

NOTAS CLÍNICAS

Ventilación oscilatoria de alta frecuencia en niños con infección respiratoria aguda baja con hipercapnia resistente. A propósito de un caso clínico

[High-frequency oscillatory ventilation in children with acute low respiratory infection and refractory hypercapnia. A case report]

PEDRO TAFFAREL,* KARINA VALLONE, HILDA R. MILLER, ADRIANA ARTO

Servicio de Terapia Intensiva, Fundación Hospitalaria, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

* Correspondencia: pedrotaffarel@hotmail.com

Recibido: 28 abril 2022. Revisión: 26 setiembre 2022. Aceptado: 28 setiembre 2022.

Resumen

La bronquiolitis es una enfermedad frecuente que afecta las vías respiratorias inferiores de los niños pequeños, aumenta la resistencia inspiratoria y espiratoria, y reduce la distensibilidad pulmonar. Presentamos una paciente sana de 9 meses de edad, con diagnóstico de bronquiolitis por rinovirus, que es derivada a cuidados intensivos por dificultad respiratoria de 24 h de evolución, con clínica de insuficiencia ventilatoria que no responde al tratamiento médico. Ingresa en asistencia ventilatoria mecánica invasiva, y presenta hipercapnia sin respuesta a distintas estrategias ventilatorias. Luego de 20 h, se inicia la ventilación de alta frecuencia oscilatoria, utilizando como estrategia altos deltas de presión y bajas frecuencias respiratorias, medida que fue eficaz para tratar la hipercapnia. Dicha evolución se fundamenta en que una determinada presión media constante en la vía aérea lograría abrir y mantener permeables las vías respiratorias, reducir la hiperinflación pulmonar y optimizar la ventilación mediante los mecanismos implicados en la ventilación de alta frecuencia oscilatoria.

Palabras clave: Bronquiolitis; hipercapnia, ventilación de alta frecuencia oscilatoria.

Abstract

Bronchiolitis is a frequent pathology that affects the lower airways of young children, increasing inspiratory and expiratory resistance as well as reducing lung compliance. We report the case of a 9-month-old previously healthy girl, with rhinovirus bronchiolitis, who was referred to intensive care due to respiratory distress during the previous 24 hours, and clinical ventilatory insufficiency refractory to medical treatment. Invasive mechanical ventilation was initiated, with hypercapnia refractory to different ventilatory strategies. After 20 hours, high-frequency oscillatory ventilation was started, using high pressure deltas and low respiratory rates as a strategy, being effective in the treatment of hypercapnia. This outcome is based on the fact that a certain constant mean pressure in the airway would open and maintain the airways permeable, reduce pulmonary hyperinflation and optimize ventilation, through the mechanisms involved high-frequency oscillatory ventilation.

Keywords: Bronchiolitis; hypercapnia, high-frequency oscillatory ventilation.

Introducción

La infección respiratoria aguda baja es una de las principales causas de enfermedades agudas y muerte en pacientes <5 años de edad.¹ El virus sincicial respiratorio es la etiología más frecuente, ocasiona 3,2 millones de hospitalizaciones y 200.000 muertes anuales en el mundo,² y el 36,5% de la hospitalizaciones por infección respiratoria aguda baja en lactantes de 0 a 11 meses, en América Latina.³ El rinovirus es el segundo agente etiológico más frecuente, su incidencia oscila entre el 8% y el 29%.²

El cambio fisiopatológico más importante en la bronquiolitis es la obstrucción de las vías respiratorias pequeñas, causada por infiltrado peribronquial, edema intersticial, descamación epitelial e infiltrado inflamatorio. Estos cambios conducen a un aumento de la resistencia inspiratoria y espiratoria, y del trabajo respiratorio, al atrapamiento aéreo, la disminución de la distensibilidad pulmonar y la hipoxemia. También, hay colapso alveolar (atelectasia) con aumento del espacio muerto y cortocircuito pulmonar.⁴ El tratamiento es de sostén y hay recomendaciones para su manejo.⁵

