

VENTILACIÓN MECÁNICA INVASIVA EN EL PACIENTE PEDIÁTRICO

PEDIATRIC INVASIVE MECHANICAL VENTILATION

Dr. Andrés E. Castillo M.

Profesor Asociado, División Pediatría, Pontificia Universidad Católica de Chile.
Unidad Académica Cuidados Intensivos Pediátricos.

ABSTRACT

Mechanical ventilation (MV) is an essential tool in the management of severe respiratory failure, and its use is increasingly frequent in pediatric intensive care units. The main objective of mechanical ventilation is to replace the patient's respiratory work, until the patient is able to perform it by himself. The understanding of pediatric patient physiology, the pathophysiology of the underlying disease or condition, and the knowledge of how the mechanical ventilator operates and its interaction with the patient will lead to a proportionate management with reduced complications and successful extubation. In this article, we will review some aspects of its history, basic physiological concepts, general indications of onset, some modalities of MV, aspects of ventilatory management of obstructive and restrictive pulmonary pathology, and *weaning* or *weaning* and extubation.

Keywords: Mechanical ventilation; ventilation modes; weaning; respiratory failure; acute respiratory distress syndrome; status asthmaticus, children

RESUMEN

La ventilación mecánica constituye una herramienta fundamental en el manejo de la falla respiratoria grave, siendo su uso cada vez más frecuente en las unidades de cuidado intensivo pediátrico. El objetivo principal de la ventilación mecánica, es sustituir el trabajo respiratorio del paciente, hasta que éste sea capaz de realizarlo por sí mismo. El entendimiento de la fisiología del paciente pediátrico, la fisiopatología de la enfermedad o condición de base y el conocimiento del funcionamiento del ventilador mecánico y su interacción con el paciente, conducirán a un manejo proporcionado, con disminución de las complicaciones y una extubación exitosa. En este artículo, revisaremos algunos aspectos de su historia, conceptos fisiológicos básicos, las indicaciones generales de inicio, algunas modalidades de VM, aspectos del manejo ventilatorio de la patología pulmonar obstructiva y restrictiva, y el proceso de "*weaning*" o destete y extubación.

Palabras clave: ventilación mecánica; modo ventilatorio, falla respiratoria; síndrome de dificultad respiratoria aguda, asma grave, extubación

INTRODUCCIÓN

La ventilación mecánica invasiva (VM), constituye uno de los ejes centrales del manejo de la insuficiencia respiratoria aguda, especialmente cuando los mecanismos de compensación del paciente pediátrico son insuficientes para proporcionar el trabajo respiratorio que determine una buena oxigenación del organismo y una adecuada remoción del CO₂. De esta manera, la VM se ha transformado en una herramienta de uso frecuente en la Unidades de Paciente Crítico Pediátrico, con un uso descrito sobre un 20% de los pacientes ingresados a una UCI pediátrica, llegando a cifras mayores a 50% de los ingresos en época de infecciones respiratorias (1, 2). La decisión de colocar a un paciente en VM es una combinación de arte y ciencia, en donde se debe combinar en forma justa y apropiada, el juicio clínico, síntomas y signos de insuficiencia respiratoria y la incapacidad

del paciente de mantener un adecuado intercambio gaseoso o una vía aérea permeable.

ASPECTOS HISTÓRICOS DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA

400 años A.C., Hipócrates ya había mencionado la posibilidad de insuflar aire a los pulmones a través de la tráquea. Varios siglos más tarde, Andreas Vesalius, famoso médico y profesor de anatomía del siglo XVI, describía en su tratado *Humanis Corporis Fábrica*, la posibilidad de "restaurar" la vida de un animal colocando un tubo en la tráquea e insuflando aire a través de él. A fines del 1800, Alfred Woillez fue uno de los primeros individuos que desarrolló un ventilador parecido a un tubo, que hacía en forma manual un proceso de cambio de presiones internas, lo que permitía que al ser puesto un individuo dentro de este tubo y con la cabeza afuera, el aire entrara en forma "no invasiva" a sus pulmones (3). Posteriormente, en 1931 John Emerson desarrollo los "pulmones de acero", equipos de presión negativa que resultaron de la mejoría realizada sobre los prototipos desarrollados por Woillez, Drinker y Shaw (3). Durante los años 50 y en relación a la epidemia de polio, la VM dio un salto cualitativo, desarrollándose los ventiladores a presión positiva, los que cumplieron un gran rol durante esta epidemia. En 1953 Henry Lassen publicó un reporte en donde

Correspondencia:

Dr. Andrés Castillo
Unidad Cuidados Intensivos Pediátricos
Hospital Clínico
P. Universidad Católica de Chile
Marcoleta 367
Santiago de Chile
Correo electrónico: acastill@med.puc.cl

mostró que la sola introducción de la VM como terapia en la polio, determino una caída en la mortalidad desde rangos sobre 80% a cifras menores al 40% a los pocos meses de iniciar su uso, transformándose en la base de las técnicas actuales de VM en el paciente grave (4,5).

En el paciente pediátrico, la ventilación mecánica se ha desarrollado a partir de los principios y la experiencia derivada de la ventilación mecánica en el adulto, sin embargo, su uso ha tenido un crecimiento cada vez mayor, con un paralelo mejor conocimiento de cómo interactúa con la fisiología del paciente pediátrico y por consecuencia, un mejor manejo de los mismos.

