

BASES FISIOLÓGICAS Y ESTRATEGIAS DE VENTILACIÓN MECANICA

Dra. Agustina Gonzalez B.

Introducción:

Las necesidades de ventilación de un paciente dependen en gran medida de las propiedades mecánicas del sistema respiratorio y el tipo de anomalía en el intercambio gaseoso.

Mecánica Pulmonar: Las propiedades mecánicas de los pulmones son un determinante de la interacción entre el paciente y el ventilador, el gradiente de presión entre la apertura de la vía aérea y unidades de alvéolos es el flujo de gas. El gradiente de presión necesario para la ventilación adecuada está determinada en gran medida por la distensibilidad y la resistencia

La Compliance describe la elasticidad o la distensibilidad de los pulmones o del sistema respiratorio (pulmones, más la pared torácica), **se calcula como sigue:**

$$\text{Distensibilidad} = \Delta \text{volume} / \Delta \text{pressure.}$$

La distensibilidad de un recién nacido normal es: 3 a 5 ml/cm H₂O/kg, la distensibilidad de un prematuro con membrana hialina es de 0.1 a 1 ml/cm H₂O/kg.

La Resistencia: es la capacidad de conducción del gas de los pulmones o sistema respiratorio (pulmones y pared torácica) para resistir el flujo de aire. Se calcula:

$$\text{Resistance} = \Delta \text{Pressure} / \Delta \text{Flow}$$

La Resistencia de un recién nacido normal es 25 a 50 cm H₂O/l/s. La resistencia no está marcadamente alterada en prematuros con membrana hialina, puede ser hasta 100 cm H₂O/l/s o más por lo pequeño del tubo endotraqueal.

La constante de tiempo es una medida del tiempo en segundos necesaria para que la presión alveolar o volumen alcance el 63% del cambio de presión o volumen en la vía aérea

Se calcula:

$$Ct = \text{Compliance} \times \text{Resistencia.}$$

Si la compliance es de 2 mL/cm H₂O (0.002 L/ cm H₂O) y la resistencia de 40 cm H₂O/L/s,

$$Ct = 0.002 \text{ L/cm H}_2\text{O} \times 40 \text{ cm H}_2\text{O/L/s} = 0.080 \text{ s.}$$

La duración de la inspiración o expiración equivale a 3-5 constantes de tiempo para cada uno (0.24-0.4 s), la constante de tiempo será más corta si disminuye la distensibilidad (por ejemplo, en pacientes con RDS) o si la resistencia disminuye, por otra parte la constante de tiempo será más larga si aumenta la distensibilidad (después de una dosis de surfactante) o si la resistencia es alta (SAM). Los pacientes con constante de tiempo corta requieren tiempos de inspiración y expiración también cortos y la frecuencia respiratoria alta, mientras que los pacientes con una constante de tiempo larga requieren más tiempo de inspiración y expiración.

Si el tiempo inspiratorio es demasiado corto (es decir una duración más corta que 3-5 constantes de tiempo), habrá una disminución en la entrega del volumen corriente y la presión media de la vía aérea y si el tiempo espiratorio es demasiado corto (es decir, una duración más corta de 3-5 constantes de tiempo), existirá atrapamiento aéreo y PEEP inadvertido.

Las propiedades mecánicas varían con los cambios en el volumen pulmonar, incluso dentro de una respiración y pueden cambiar algo entre inspiración y expiración. Debemos recordar que la enfermedad pulmonar puede ser heterogéneo y por tanto tener diferentes áreas de los pulmones con diferentes características mecánicas.

El intercambio de gases. La hipercapnia y/o hipoxemia se producen durante la insuficiencia respiratoria, aunque la eliminación de CO₂ y la oxigenación puede coexistir, algunas condiciones pueden afectar diferencialmente el intercambio de gases (hipoxemia y/o hipercapnia).

Durante la transición a la vida extrauterina aumenta la resistencia vascular sistémica, la resistencia vascular pulmonar disminuye y el flujo sanguíneo pulmonar aumenta.

Los determinantes del intercambio gaseoso son la composición y volumen de gas alveolar, la composición y volumen de la mezcla de sangre venosa.