Una vez instaurada la ventilación mecánica (VM) invasiva, la heterogeneidad de esta enfermedad determina que la ventilación de estos pacientes sea un desafío. Se han publicado escasos estudios que evalúan la mecánica pulmonar (resistencia y distensibilidad) en la VM convencional (VMC).^{6,7} La ventilación de alta frecuencia oscilatoria (VAFO) es una alternativa válida a la VMC en niños con síndrome de dificultad respiratoria aguda pediátrico e hipoxemia resistente al tratamiento,^{8,9} es una contraindicación relativa en pacientes con enfermedad de la pequeña vía aérea,¹⁰ se han descrito excelentes resultados con la VAFO en series de niños con bronquiolitis o estado asmático, fundados en que una determinada presión media de la vía aérea permitiría abrir y mantener permeable la vía aérea, y así contribuir al tratamiento de la hiper-capnia que no responde al tratamiento.¹¹⁻¹⁴

Presentamos a una lactante de 9 meses de edad, con diagnóstico de infección respiratoria aguda baja por rinovirus, que requirió VAFO como rescate frente a la hiper-capnia que no respondía a la VMC.

Caso clínico

Paciente de sexo femenino, de 9 meses de edad y 7 kg de peso, previamente sana, con dificultad respiratoria de 48 h de evolución. Recibió tratamiento sintomático en emergencia (oxígeno, corticoides sistémicos y nebulizaciones con salbutamol), sin mejoría. Ingresó en la Unidad de Cuidados Intensivos y presentó irritabilidad, taquipnea, mala mecánica ventilatoria con tiraje generalizado y taquicardia. Se

intensificó el tratamiento de rescate con infusión de sulfato de magnesio (50 mg/kg/dosis) y ventilación no invasiva con interfaz facial total. Ante la persistencia de la insuficiencia ventilatoria, se inició la VM invasiva con un tubo endotraqueal N° 4,5 cm con balón. Permaneció en VMC durante 20 h, lapso en el cual se optimizó el tratamiento médico y se realizaron distintos ajustes al respirador tendientes a tratar la hiper-capnia y la acidosis concomitante, pasando por ventilación por volumen (de 8 a 10 ml/kg), ajuste de la frecuencia respiratoria según la onda de flujo espiratorio, optimización del tiempo espiratorio y la presión positiva al final de la espiración (PEEP) baja a fin de evitar perpetuar la hiperinsuflación. Frente a la falta de mejoría y la hiper-capnia resistente [presión parcial de dióxido de carbono >100 mmHg] con un pH <7,10], se buscaron distintas estrategias, con mayor PEEP, frecuencias respiratorias más altas y mayor presión pico, intentado vencer las resistencias inspiratorias, pero no fueron eficaces (Tabla). En la radiografía de tórax, se observaban ocho espacios intercostales aireados, sin consolidación.

Fue necesario optimizar la volemia, corregir el medio interno y administrar soporte vasoactivo con noradrenalina que se mantuvo por 48 horas.

Luego de 20 h de VMC, se inició la VAFO con respirador Fabian HFO (Acutronic Medical System), utilizando presiones medias de la vía aérea superiores a la de la VMC, altos deltas de presión y frecuencia respiratoria óptima (frecuencia donde se produce un transporte de gas adecuado en combinación con las presiones menos perjudiciales, baja en enfermedades obstructivas, 5-7 Hertz),¹⁵ se observó un descenso gradual de la presión parcial de dióxido de carbono, hasta del 50% a las 12 horas.

