;117:1690-6.
6. Slutsky AS. Consensus conference on mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 1994; 20:64-79, 150-62.
7. Dreyfuss,D, Saumon G. Ventilation-induced injury. En: Tobin MJ, editor. *Principles and practice of mechanical ventilation*. New York: McGraw-Hill Publishing; 1994. p. 793-811.
8. Hickling, KG, Henderson SJ, Jackson R. Low mortality associated with low volume pressure limited ventilation with permissive hypercapnia in severe adult respiratory distress syndrome. *Intensive Care Med* 1990;16:372-7.
9. Hickling KG, Walsh J, Henderson SJ, Jackson R. Low mortality rate in adult respiratory distress syndrome using low-volume, pressure-limited ventilation with permissive hypercapnia: a prospective study. *Crit. Care Med* 1994;22:1568-78.
10. Amato BP, Barbas CS, Medeiros DM, Magaldi RB, Schettino GD, Lorenzi-Filho et al. Effect of a protective-ventilation strategy on mortality in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 1998;338: 347-54.



11. Dreyfuss, D, Soler P, and Saumon G. Mechanical ventilation-induced pulmonary edema: interaction with previous lung alterations. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;151:1568-75.
12. Roupie E, Dambrosio M, Servillo G, Mentec H, Atrous S, Beydon L, et al. Titration of tidal volume and induced hypercapnia in acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;152:121-8.
13. Brunet F, Mira JP, Belghith M, Monchi M, Renaud B, Fierobe L, et al. Extracorporeal carbon dioxide removal technique improves oxygenation without causing overinflation. *Am J Respir Crit Care Med* 1994;149:1557-62.
14. Dambrosio M., Roupie E, Mollet JJ, Anglade MC, Vasile N, Lemaire F, et al. Effects of PEEP and different tidal volumes on alveolar recruitment and hyperinflation. *Anesthesiology* 1997;87:495-503.
15. Pepe PE, Marini JJ. Occult positive end-expiratory pressure in mechanically ventilated patients with airflow obstruction: the auto-PEEP effect. *Am Rev Respir Dis* 1982;126:166-9 .
16. Rouby JJ, Lherm T, Martin de Lassale E, Poéte P, Bodin L, Finet JF, et al. Histologic aspect of pulmonary barotrauma in critically ill patients with acute respiratory failure. *Intensive Care Med* 1993;19:383-9.
17. Gammon RB, Shin MS, Groves RH, Hardin JM, Hsu C, Buchalter SE. Clinical risk factors for pulmonary barotrauma: a multivariate analysis. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;152:1235-40.
18. Bernard GR, Artigas A, Brigham KL. The American-European consensus conference on ARDS: definitions, mechanisms, relevant outcomes, and clinical trial coordination. *Am J Respir Crit Care Med* 1994;149:818-24.
19. Kollef, MH, Schuster DP. The acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 1995;332:27-37.
20. Krishnan JA, Brower RG. High-frequency ventilation for acute lung injury and ARDS. *Chest* 2000;118:795-807.

Recibido: 26 de junio de 2003.

Aceptado: 30 de marzo de 2004.