Composición del gas alveolar: La presión parcial de oxígeno en el gas alveolar humidificado: $PAO_2 = 149 - 40 (0.21 + 1 - 0.21/0.8) = 100 \text{ mmHg}$

Composición de la sangre venosa: depende del contenido de O₂ arterial, del gasto cardíaco y de la tasa metabólica.

Hipoxemia: Los mecanismos fisiopatológicos responsables de la hipoxemia son en orden de importancia relativa en los recién nacidos: Alteración de ventilación-perfusión, shunt de D-I, hipoventilación y limitación de la difusión. La oxigenación durante la ventilación asistida depende en gran medida de volumen pulmonar, que a su vez depende de la presión media de vía aérea.

Hipercapnia: Los mecanismos fisiopatológicos responsables de la hipercapnia son alteración V/Q, shunt de D-I, hipoventilación, y el aumento del espacio muerto fisiológico y anatómico.

La eliminación de CO₂ durante la ventilación asistida, el CO₂ difunde fácilmente en los alvéolos y su eliminación depende en gran medida de la cantidad total de gas que entra en contacto con los alvéolos (ventilación alveolar) que se calcula a partir del producto de la frecuencia (por minuto) y el volumen tidal alveolar (volumen corriente menos espacio muerto), que constituye la ventilación minuto alveolar. En los ventiladores con volumen garantizado, está programado el volumen entregado. En la ventilación por presión, el volumen corriente depende del gradiente de presión esto es PIP menos PEEP. Dependiendo de la constante de tiempo

del sistema respiratorio (y el ventilador), un tiempo de inspiración muy corto (TI) puede reducir el volumen corriente y un tiempo de espiración muy corto (TE) puede causar atrapamiento de gas y producir PEEP inadvertido.

La acidosis respiratoria: (pH bajo, PaCO₂ alta, bicarbonato normal)

1. Por alteración de V / Q, shunt y / o hipoventilación secundaria,
2. Compensación renal
 - a. La reducción de la excreción de bicarbonato
 - b. Aumento de la excreción de iones de hidrógeno

La alcalosis respiratoria (pH alto, bajo la PaCO₂ , Bicarbonato normal) .

1. A partir de la hiperventilación secundaria.
2. Compensación renal.
 - a. El aumento de la excreción de bicarbonato
 - b. La retención de cloruro
 - c. Excreción reducida ácidos y amonio

La acidosis metabólica (pH bajo, PaCO₂ normal, bicarbonato bajo).

1. Aumento de la producción de ácido o disminución de eliminación de ácido.
2. La compensación pulmonar secundaria: hiperventilación con disminución de la PaCO₂

La alcalosis metabólica (pH alto, PaCO₂ normal , bicarbonato alto) .

1. Administración excesiva de bicarbonato, tratamiento con diuréticos, y la pérdida de secreciones gástricas .
2. compensación pulmonar secundaria: hipoventilación

Estrategias ventilatorias:

La ventilación mecánica es una intervención médica compleja asociada con una alta morbilidad. Existe una variación considerable en el modo de ventilar a los prematuros, no realizando siempre una ventilación óptima. El desarrollo de un protocolo de ventilación mecánica requiere una investigación exhaustiva, y la aplicación cuidadosa después de un proceso educativo a fondo, seguido de monitoreo. Un protocolo de asistencia respiratoria debe ser integral y abordar la asistencia respiratoria desde la sala de parto con apoyo no-invasivo, criterios de intubación, la administración de surfactante, los modos de ventilación específicos, los ajustes, el destete criterios de extubación, y manejo post -extubacion . La literatura apoya la VNI como tratamiento de primera línea, para ventilar con modos con garantía de volumen y la ventilación de alta frecuencia solamente para indicaciones específicas. La estrategia de pulmón abierto es esencial para evitar el daño pulmonar de la ventilación pulmonar (VILI) .

Manejo en la sala de partos: El uso de un reanimador en T es recomendable para la reanimación, debido a su capacidad para proporcionar una presión inspiratoria conocida y un adecuado PEEP La FIO₂ inicial debe estar entre 0,30 y 0,40 (blender) para los recién nacidos prematuros y de 0,21 para los recién nacidos a término. FIO₂ debe variar para mantener la

saturación de acuerdo con NRP. La aplicación de CPAP con mascarilla a través de la pieza en T para el traslado.