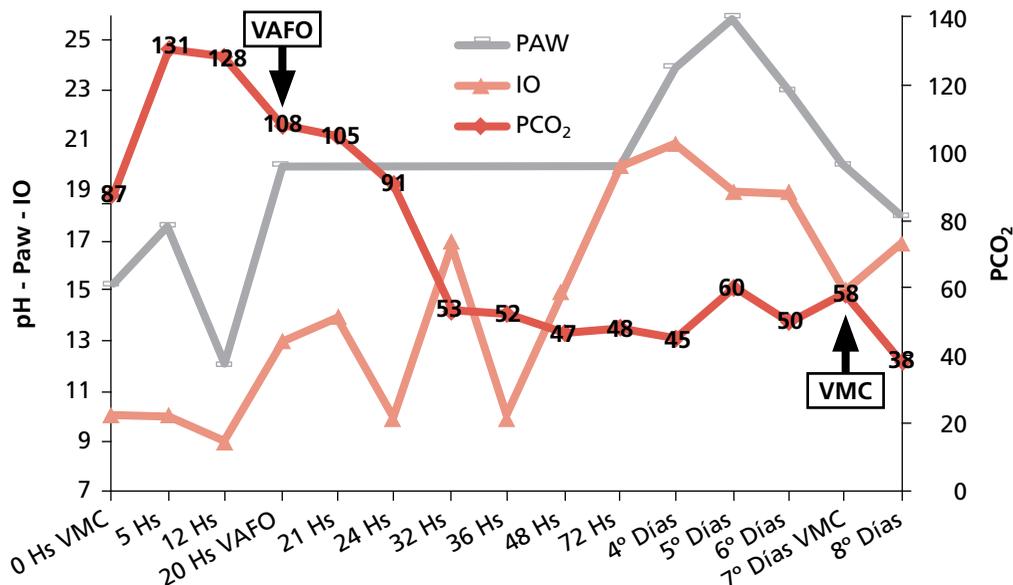
Al día 5 de VM, se detectó como complicación un síndrome de escape aéreo que requirió avenamiento pleural. El día 7 de internación, tras la resolución del barotrauma, y con tolerancia a los descensos progresivos de deltas de presión y parámetros bajos en VAFO (presión media de la vía aérea: 18-20 cmH₂O; deltas de presión: 40 cmH₂O, frecuencia respiratoria: 6 Hertz y FiO₂ 50%), se reanudó la VMC. Se inició el proceso de desconexión progresiva, con extubación efectiva el día 13. La paciente permaneció internada con síndrome de abstinencia (Escala Sophia), pasó a sala el día 21 y fue dada de alta el día 26.

Discusión

La bronquiolitis se considera una enfermedad obstructiva de las vías respiratorias, por lo que impresionaría lógico, una vez instaurada la VM, optimizar los parámetros tendientes a evitar la hiperinsuflación, pues un valor alto de PEEP o altas presiones medias de la vía aérea mediante VAFO podrían perpetuarla.

TABLA
 Progresión de la ventilación mecánica y la gasometría

Momento	Modo	PIM-PEEP Paw-Delta P (cmH ₂ O)	FR (por minuto y Hertz)	Relación I/E	PCO ₂ (mmHg)	pH	Paw (cmH ₂ O)	PAFI	IO
0 h	VMC	35-6	32	1-2,1	87	7,08	15.3	155	10
5 h	VMC	43-4	30	1-1,9	131	7,05	17.6	180	10
12 h	VMC	40-2	26	1-2,8	128	7,08	12	140	9
20 h	VAFO	20-80	6	1-2	108	7,16	20	156	13
21 h	VAFO	20-80	6	1-2	105	7,18	20	160	14
24 h	VAFO	20-75	6	1-2	91	7,27	20	198	10
32 h	VAFO	20-75	6	1-2	53	7,42	20	117	17
36 h	VAFO	20-75	6	1-2	52	7,41	20	196	10
48 h	VAFO	20-75	6	1-2	47	7,45	20	130	15
72 h	VAFO	20-75	6	1-2	48	7,52	20	100	20



PIM = presión inspiratoria máxima; PEEP = presión al final de la espiración; Paw = presión media de la vía aérea; Delta P = delta de presión; FR = frecuencia respiratoria; I/E = inspiración/espiración; PCO₂ = presión parcial de dióxido de carbono; PAFI = relación presión arterial de oxígeno y fracción inspirada de oxígeno; IO = índice de oxigenación; VMC = ventilación mecánica convencional; VAFO = ventilación de alta frecuencia oscilatoria.