CONCEPTOS BÁSICOS

Es importante entender que los pacientes pediátricos no son adultos pequeños, pues difieren en aspectos anatómicos y fisiológicos. Los pacientes pediátricos presentan un occipucio más prominente lo que hace que en decúbito dorsal se produzca una flexión del cuello que determina una potencial obstrucción de la vía aérea. La lengua es desproporcionadamente grande en relación a la boca, la laringe es más alta y tiene una forma de embudo más exagerada que en el adulto, siendo la porción más estrecha a nivel del cartílago cricoides, lo que determina que un pequeño edema en esta zona pueda determinar un gran aumento de la resistencia flujo de aire. Por otra parte, el árbol respiratorio comparativamente con el de un adulto es mucho más estrecho determinando una alta probabilidad de obstrucción ante pequeños cambios de radio producidos por edema de la pared (la resistencia al flujo de aire es inversamente proporcional al radio a la cuarta potencia para un flujo laminar y al radio a la quinta potencia para un flujo turbulento) (6). La pared torácica en lactantes y niños presenta costillas que están más horizontalizadas lo que dificulta la generación de presiones negativas intratorácicas especialmente en situaciones de *compliance* pulmonar baja, por otro lado, al ser la pared torácica más complaciente, determina una mínima oposición a la tendencia natural de retracción del tejido pulmonar, lo que determina una menor capacidad residual funcional (CRF) y de manera secundaria una menor reserva funcional. En forma conjunta, las diferencias anatómicas y funcionales descritas a nivel de caja torácica y parénquima pulmonar, determinan *compliance* o distensibilidad pulmonar menores, constantes de tiempo diferentes en las diferentes edades y volúmenes corrientes que varían no en relación a la masa muscular o porcentaje de grasa como ocurre en el adulto, sino en relación al peso y altura (7).

Fisiológicamente, la VM corresponde a la entrada y salida de un flujo de aire hacia los pulmones, flujo que es impulsado por una gradiente de presión creada por la máquina, determinando así la expansión pulmonar, siendo la salida o espiración de aire un proceso pasivo. La principal meta de la ventilación mecánica es sustituir el trabajo respiratorio que no puede ser realizado de manera eficiente por nuestro paciente, logrando así producir una adecuada Ventilación y Oxigenación.

La **Oxigenación** corresponde primariamente al intercambio de gas a nivel alveolar. Este permite mantener una adecuada PaO_2 y depende fundamentalmente de la presión

media de vía aérea (PMva). Los principales determinantes de la PMva corresponden al Volumen corriente (V_c), la Presión Inspiratoria máxima (PIM), el Tiempo inspiratorio (Ti) y la Presión positiva de fin de espiración (PEEP).

La **Ventilación** corresponde al movimiento de gas fuera y dentro del pulmón, debiendo sobrepasar las fuerzas de resistencia de vía aérea y compliance pulmonar. Este movimiento de aire modificará y optimizará el movimiento de gas a nivel alveolar (ventilación alveolar), sitio en el cual se producirá el equilibrio y remoción de CO_2 . La ventilación minuto se puede dividir en ventilación alveolar y ventilación de espacio muerto, el cual está constituido por el espacio muerto anatómico y fisiológico. Tanto el aumento del espacio muerto anatómico o fisiológico, determinarán una disminución de la ventilación alveolar y por ende un aumento en la CO_2 (Figura 1) (8, 9).

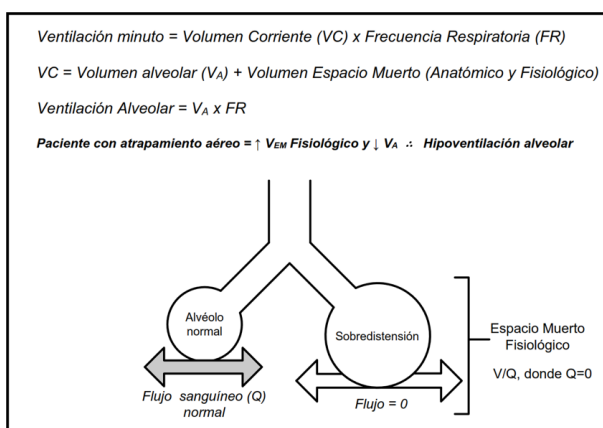


Figura 1. Ventilación minuto y ventilación alveolar

La **Compliance** (C) pulmonar es definida como el cambio de volumen en relación al cambio de presión de vía aérea (Figura 2) es decir $\Delta V/\Delta P$ y es determinada por las fuerzas elásticas dentro del pulmón junto con la tensión superficial generada por la interfase aire-tejido dentro del alveolo. La C puede a su vez ser dividida en C dinámica y C estática. La **Compliance estática** proporciona una estimación de la compliance total del sistema pulmonar, es calculada dividiendo el volumen corriente por la diferencia entre presión plateau o presión de inflación estática (Ppl) y PEEP. La **Compliance dinámica** por otra parte incluye y refleja el aporte de la resistencia de la vía aérea al flujo de aire, se calcula dividiendo el volumen corriente por la diferencia entre la presión inspiratoria máxima (PIM) y PEEP (9,10).

La **Resistencia de la vía aérea** es la diferencia de presión entre la boca y el alveolo necesaria para mover aire a través de la vía aérea a un flujo constante. Es determinada por la tasa de flujo, el largo de la vía aérea, las propiedades físicas del gas inhalado y el radio de la vía aérea, siendo este último el determinante más importante.