1. CPAP tiene éxito en la mayoría de los recién nacidos > 26 semanas de gestación.
2. Intubación con el único propósito de administrar surfactante ya no se recomienda, pero si se requiere intubación para la estabilización inicial, debe administrarse surfactante una vez que la posición del tubo endotraqueal ha sido confirmada.

Apoyo ventilatorio no invasivo: El CPAP nasal debe estar aplicado con cánulas bi-nasales cortas y una presión mínima de 5 cm H₂O. El CPAP se puede suministrar con un sistema de burbujas, un ventilador de flujo constante, o un sistema de flujo variable. El uso de un ventilador mecánico tiene la ventaja de conversión a la ventilación invasiva o no invasiva (VNPP). La ventilación no invasiva ha ganado un lugar importante en los últimos años y parece ser eficaz en estabilizar la vía aérea, evitando apneas obstructivas, evitar la reintubación y el manejo del distress respiratorio del prematuro que están en peligro de requerir intubación. Un meta-análisis ha informado sobre la ventaja de este modo de la asistencia respiratoria no invasiva a la CPAP nasal.

Criterios de intubación: La necesidad de intubación endotraqueal se basa a menudo en "juicio clínico", que es altamente subjetivo. El alto requerimiento de oxígeno indica alteración significativa de ventilación / perfusión (V / Q), indicando la presencia de atelectasia, la PCO₂ > 65 mm Hg puede aumentar el riesgo de hemorragia intracraneal grave en los primeros días de vida. En general, intubación, surfactante y ventilación mecánica debe ser iniciado cuando la FIO₂ necesaria es > 0,5, con CPAP de > de 7 cm de H₂O, para lograr saturación preductal > 90%, PCO₂ < 55-60 mmhg, con ph < 7,25, las apneas son frecuentes en CPAP

Objetivos de ventilación mecánica: El uso óptimo de la ventilación mecánica busca mejorar la distensibilidad pulmonar, reducir la necesidad de oxígeno, evitar la inactivación de surfactante, mantener un volumen pulmonar óptimo y prevenir la atelectasia. El segundo elemento clave de las estrategias de ventilación de protección pulmonar es minimizar volutrauma y la hipocapnia, los elementos prevenibles de pulmón y lesión cerebral, evitando volúmenes corrientes excesivos. No hay evidencia para apoyar el uso rutinario de sedación o relajación muscular y por lo tanto los prematuros se les deben permitir respirar espontáneamente. La aspiración de rutina debe ser evitada, ya que conduce a des reclutamiento alveolar, hipoxemia transitoria y la alteración de la hemodinámica cerebral. Cuando las secreciones se detectan por auscultación o por alteración de la forma de onda de flujo, la aspiración rápida suave sin instilación de solución salina normal se indica. Los objetivos de toda ventilación mecánica deben ser: Lograr y mantener un adecuado intercambio gaseoso pulmonar, minimizar el riesgo de daño pulmonar, reducir el trabajo respiratorio del paciente, optimizar el confort del paciente.

Ventilación mecánica ideal: Es aquella que logra Sincronizar con el esfuerzo respiratorio del paciente, mantener un adecuado y estable volumen corriente y volumen minuto, con la mínima presión en la vía aérea que sea posible. responder a rápidos cambios en la mecánica pulmonar y a las demandas del paciente, lograr el menor trabajo respiratorio que sea posible con el óptimo volumen pulmonar, llevándolo a la parte central de la curva P/V.

Modos ventilatorios adecuados: Asistido/controlado (AC) o la ventilación con soporte de presión (PSV) es preferible a SIMV en recién nacidos prematuros, debido a que A/C y PSV apoyan todas los esfuerzos del prematuro y entrega en forma más uniforme el volumen corriente (VT), menor trabajo respiratorio y retiro de ventilador más rápido comparados con SIMV. PSV proporciona una sincronización más completa, ya que es ciclado por flujo, evitando tiempos inspiratorios largos, pero puede dar lugar a un tiempo inspiratorio (Ti) muy corto que no alcanzan el VT deseado, ni el intercambio gaseoso. Los prematuros pueden presentar una frecuencia respiratoria elevada en relación a VT escaso para alcanzar el volumen minuto deseado. SIMV combinado con la PS es una alternativa razonable, pero una estrategia de apoyo más compleja para lograr volúmenes corrientes más estables. Durante muchos años se ha utilizado la ventilación por objetivo de presión, por su factibilidad de uso, sin embargo la principal desventaja de ventilación limitada por presión es el riesgo de volutrauma cuando la distensibilidad pulmonar mejora, como sucede a menudo poco después que se administra el surfactante y se consigue el volumen pulmonar óptimo. El volumen corriente medido es el VT espiratorio, que es el medido en el sensor proximal del circuito del ventilador, no el VT suministrado al paciente.