Sin embargo, la mecánica ventilatoria en la bronquiolitis no respeta tan claramente patrones absolutos (restrictivo u obstructivo). Cruces et al evaluaron a 16 pacientes con bronquiolitis en VM (virus sincicial respiratorio 94%), a fin de determinar cuál componente intervenía en mayor proporción, en el trabajo respiratorio según la ecuación de movimiento: componente resistivo [presión inspiratoria máxima – presión meseta], componente elástico (presión meseta-PEEP-Total), y umbral de carga (auto-PEEP). Las mediciones del sistema respiratorio fueron: auto-PEEP 1,5 (rango 1-4,8) cmH₂O, presión inspiratoria máxima-presión

meseta 5 cmH₂O (rango 0-11), presión meseta-auto-PEEP 22,5 (rango 15,2-25), y resistencias inspiratorias y espiratorias de 38,8 (rango 32-53) y 40,5 (rango 22-55) cmH₂O/l/s]. Los autores concluyeron en que el componente elástico del sistema respiratorio (unidades pulmonares distales y pared torácica) es el principal determinante del trabajo impuesto a la VM (72,7%).⁶ En otro estudio, Andreolio et al evaluaron a 64 lactantes con bronquiolitis (virus sincicial respiratorio 65%) con una mediana de la edad de 2.8 meses y un peso medio de 4,8 ± 1,7 kg. Mediante la evaluación de la mecánica ventilatoria, observaron valores

elevados de resistencia inspiratoria y espiratoria [142 (rango 106-180) $\text{cmH}_2\text{O/l/s}$ y 158 (rango 130-195,3) $\text{cmH}_2\text{O/l/s}$, respectivamente], acompañados de disminución de la distensibilidad dinámica y estática ($0,46 \pm 0,19$ y $0,81 \pm 0,25 \text{ ml/kg/cmH}_2\text{O}$, respectivamente) y auto-PEEP 3 (rango 2-5) cmH_2O .⁷

Ambos estudios reflejan que la bronquiolitis no responde a un patrón obstructivo puro, en el que el componente elástico se encuentra alterado. Frente a este escenario, el agregado de PEEP lleva a tres posibles resultados: que aumente el volumen pulmonar al final de la espiración, que no lo modifique, o bien que genere una respuesta paradójica, con descenso del mencionado volumen. Esta última opción sería consecuencia de que la PEEP permitiría mantener permeables las vías respiratorias y su consecuente “vaciado” durante la espiración.^{16,17} El consenso sobre VM en pediatría establece que, en pacientes con enfermedad obstructiva de la vía aérea o mixta, la evaluación de la PEEP intrínseca y la presión meseta puede guiar el establecimiento de la PEEP externa en niños con atrapamiento de aire que reciben VM y sedación.¹⁸

El grado de hiperinsuflación puede ser no mensurable mediante la curva de flujo-tiempo o pausa espiratoria (Figura 1).¹⁹ Es posible que dicho atrapamiento sea dependiente de un agregado de PEEP a fin de

funcionar como *stent* mecánico de las vías obstruidas, permitiendo su vaciado, con la presión meseta como un sustituto adecuado en la valoración del grado de atrapamiento (auto-PEEP oculta).²⁰

En el caso presentado, se podría haber aplicado la estrategia de vía aérea abierta en la ventilación convencional, aunque esta se plantea como un desafío, dado que, para generar una presión media de la vía aérea eficaz como *stent* en las vías respiratorias en VMC, podrían requerirse altas PEEP y presión inspiratoria máxima.

En el anterior fundamento, se sustenta el uso de la VAFO como rescate frente a la hipercapnia, permitiendo, una vez mantenida permeable la vía aérea mediante una presión media de la vía aérea constante, actuar a los distintos mecanismos implicados en la ventilación de alta frecuencia [(ventilación alveolar directa, dispersión longitudinal, fenómeno pendular, velocidad laminar asimétrica, mezcla cardiogénica, difusión molecular); Figura 2] asociados a una espiración activa.⁸ En este sentido, Slee-Wijffels et al publicaron una serie de 53 eventos en VAFO en 51 pacientes pediátricos, 17 de ellos con enfermedad de la pequeña vía aérea, y comunicaron una supervivencia más prolongada en este grupo (88% vs. 56%) en comparación con el grupo de daño alveolar difuso.