La **Constante de tiempo** (CT) corresponde a la medida de cuán rápido una unidad alveolar alcanza un equilibrio de presión con la vía aérea proximal, tanto en la fase de llenado como vaciado. Operacionalmente corresponde al producto de la

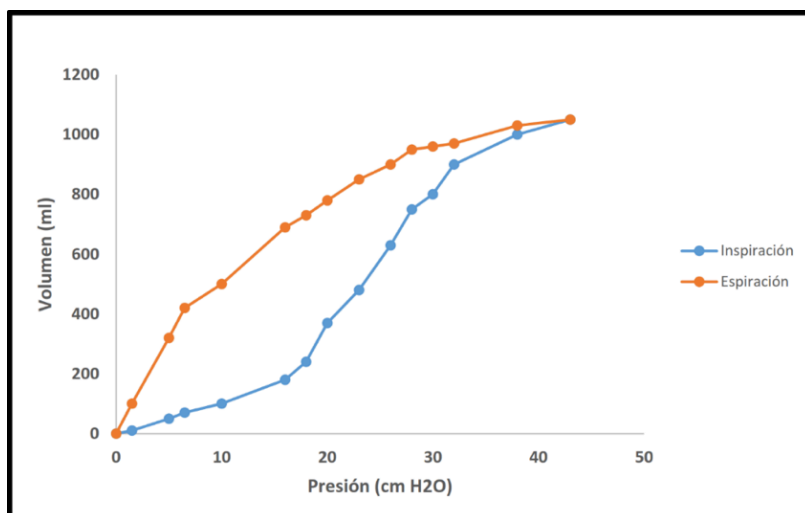


Figura 2. Curva de *compliance* o distensibilidad pulmonar

Compliance y la Resistencia. Este equilibrio de presión se alcanza en un 95% con 3 CT (9, 10). Por esta razón, es recomendable de acuerdo a la edad y las CT, tiempos inspiratorios que varían desde 3 CT a un máximo de 5 CT, siendo importante que el tiempo espiratorio deba al menos tener la misma duración de la inspiración. La presión máxima generada durante la fase inspiratoria de la VM que permite vencer la resistencia de la vía aérea al paso del flujo aéreo se conoce como **Presión Inspiratoria Máxima (PIM)**. La PIM es proporcional a la Resistencia y al Volumen Corriente o volumen movilizado durante la inspiración y es inversamente proporcional a la *Compliance*

pulmonar. Si uno ocluye la puerta espiratoria, justo antes de la espiración y hace una pausa, se logrará obtener una presión de inflación estática o **Presión plateau (Ppl)** que de manera práctica, se considera que se acerca a la presión que se alcanza en los alvéolos distales. Finalmente, se debe mantener un nivel apropiado de presión durante la espiración, de tal manera de no caer bajo un punto crítico en el que se producirá el cierre de la vía aérea, generando nuevamente atelectasias e hipoxemia. Esta presión positiva continua de la vía aérea que evita el colapso durante el final de la espiración se conoce como **PEEP** (positive end expiratory pressure) (Figura 3) (9-12).

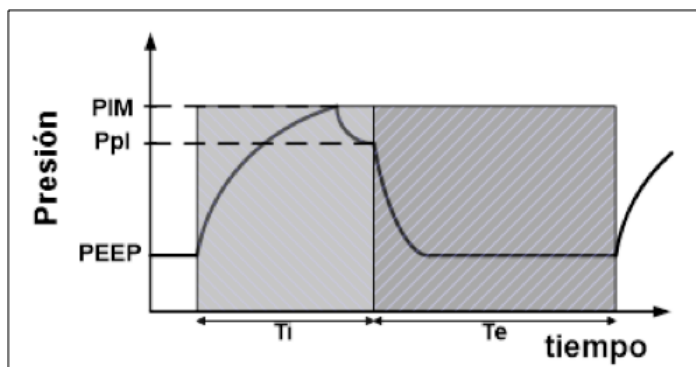


Figura 3. Relación Presión/Volumen en Modalidad Volumen Control

PIM: Presión inspiratoria máxima, Ppl: Presión plateau, PEEP: Presión positiva al final de la espiración, Ti: Tiempo inspiratorio, Te: Tiempo espiratorio.

INDICACIONES DE VENTILACIÓN MECÁNICA EN PEDIATRÍA

El inicio de la VM depende de los objetivos clínicos que se desee cumplir en el paciente que requiere conexión. Es importante que antes de conectar al paciente, el pediatra se pregunte cual es la razón por la que lo requiere: ¿es un

paciente con enfermedad pulmonar grave?, ¿la enfermedad pulmonar es obstructiva, restrictiva o mixta?, ¿el paciente tiene compromiso neurológico?, el paciente tiene un TEC grave o signos de hipertensión endocraneana?, ¿está el paciente en shock séptico o shock cardiogénico?, etc. Todas las preguntas anteriores, permiten definir cuál es la condición que determina la