Garantía de volumen (VG) es utilizado con varios modos ventilatorios, el VT se logra indirectamente ajustando la presión inspiratoria para llegar a un VT seleccionado por el usuario el microprocesador compara el volumen corriente exhalado de la respiración previa para la deseada y ajusta la presión de trabajo hacia arriba o abajo para conseguir el volumen tidal objetivo. Por lo tanto, la presión inspiratoria se reduce de forma espontánea. El VG ha sido estudiado más que cualquiera de los otros modos de ventilación con volumen específico y ha demostrado reducir la proporción de VT excesivos, hipocapnia y los marcadores inflamatorios de lesión pulmonar en el lavado broncoalveolar, y da lugar a la extubación temprana.

Sugerencia para VM en prematuro debe iniciarse con **AC + VG o PSV + VG**.

La elección de VT apropiada es la clave del éxito y depende del tamaño del niño, edad postnatal y lo agudo o crónico, en general el VT adecuado para las patologías agudas están entre 4-6 ml/kg y para patologías crónicas de 6-8 ml/kg y limitar la presión inspiratoria. El VT mayor en los niños más pequeños (4,5-5 ml/kg) es debido al impacto proporcionalmente más grande de espacio muerto instrumental del sensor de flujo. Los recién nacidos con displasia broncopulmonar o aspiración de meconio necesitan mayor VT debido a un aumento del espacio muerto fisiológico por el atrapamiento de aire y la inflación pulmonar heterogénea.

El PIM límite inicialmente debe establecerse 5- 10 cm de H₂O por encima del PIM de trabajo (PIM necesario para el VT deseado). Es importante asegurarse de que el tubo endotraqueal no se doble en el bronquio principal o se obstruya en la carina, ni se dirija solo al bronquio derecho ya que podría producir volutrauma unilateral. El PIM de seguridad se ajusta periódicamente a medida que la distensibilidad pulmonar mejora y la presión de trabajo se reduce. Si el ventilador no logra alcanzar el VT objetivo con el límite de presión, sonará una alarma, esto sirve como un sistema de alerta temprana para buscar la causa del cambio de distensibilidad.

PEEP debe ajustarse en proporción a la necesidad de oxígeno debido al volumen pulmonar disminuido. Por lo tanto, el uso de una PEEP de 5 cm de H₂O para todos los recién nacidos con

SDR no es óptimo para la oxigenación y el reclutamiento pulmonar. PEEP debe ser optimizado por incrementos de 1 cm H₂O si necesidad de oxígeno es > 0,30.

Tiempo inspiratorio (Ti) con la CA debe reflejar las constantes de tiempo del infante (tiempo que se demora en entrar y salir de los pulmones), los prematuros con SDR tienen constantes de tiempo muy cortas y deben ser ventilados con Ti de 0,3 seg o menos. Los recién nacidos más grandes o aquellos con una mayor resistencia de las vías respiratorias (por ejemplo, aquellos con enfermedad pulmonar crónica o Síndrome de aspiración de meconio) tienen constantes de tiempo más largas y requieren más tiempo Ti, hasta 0,5 seg, al igual que el texp. PSV es un A/C ciclado por flujo que se traduce en un ajuste automático de Ti eficaces en respuesta a los cambios de la mecánica pulmonar del prematuro. PSV se prefiere en la mayoría de los niños, con la excepción de aquellos < 600 grs durante los primeros 2 días de vida cuando los esfuerzos respiratorios son débiles. .

La frecuencia del ventilador debe reflejar la gravedad de la enfermedad y si el bebé tiene mucho esfuerzo respiratorio propio se apoya con Fr bajos (30x!). Los recién nacidos con enfermedad pulmonar grave y poco o ningún esfuerzo respiratorio en general, deben ser apoyados con 40-50x! Y recién nacidos con respiración espontánea con enfermedades moderada alrededor de 40 por minuto, lo que les permite que actúe el ventilador y controlar su propio ritmo. Es importante permitir suficiente tiempo espiratorio para evitar el atrapamiento de aire resultante de la exhalación incompleta, por esta razón, es importante evitar las Fr > 60 / min.