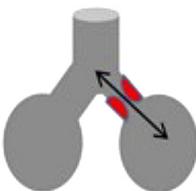
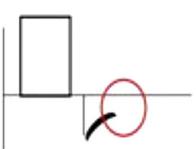
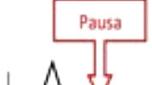
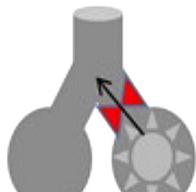
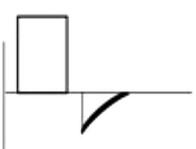
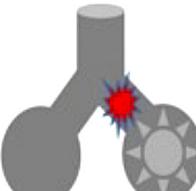
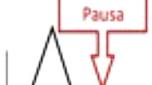
Nombre		Mecanismo	Curva de Flujo-Tiempo	Pausa Espiratoria	Tratamiento	
Hiperinsuflación Dinámica		Atrampamiento aéreo dinámico tiempo dependiente				Aumentar Tiempo Espiratorio
Hiperinsuflación No Dinámica	Medible	Atrampamiento aéreo dependiente de la PEEP debido a colapso distal (Efecto Venturi)				Aumentar PEEP
	No Medible	Atrampamiento aéreo dependiente de la PEEP por mecanismo valvular unidireccional debido a secreciones				

Figura 1. Fisiopatología, diagnóstico y tratamiento de la hiperinsuflación.

PEEP = presión espiratoria al final de la espiración.

Extraído y modificado de *Handbook of Pediatric and Neonatal Mechanical Ventilation*.¹⁹

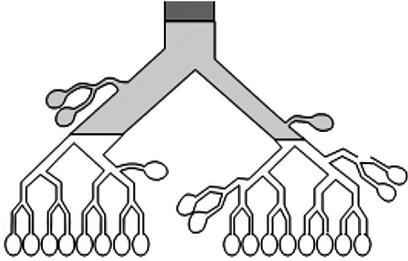
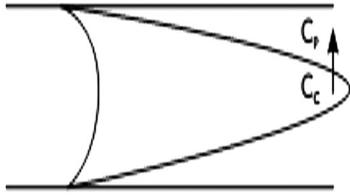
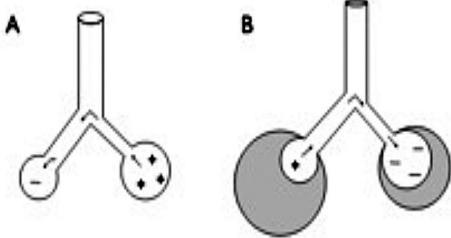
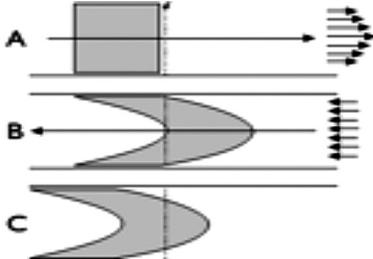
	
<p>Ventilación alveolar directa por flujo de convección</p>	<p>Dispersión longitudinal (dispersión tipo Taylor): El perfil de velocidad asimétrica produce un área de gas fresco en el centro del tubo con alta concentración de oxígeno y baja de CO₂ (C_c = concentración centro) y este perfil es rodeado por un área de gas "viejo" en la periferia del tubo (C_p = concentración periferia). Por lo tanto, se crea un gradiente de concentración donde el oxígeno se difunde radialmente del centro a la periferia y el CO₂ de la periferia al centro.</p>
	