indicación de ventilar invasivamente al paciente. La causa más común de ventilación mecánica corresponde a la mantención del intercambio de gases en aquel paciente con falla respiratoria, ya sea por no lograr una adecuada oxigenación arterial ($\text{PaO}_2 < 70$ con $\text{FiO}_2 > 60$) o una adecuada ventilación alveolar ($\text{PaCO}_2 > 55$ a 60 en ausencia de enfermedad pulmonar crónica). Otra indicación de ventilación mecánica es en aquellas situaciones que requieran una disminución o sustitución del trabajo respiratorio, ya sea porque el trabajo respiratorio espontáneo sea ineficaz por sí mismo, porque el sistema respiratorio es incapaz

de realizar su función por falla muscular o esquelética o porque se debe sustituir su trabajo en el caso de procedimientos o postoperatorios complejos (10, 13). La disminución del consumo de oxígeno (VO_2) constituye otra de las indicaciones generales de ventilación mecánica, toda vez que, en circunstancias patológicas, el consumo de oxígeno por la musculatura respiratoria puede representar sobre el 20% del consumo total (8,14). Así, la VM permite disponer de una reserva de oxígeno para ser utilizada por otros tejidos. Las indicaciones generales de VM en la población pediátrica se describen en la Tabla 1.

- Hipoventilación alveolar
- Falla en la oxigenación arterial
- Cuadro Obstructivo Grave
- Apnea o paro respiratorio
- Enfermedad Neuromuscular
- Disminución de consumo metabólico: Shock
- Shock cardiogénico
- TEC grave
- Politraumatismo complicado
- Sustitución del trabajo Respiratorio
- Estabilización pared torácica
- Cirugía, procedimientos en UCI

Tabla 1. Indicaciones generales de Inicio de Ventilación Mecánica

MODALIDADES VENTILATORIAS Y PARÁMETROS DE INICIO DE VENTILACIÓN MÁS HABITUALES EN PEDIATRÍA

La ventilación proporcionada por el ventilador mecánico es determinada por un flujo de aire entregado al paciente cuyo objetivo habitualmente es entregar un volumen

o presión determinados (Figura 4). El fin de la fase inspiratoria o ciclado, se alcanza al momento en que se logra el objetivo de volumen, presión, flujo o tiempo determinado según la programación del ventilador. Los modos más comúnmente usados serán detallados a continuación (Figura 5) (10-12,15).

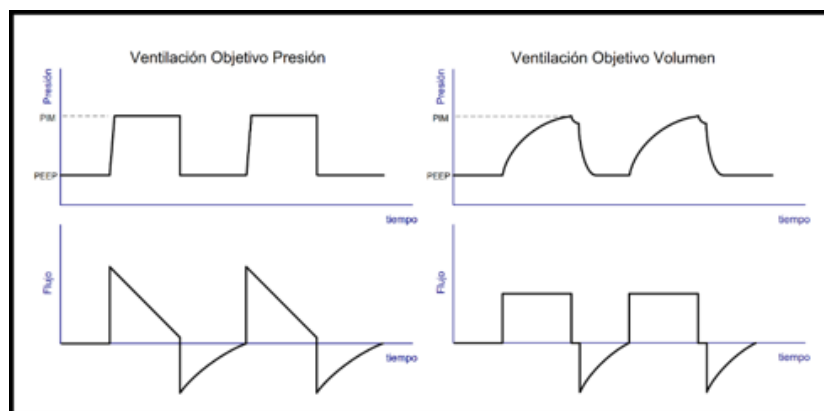


Figura 4. Curvas de Presión y Flujo en la Ventilación con objetivo Presión y Volumen

PIM: Presión inspiratoria máxima, PEEP: Presión positiva al final de la espiración.