Valores de gases sanguíneos hipercapnia permisiva leve es apropiado en la mayoría de los recién nacidos. La PCO₂ debe mantenerse en el rango de 45-50 mm Hg durante los primeros días de vida con un pH superior a 7,25. La PCO₂ > 60 mm Hg durante los primeros días se deben evitar debido al aumento del riesgo de hemorragia intraventricular. A partir de entonces, un rango objetivo PCO₂ de 45 a 55 mm Hg es adecuado, siempre y cuando el pH es > 7,25. Minimal

FiO₂ necesario para conseguir la saturación preductal de oxígeno adecuada (90-94% %)

El destete: debe iniciarse tan pronto como el paciente ha comenzado a recuperarse de su problema que requirió el uso de la ventilación mecánica. El modo de desconexión ideal es la presión soporte ventilatorio por el entrenamiento al permitir usar su esfuerzo con un apoyo cada vez menor para lograr el VT. Una reciente revisión sistemática and meta-análisis concluyó que el uso de la ventilación con volumen definido comparada con la ventilación limitada por presión resultó en un menor índice de muerte / DBP, menos días de ventilación, menos neumotórax, menos hipercapnia y menores tasas de leucomalacia / hemorragia intraventricular periventricular severa. Con VG, el destete se produce automáticamente, con PIM de trabajo cada vez menor para el mismo VT.

El uso de terapias complementarias basadas en la evidencia como la cafeína y el uso prudente de los esteroides postnatales (Dark) también debe ser parte de protocolo de retiro del ventilador.

Ventilación de alta frecuencia: Cuando las presiones de inflación > 20 cm H₂O se

requieren constantemente para lograr el intercambio de gases aceptable en un recién nacido prematuro con RDS, se recomienda un cambio en la ventilación de alta frecuencia (VAF).

Extubación: Es importante reconocer que la extubación es un tiempo crítico, por lo que debe estar monitoreado por un neonatólogo. En prematuro debe intentarse cuando FiO_2 es 0.35, la PCO_2 mm Hg < 50 mmHg y la PMVA 7- 8cm de H₂O con buen esfuerzo respiratorio espontáneo consistente, sin excesivo trabajo respiratorio. Si no se ha administrado previamente, dosis de carga de cafeína o teofilina ev debe darse antes de realizar la extubación.

Después de la extubación: La asistencia respiratoria después de la extubación debe ser decidido de antemano y estar disponible para el inicio inmediato después de la extubación. Los recién nacidos prematuros siempre deben ser extubados a algún tipo de presión de distensión de las vías respiratorias. CPAP estándar es adecuada para la mayoría de los recién nacidos. VNPPI puede usarse en historia de fracaso de la extubación. HHFNC es menos eficaz y no debe ser utilizado como un sustituto de CPAP en el período post-extubación inmediata. El uso de dexametasona para el edema de vías aéreas debe ser evaluado en una base de caso por caso. Las posibilidades de fracaso de la extubación se deben informar a la familia, teniendo en cuenta que la reintubación no es un procedimiento simple y es la fuente de estrés significativo para todos.

Bibliografía:

1. Kapasi M, Fujino Y, Kirmse M, Catlin EA, Kacmarek RM. Effort and work of breathing in neonates during assisted patient-triggered ventilation. *Pediatr Crit Care Med* 2001; 2:9–16.
2. Coalson JJ. Pathology of bronchopulmonary dysplasia. *Semin Perinatol* 2006; 30: 179–84.
3. Sandeep Shetty, Anne Greenough. Neonatal ventilation strategies and long-term respiratory outcomes. *Early Human Development* 90 (2014) 735–739
4. Greenough A, Milner AD, Dimitriou G. Synchronized mechanical ventilation for respiratory support in newborn infants. *Cochrane Database Rev* 2008; 1:CD000456.
5. Schulzke SM, Pillow J, Ewald B, Patole SK. Flow-cycled versus time-cycled synchronized ventilation for neonates. *Cochrane Database Syst Rev* 2010:CD008246.