<p>Fenómeno pendular: Unidades paralelas tienen diferentes constantes de tiempo. A = La unidad lenta puede vaciarse hacia la unidad rápida al final de la espiración. B = La unidad lenta puede inspirar de la unidad rápida al final de la inspiración.</p>	<p>Velocidad laminar asimétrica: Un bolo de gas uniforme es dispersado (A) desarrollando un perfil de velocidad parabólico a la derecha, el flujo espiratorio opuesto (B) lo hace como un perfil plano (flechas). Finalmente, el bolo inicial (C) permanece sobre el punto de inicio, pero el 25% es desplazado hacia la derecha y el 25% hacia la izquierda. El gas fresco viajará más lejos dentro del pulmón.</p>
<p>Mezcla cardiogénica: La agitación mecánica producida por las contracciones del corazón contribuye a la mezcla de gases, especialmente en las unidades alveolares contiguas al corazón.</p>	<p>Difusión molecular: Mezcla de gases en los bronquiolos y unidades alveolares cercanas a las membranas alveolocapilares. Es un mecanismo de transporte que se origina por la oscilación térmica azarosa de las moléculas (movimiento browniano).</p>

Figura 2. Intercambio gaseoso en la ventilación de alta frecuencia oscilatoria.

Extraído y modificado de Selandari J, Taffarel P y García M.¹⁰

Los pacientes con enfermedad de la pequeña vía aérea tenían una presión parcial de dióxido de carbono de $66,9 \pm 27,9$ mmHg antes de la transición a VAFO, que disminuyó rápidamente 1 h después de iniciada a $51,6 \pm 15,5$ mmHg.¹¹ Esta respuesta también fue comunicada en la serie de Donoso. Veinte pacientes, con una mediana de 4 meses de edad y un peso de 5,2 kg, tenían, antes de la VAFO, una presión parcial de dióxido de carbono de 82 ± 20 mmHg y un pH 7,15; el tratamiento de rescate fue útil en la eliminación de CO₂, generando una reducción estadísticamente

significativa apreciable desde la primera hora (presión parcial de dióxido de carbono en 37 ± 22 mmHg, $p < 0,05$).¹²

Conclusiones

Frente a un escenario de hiperinsuflación pulmonar e hipercapnia resistente a la VMC, la VAFO podría usarse como una maniobra de rescate, persiguiendo superar la obstrucción del flujo de aire mediante una estrategia de vía aérea abierta. Se re-

quieren estudios con mayor poder estadístico para sustentar esta conclusión.

Los autores no declaran conflictos de intereses.