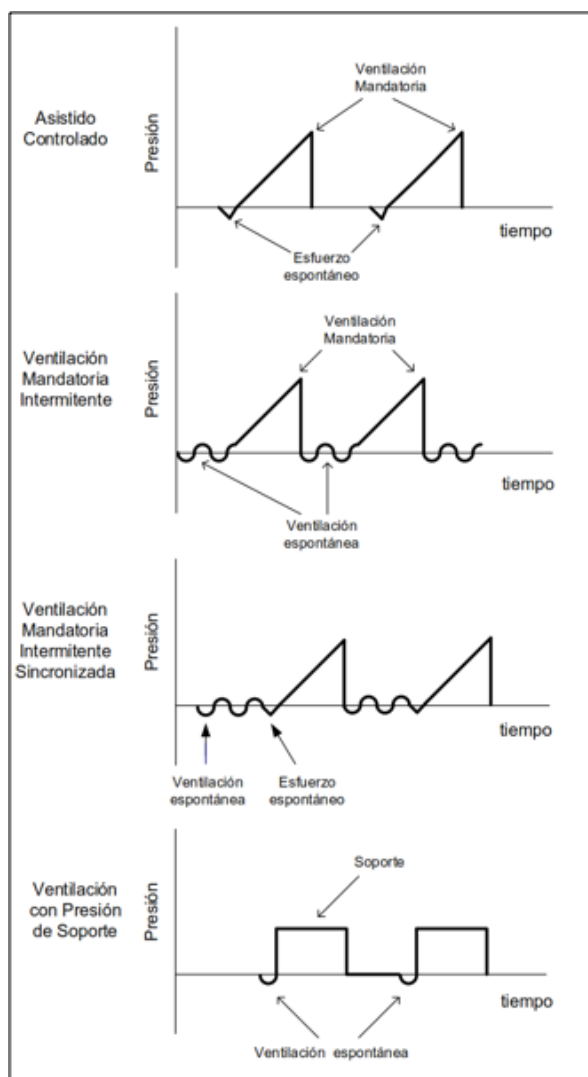


Figura 5. Curvas de Presión/Tiempo en distintas modalidades ventilatorias

La **Ventilación Asistida-Controlada** consiste en un volumen o presión positiva preestablecida que son entregadas al paciente a una frecuencia determinada, sin embargo, cada vez que el paciente inicia una respiración espontánea con un esfuerzo inspiratorio, el ventilador entrega una respiración adicional igual a las programadas. Dado el riesgo de hiperventilación y eventual trauma alveolar por hiperinsuflación, se creó la **Ventilación Mandatoria Intermitente** la cual permite que el paciente pueda respirar en forma espontánea y con su propio esfuerzo entre las ventilaciones mandatorias. Esta modalidad ventilatoria no acompaña el esfuerzo propio del paciente, por lo que se creó una modalidad que se sincroniza con su esfuerzo. La **Ventilación Mandatoria intermitente Sincronizada (SIMV)** también permite al paciente respirar en forma espontánea entre las ventilaciones mandatorias, sin embargo, esta permite sincronizar las ventilaciones mandatorias con el esfuerzo del paciente, lo

que mejora la interacción paciente-ventilador. La **Ventilación con Presión de Soporte o Presión asistida** es una forma de ventilación a presión positiva que proporciona una asistencia de una presión predeterminada a cada inspiración voluntaria que el paciente realiza durante el uso de SIMV. Finalmente, la **Ventilación controlada por volumen y regulada por presión (PRVC)** corresponde a una modalidad dual, de uso cada vez más frecuente, en la que se programa un volumen corriente o volumen minuto determinado, siendo este entregado con un flujo desacelerante que permite lograr mantener un volumen constante manteniendo la menor presión que el sistema permita. Se puede además regular un límite máximo de presión, en donde el ventilador intenta entregar con cambios de flujo, el volumen programado sin superar la presión máxima determinada. Esta modalidad se puede utilizar en pacientes con patología pulmonar restrictiva, con riesgo de trauma alveolar, patología obstructiva o en aquellos que presenten por su patología cambios muy frecuentes de la C (9,10).

Una vez tomada la decisión del inicio de la ventilación mecánica, se debe tener presente que la modalidad ventilatoria y los parámetros que utilizaremos dependerán de la interrelación entre la condición del paciente (motivo por el cual se está utilizando VM), el equipo con el que se cuenta, las patologías subyacentes y la experiencia del Pediatra o Pediatra Intensivista tratante.

PARÁMETROS VENTILATORIOS EN PACIENTES CON PULMONES SIN ENFERMEDAD GRAVE

El principal objetivo es mantener una SaO_2 y pCO_2 en rango fisiológicos. Siempre se debe iniciar la VM con FiO_2 100%, PIM entre 20 y 25 (nunca mayor a 30) y/o volúmenes corrientes entre 5 y no más de 8 a 9 ml/kg, con PEEP de 4 a 5 y FR de 20 a 25 en lactantes, 15 a 20 en preescolares y escolares y entre 10 y 20 en adolescentes. El TI oscila entre 0.6 segundos para lactantes pequeños y 0.8 para adolescentes, manteniendo una relación inspiración: espiración de aproximadamente 1:2 para niños 1:3 para adolescentes. Finalmente, el PEEP debería titularse en incrementos de 2 en 2 cm de H_2O de tal manera de incrementar la $PMva$ tanto como sea necesario para lograr una oxigenación adecuada según la patología del paciente y así regular y disminuir el aporte de FiO_2 , llegando idealmente a $FiO_2 \leq 40\%$ con saturaciones $\geq 90\%$. Estos parámetros deben ser evaluados de manera continua, pues requieren de ajustes de acuerdo a la evolución tanto del paciente como al grado de compromiso pulmonar. (10,16).

MANEJO VENTILATORIO EN ENFERMEDADES OBSTRUCTIVAS

Las enfermedades obstructivas graves se caracterizan por presentar una gran resistencia al flujo de aire y un atrapamiento aéreo significativo secundario a la obstrucción del flujo espiratorio. Son pocos los pacientes que requieren manejo

ventilatorio invasivo, describiéndose en general que < 1% de los pacientes asmáticos hospitalizados podría requerir intubación (17). Pese a que no existe una modalidad ventilatoria estándar para el manejo de estos pacientes (18), se sugiere el manejo inicial con volúmenes corrientes de 5 a 8 ml/kg (aunque puede ser mayor) y volumen minuto que mantenga gases aceptables, aunque no sean normales, con Ppl menores de 30 cm de H₂O. Es importante destacar, que en pacientes graves se puede tolerar aumentos de CO₂ (hipercapnia permisiva) que permita ventilar a los pacientes minimizando los riesgos de trauma alveolar, describiéndose PCO₂ tan altas como 90 mmHg con pH > 7.1 (19). Por otro lado, se puede considerar el uso de relajantes musculares en especial durante el manejo inicial de la crisis obstructiva grave. Se debe mantener una relación I:E idealmente 1:3 toda vez que por el aumento de la resistencia, estos pacientes tienen un aumento significativo de la CT lo que determina la necesidad de tiempos inspiratorios adecuados y tiempos espiratorios largos para evitar el atrapamiento de aire, esta relación puede llegar en algunos casos a 1:4 a 1:6. En estos pacientes deberíamos medir el PEEP intrínseco (PEEPi) o auto-PEEP que se obtiene luego de hacer una maniobra de pausa espiratoria sostenida. Este PEEPi es proporcional al atrapamiento aéreo, por lo que según su magnitud, también determinará la cuantía de PEEP extrínseco que yo coloco (me gustaría cambiar esta palabra por "programo") en el ventilador, que habitualmente no debe superar al PEEPi y por otro lado el PEEP total no debiera ser mayor a 10-15 cm H₂O, sobre lo cual se puede producir compromiso hemodinámico (19, 20, 21, 22). Finalmente, en nuestra unidad ha ido ganando aceptación el manejo de estos pacientes con la modalidad PRVC, modalidad dual, que tiene la ventaja de entregar un volumen corriente constante que al usar flujos desacelerantes, minimizan las PIM.