Bibliografía

1. Nair H, Simões EA, Rudan I, et al. Global and regional burden of hospital admissions for severe acute lower respiratory infections in young children in 2010: a systematic analysis. *Lancet* 2013; 381(9875): 1380-1390. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61901-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61901-1)
2. Dalziel SR, Haskell L, O'Brien S, et al. Bronchiolitis. *Lancet* 2022; 400(10349): 392-406. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)01016-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)01016-9)
3. Bardach A, Rey-Ares L, Cafferata ML, et al. Systematic review and meta-analysis of respiratory syncytial virus infection epidemiology in Latin America. *Rev Med Virol* 2014; 24(2): 76-89. <https://doi.org/10.1002/rmv.1775>
4. Meissner HC. Viral bronchiolitis in children. *N Engl J Med* 2016; 374(1): 62-72. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1413456>
5. Comité de Neumonología; Comité de Infectología; Comité de Medicina Interna Pediátrica; Comité de Pediatría Ambulatoria, Colaboradores. Recomendaciones para el manejo de las infecciones respiratorias agudas bajas en menores de 2 años. Actualización 2021. *Arch Argent Pediatr* 2021; 119(4): S171-S197. <https://doi.org/10.5546/aap.2021.S171>
6. Cruces P, González-Dambrauskas S, Quilodrán J, et al. Respiratory mechanics in infants with severe bronchiolitis on controlled mechanical ventilation. *BMC Pulm Med* 2017; 17(1): 129. <https://doi.org/10.1186/s12890-017-0475-6>
7. Andreolio C, Piva JP, Bruno F, da Rocha TS, Garcia PC. Airway resistance and respiratory compliance in children with acute viral bronchiolitis requiring mechanical ventilation support. *Indian J Crit Care Med* 2021; 25(1): 88-93. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10071-23594>
8. Taffarel P, Jorro Barón F, Bonetto G, Cavagna J, Meregalli C, Debaisi G. Actualización en ventilación de alta frecuencia oscilatoria en pacientes pediátricos con insuficiencia respiratoria aguda. *Rev Arg de Ter [Internet]*. 2017; 34(1): 53-62. Disponible en: <https://revista.sati.org.ar/index.php/MI/article/view/452>
9. Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference Group. Pediatric acute respiratory distress syndrome: consensus recommendations from the Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference. *Pediatr Crit Care Med* 2015; 16(5): 428-439. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000000350>
10. Selandari J, Taffarel P, García M. Ventilación de alta frecuencia oscilatoria. En: Comité de Emergencias y Cuidados Críticos. *Manual de Emergencias y Cuidados Críticos en Pediatría*, 3ª ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Sociedad Argentina de Pediatría; 2020, cap. 11.
11. Slee-Wijffels FY, van der Vaart KR, Twisk JW, Markhorst DG, Plötz FB. High-frequency oscillatory ventilation in children: a single-center experience of 53 cases. *Crit Care* 2005; 9(3): R274-9. <https://doi.org/10.1186/cc3520>
12. Donoso FA, Cruces RP, León BJ, Ramírez AM, Camacho AJ. Ventilación de alta frecuencia oscilatoria es eficaz en el tratamiento de hipercapnia grave refractaria. *Revista Chilena de Medicina Intensiva* 2006; 21(2): 101-107, 166. Disponible en: <https://www.imbiomed.com.mx/articulo.php?id=45241>
13. Miyaji M, Kawaguchi A, Pringle C, Baines T, Samrajat R. High-frequency oscillatory ventilation as a rescue mode for refractory hypercapnia in children. *Tokyo Women's Medical University Journal* 2022. <https://doi.org/10.24488/tw-muj.2021016>
14. Sharma K, Von Hack-Prestinary I, Vidal R. High-frequency oscillatory ventilation as a rescue for severe asthma crisis in a child. *SAGE Open Med Case Rep* 2020; 8:2050313X20957454. <https://doi.org/10.1177/2050313X20957454>
15. Kneyber MCJ, Heerde M, Markhorst DG. Reflections on pediatric high-frequency oscillatory ventilation from a physiologic perspective. *Respir Care* 2012; 57(9): 1496-1504. <https://doi.org/10.4187/respcare.01571>
16. Demoule A, Brochard L, Dres M, et al. How to ventilate obstructive and asthmatic patients. *Intensive Care Med* 2020; 46(12): 2436-2449. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-06291-0>
17. Chugh K, Kumar S. Ventilation strategies in acute asthma. *J Pediatr Crit Care* 2015; 2(1): 55-66. <https://doi.org/10.21304/2015.0201.00053>
18. Kneyber MCJ, de Luca D, Calderini E, et al; section Respiratory Failure of the European Society for Paediatric and Neonatal Intensive Care. Recommendations for mechanical ventilation of critically ill children from the Paediatric Mechanical Ventilation Consensus Conference (PEMVECC). *Intensive Care Med* 2017; 43(12): 1764-1780. <https://doi.org/10.1007/s00134-017-4920-z>
19. Oyágüez Ugidos P, Reyes Domínguez S, Modesto Alapont V, et al. Mechanical ventilation in chronic obstructive pulmonary disease (COPD) exacerbations. En: *Handbook of Pediatric and Neonatal Mechanical Ventilation*; Las Palmas de Gran Canaria: Tesela Ediciones; 2021, cap. 31.
20. Stewart TE, Slutsky AS. Occult, occult auto-PEEP in status asthmaticus. *Crit Care Med* 1996; 24(3): 379-380. <https://doi.org/10.1097/00003246-199603000-00003>

Cómo citar este artículo: Taffarel P, Vallone K, Miller HR, et al. Ventilación oscilatoria de alta frecuencia en niños con infección respiratoria aguda baja con hipercapnia resistente. A propósito de un caso clínico. *RATI*. 2022;39:e828.28092022.