MANEJO VENTILATORIO CONVENCIONAL EN ENFERMEDADES RESTRICTIVAS PULMONARES

La enfermedad restrictiva pulmonar grave se caracteriza por un compromiso heterogéneo del pulmón, el cual varía en intensidad, produciendo como efecto general una disminución significativa de la capacidad residual funcional (CRF) (23), con mortalidades descritas para el Síndrome de Distres Respiratorio Agudo (SDRA) de 18% hasta 35% (24). En las enfermedades restrictivas graves se sugiere el uso de estrategias de protección pulmonar en donde se intenta evitar el daño pulmonar por sobredistensión y apertura y colapso cíclico de los alveolos, empleando además suficiente PEEP para lograr reclutamiento pulmonar y mejorar la CRF (25,26). En la actualidad, en el compromiso restrictivo grave pulmonar, se sugiere utilizar volúmenes corrientes en o bajo el rango fisiológico para el peso /edad predicho (5 y no más de 8 ml/kg), pudiendo ser más bajos (3-6 ml/kg peso ideal) de acuerdo a la gravedad de la enfermedad, con Pplde hasta 28 cm de H₂O, pudiendo llegar hasta 32 en un pulmón y pared torácica de baja compliance, manteniendo un PEEP suficiente para lograr y mantener un adecuado reclutamiento pulmonar pudiendo llegar a

PEEP de 10-15 cmH₂O pero manteniendo la limitación de las Ppl, con una diferencia entre Ppl y PEEP (presión de empuje o driving pressure) <20 cms de H₂O, siendo ideal < 15 cms H₂O (27). En la falla pulmonar grave, el manejo ventilatorio se puede asociar a un manejo permisivo de la SaO₂ con objetivo de valores ≥ 85%, siempre que no se observe la aparición de acidosis metabólica y el paciente no presente otros signos de hipoxia. En este mismo sentido, se puede permitir que aumente la pCO₂, manteniendo el pH ≥ 7.2, aunque en casos graves pese a no existir suficiente evidencia, se podría llegar hasta 7.15, existiendo incluso publicaciones que muestran asociación de acidosis hipercápnica con disminución de la mortalidad (27,28). Estas estrategias utilizadas en la falla pulmonar grave son conocidas como hipoxia e hipercapnia permisivas respectivamente, permitiendo un manejo con un menor volumen corriente y menor PMva, en un esfuerzo por minimizar el daño pulmonar asociado a VM.

WEANING VENTILATORIO Y EXTUBACIÓN

El *Weaning* o retirada del soporte ventilatorio corresponde al proceso que permite el paso del paciente desde la ventilación mecánica a ventilación espontánea. La filosofía actual es que es necesario gradualmente disminuir el apoyo ventilatorio del paciente, una vez controlada la causa que determinó la conexión a ventilación mecánica, lo que permite un entrenamiento progresivo de la musculatura respiratoria hasta lograr la extubación exitosa (29,30). No existe literatura pediátrica que apoye la duración de este *weaning*, siendo cada vez más cuestionado que el proceso sea muy gradual (2). La duración óptima del *weaning* y el momento adecuado de la extubación es el resultado del balance entre parámetros objetivos, la ciencia, y la experiencia del grupo de intensivistas pediátricos a cargo del paciente, el arte (Tabla 2). El uso de protocolos de *weaning* ventilatorio en lactantes y niños en algunos estudios ha mostrado acortar los días de ventilación mecánica y tener bajas tasas de reintubación (31). Dado que no existe en la literatura actual superioridad de un protocolo sobre otro, no existen recomendaciones estándar al respecto, sin embargo, la mayoría de los pacientes son puestos en modalidades con Presión o Volumen de soporte, lo cual permite el trabajo del paciente al disminuir parámetros, con el apoyo adicional a su esfuerzo entregado por el ventilador (2, 29).

- FiO₂ ≤ 50%
- PEEP ≤ 5 cm H₂O
- PIM ≤ 25 cm H₂O
- Frecuencia Ventilatoria ≤ 20 por minuto

Tabla 2. Parámetros generales para inicio de weaning ventilatorio

La predicción de una extubación exitosa en lactantes y niños presenta un gran desafío en pediatría, no solo dado

por las diferencias de peso, sino por la variabilidad de las patologías que requieren ventilación. Es por esta razón, que las tasas de extubación fallida varía en la literatura entre un 2% a 20%, dependiendo de la población estudiada (31-34). En nuestra experiencia, la población pediátrica sometida a cirugía de cardiopatías congénitas es de 9.9%, siendo los expuestos a paro cardíaco hipotérmico profundo, pacientes portadores de síndrome de Down y los menores de 6 meses, lo que tuvieron mayor incidencia (35).

Existen criterios generales aceptados de extubación, los que en términos generales muestran evidencia de oxigenación y ventilación adecuada, en el entendido que se ha superado el motivo que determinó la intubación (Tabla 3). Pese a que no existen parámetros únicos validados como predictores de extubación exitosa en la población pediátrica, la mayoría de los estudios coincide en utilizar ventilometría, FiO_2 , esfuerzo respiratorio y parámetros de oxigenación como los más importantes, junto con la realización de pruebas de ventilación espontánea, en donde se somete a los pacientes a ventilación espontánea conectando el tubo endotraqueal a un tubo T o conectado el ventilador con bajo PEEP, sin frecuencia y con presión de soporte, midiendo luego de un periodo variable (desde 30 minutos) variables fisiológicas y clínicas (FC, FR, PA, esfuerzo ventilatorio) evaluando así la probabilidad de éxito de extubación (36, 37), sin embargo su uso no ha mostrado resultados alentadores (38). Cabe destacar, que, pese a los múltiples ensayos clínicos, al ser la medicina un balance entre arte y ciencia, nunca se debe olvidar la evaluación clínica del especialista en cuidados intensivos, la cual también contribuye a decidir el momento óptimo de la extubación (39).

Oxigenación adecuada

- $PaO_2 > 65-70$ o Saturación $\geq 92\%$ con $FiO_2 \leq 40$
- $PaFi > 180-200$

Ventilación Adecuada

- $PaCO_2 < 50-55$
- Volumen corriente $> 4 - 5$ ml/kg
- Presión Inspiratoria Máxima Negativa ≤ -20 cm H_2O

Tabla 3. Criterios Generales de Extubación

CONCLUSIÓN

La ventilación mecánica constituye una herramienta fundamental en el manejo de la falla respiratoria grave, siendo su uso cada vez más frecuente en las unidades de cuidado intensivo pediátrico. Es esencial para el pediatra que trabaja en cuidados intensivos, entender las diferencias fisiológicas entre un paciente pediátrico y un adulto. Por otro lado, el médico debe conocer la fisiopatología de la enfermedad que llevó al paciente a conectarse a un respirador, para de esta manera entender la interacción del ventilador con el resto de las variables fisiológicas. El entendimiento de las diversas patologías y del

funcionamiento del ventilador con sus diversas modalidades y parámetros, permitirán un buen manejo y cuidado del paciente ventilado, con una disminución de las complicaciones y un mayor éxito en el tratamiento de la causa que motivó la conexión. La evaluación continua de la evolución del paciente, deberá conducir a un óptimo manejo de la ventilación, permitiendo un proceso de retirada, el que a través de la suma del juicio clínico y mediciones objetivas, permitirá finalizar la ventilación con una extubación exitosa.

EL autor declara no tener conflicto de intereses.

REFERENCIAS

1. Santschi M, Jouvet P, Leclerc F, Gauvin F, Newth CJ, Carroll CL et al. Acute lung injury in children: Therapeutic practice and feasibility of international clinical trials. *Pediatr Crit Care Med* 2010; 11(6):681-689.
2. Farias JA, Fernández A, Monteverde E, Flores JC, Baltodano A, Menchaca A et al. Mechanical ventilation in pediatric intensive care units during the season for acute lower respiratory infection: A multicenter study. *Pediatr Crit Care Med* 2012; 13(2):158-164.
3. Emerson JH. Some reflections on iron lungs and other inventions. *Respir Care* 1998; 43(7):574-583.
4. Lassen HC. A preliminary report on the 1952 epidemic of poliomyelitis in Copenhagen with special reference to the treatment of acute respiratory insufficiency. *Lancet* 1953;1(1):37-41.
5. Slutsky A. Ventilator-Induced Lung Injury: From Barotrauma to Biotrauma. *Respir Care* 2005, 50 (5):646-659.
6. Adewale L. Anatomy and assessment of the pediatric airway. *Pediatr Anesth* 2009, 19 (suppl. 1):1-8.
7. Wheeler D, Wong H, Zingarelli B. "Pediatric sepsis – Part 1: Children are not Small Adults". *Open Inflamm J* 2011, 4:4-15.
8. West J. *Respiratory Physiology, The Essentials*, Ninth edition. Philadelphia, Lippincot Williams & Wilkins; 2012.
9. Heulitt M, Wolf G, Arnold J. *Mechanical Ventilation*. Nichols D. Rogers' *Textbook of Pediatric Intensive Care*, Fourth Edition edn. Philadelphia: Lippincot Williams & Wilkins; 2008, p 508-531.
10. Castillo A. *Principios de Ventilación Mecánica*. En Paris, Sanchez, Beltramo. Meneghello, *Pediatría*, 6ta. edición. Buenos Aires, Medica Panamericana; 2013:537-545.
11. Venkataraman S. *Mechanical Ventilation and Respiratory Care*. En Fuhrman B., Zimmerman J. *Pediatric Critical Care*, 4th Edition. Philadelphia, ELSEVIER SAUNDERS; 2011: 657-688
12. Kornecki A, Wheeler D. *Mechanical Ventilation*. En Wheeler, Wong, Shanley. *Pediatric Critical Care Medicine*, 2nd edition. London, Springer-Verlag; 2014:127-161.
13. Prabhakaran P, Sasser W, Borasino S. Pediatric mechanical ventilation. *Minerva Pediatr* 2011, 63:411-424.
14. Manthous C, Hall JB, Kushner R, Schmidt GA, Russo G, Wood LD. The effect of Mechanical Ventilation on Oxygen Consumption in Critically Ill Patients. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 151(1):210-214.
15. Chatburn R. Understanding mechanical ventilators. *Expert Rev. Resp.* 2010; 4(6):809-819.
16. Alvarez Carrillo A, Lopez-Herce J. Programación de la Ventilación Mecánica. *An Pediatr (Barc)* 2003; 59(1):67-74.
17. Koninckx M. Management of status asthmaticus in children. *Paediatr Respir Rev* 2013; 14:78-85.
18. Newth CJ, Meert KL, Clark AE, Moler FW, Zuppa AF, Berg RA. Fatal and Near-Fatal Asthma in Children: The Critical Care Perspective. *Journal Pediatr* 2012; 161(2): 214-224.
19. Werner H. Status Asthmaticus in Children. *Chest* 2001; 119:1913-1929.
20. Bohn D, Kisson N. Acute Asthma. *Pediatr Crit Care Med* 2001;2:151-163.

21. Mannix R, Bachur R. Status Asthmaticus in children. *Curr Opin Pediatr* 2007;19:281-287.
22. Pardue Jones B, Fleming GM, Otilio JK, Asokan I, Arnold DH. Pediatric acute asthma exacerbations: evaluation and management from emergency department to intensive care unit. *J Asthma* 2016; 53(6):607-17
23. Dahlem P, van Aalderen WM, Bos AP. Pediatric Acute Lung Injury. *Pediatr Respir Rev* 2007;8:348-362.
24. Khemani RG, Smith LS, Zimmerman JJ, Erickson S; Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference Group. Pediatric Acute Respiratory Distress Syndrome: Definition, Incidence, and Epidemiology: Proceedings From the Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference. *Pediatr Crit Care Med* 2015;16:S23-S40.
25. Prodhon P, Noviski N. Pediatric Acute Hypoxemic Respiratory Failure: Management of Oxygenation. *J Intensive Care Med* 2004; 19: 140-153
26. Randolph A. Management of acute lung injury and acute respiratory distress syndrome in children. *Crit Care Med* 2009; 37:2448-2454.
27. Rimensberger PC, Cheifetz IM; Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference Group Ventilatory Support in Children With Pediatric Acute Respiratory Distress Syndrome: Proceedings From the Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference. *Pediatr Crit Care Med* 2015;16:S51-S60.
28. Kregelow DA, Rubinfeld GD, Hudson LD, Swenson ER. Hypercapnic acidosis and mortality in acute lung injury. *Crit Care Med* 2006; 34(1):1-7.
29. Farias JA, Frutos F, Esteban A, Flores JC, Retta A, Baltodano A, What is the daily practice of mechanical ventilation in pediatric intensive care units? A multicenter study. *Intensive Care Med* 2004; 30(5):918-925.
30. Wolfler A, Calderoni E, Ottonello G, Conti G, Baroncini S, Santuz P et al. Daily practice of mechanical ventilation in Italian pediatric intensive care units: A prospective survey. *Pediatr Crit Care Med* 2011; 12:141-146.
31. Foronda FK, Troster EJ, Farias JA, Barbas CS, Ferraro AA The impact of daily evaluation and spontaneous breathing test on the duration of pediatric mechanical ventilation: A randomized controlled trial. *Crit Care Med* 2011; 39(11):2526-2533.
32. Fontela PS, Piva JP, Garcia PC, Bered PL, Zilles K Risk factors for extubation failure in mechanically ventilated pediatric patients. *Pediatr Crit Care Med* 2005; 6(2):166-170.
33. Randolph A. Protocols on Respiratory Outcomes in Infants and Children, A Randomized Controlled Trial. *JAMA* 2002; 288:2561-2568.
34. Baisch SD, Wheeler WB, Kurachek SC, Cornfield DN Extubation failure in pediatric intensive care incidence and outcomes. *Pediatr Crit Care Med* 2005; 6(3): 312-318.
35. Valle P, Ronco R, Clavería C, Carrasco J, Castillo A: Extubación fallida en pacientes pediátricos después de cirugía de cardiopatía congénitas. *Rev Chil Pediatr* 2005; 76(5): 479-484
36. Venkataraman ST, Khan N, Brown A. Validation of predictors of extubation success and failure in mechanically ventilated infants and children. *Crit Care Med* 2000; 28(8):2991-2996.
37. Farias JA, Retta A, Alía I, Olazarri F, Esteban A, Golubicki A. A comparison of two methods to perform a breathing trial before extubation in pediatric intensive care patients. *Intensive Care Med* 2001; 27(10):1649-1654.
38. Farias JA, Alía I, Retta A, Olazarri F, Fernández A, Esteban A et al. An evaluation of extubation failure predictors in mechanically ventilated infants and children. *Intensive Care Med* 2002; 28:752-757
39. Laham JL, Breheny PJ, Rush A. Do Clinical Parameters Predict First Planned Extubation Outcomes in the PICU?. *J Intensive Care Medicine* 2015;30(2):89-96.