

## Heliox: A propósito de un caso de estado asmático refractario

**Dr. Raúl Carrillo Esper,\* Dr. Fernando Neil Núñez Monroy†**

### RESUMEN

**Objetivo:** Reportar el uso de helio-oxígeno en el tratamiento de un paciente con estado asmático refractario.

**Diseño:** Reporte de un caso y revisión de la literatura.

**Lugar:** UCI de un hospital de tercer nivel de México.

**Paciente:** Un paciente de 55 años de edad con estado asmático refractario complicado con neumotórax, hipoxemia y acidosis respiratoria.

**Intervenciones:** Apoyo mecánico ventilatorio, instalación de una sonda pleural, administración de una mezcla de helio-oxígeno y uso de broncodilatadores.

**Mediciones y resultados principales:** Se efectuó monitoreo no invasivo, PEEP intrínseco gases arteriales a las 1, 12 y 24 horas después de iniciado el tratamiento con helio-oxígeno. Se observó disminución de la presión máxima de la vía aérea, de PEEP intrínseco de la PaCO<sub>2</sub>, así como aumento de la presión arterial media. También se corrigió la acidosis respiratoria.

**Conclusión:** El uso de la mezcla de helio-oxígeno es una buena alternativa terapéutica en pacientes con estado asmático.

**Palabras clave:** Estado asmático, helio-oxígeno, PEEP intrínseco, acidosis respiratoria, hipoxemia.

El helio es un gas biológicamente inerte y de bajo peso molecular. Fue introducido para su uso clínico por Barach en 1936 para el manejo de lesiones obstructivas en tráquea y bronquios principales, asma bronquial y enfermedad pulmonar obstructiva crónica.<sup>1</sup> A partir de la década de los 80, el Heliox,

### SUMMARY

**Objective:** To report the use of helium-oxygen in the treatment of a patient with refractory status asthmaticus.

**Design:** Case report and literature review.

**Setting:** ICU of a tertiary care hospital in Mexico City.

**Patient:** A 55-yrs-old patient with refractory status asthmaticus complicated with pneumothorax (due to barotrauma), hypoxemia and respiratory acidosis.

**Interventions:** Mechanical ventilation support, insertion of a pleural tube, administration of helium oxygen mixture and bronchodilators.

**Measurements and main results:** Noninvasive monitoring, intrinsic PEEP and arterial blood gases were performed at 1, 12 and 24 hours after beginning of treatment with helium-oxygen. A decrease of the maximum airway pressure, intrinsic PEEP and PaCO<sub>2</sub>, as well as an increase of mean arterial pressure and PaO<sub>2</sub> was observed. Respiratory acidosis was corrected also.

**Conclusion:** The use of helium-oxygen mixture is a good therapeutic alternative in patients with status asthmaticus.

**Key words:** Status asthmaticus, helium-oxygen, intrinsic PEEP, respiratory acidosis, hypoxemia.

que es una mezcla de helio con oxígeno en diferentes proporciones, se reintrodujo en el armamentario terapéutico para el manejo del laringoespasmo y edema de la vía aérea superior posterior a extubación, enfermedad pulmonar obstructiva crónica con hiperinflación dinámica, estado asmático refractario al manejo habitual y edema de la vía aérea asociada a radioterapia.<sup>2-5</sup>

En nuestro medio no se ha difundido de manera adecuada el uso de esta mezcla, siendo desconocida por muchos de los médicos que manejan enfermos graves, además de no existir hasta lo que revisamos, reportes nacionales en relación a este tema.

\* Jefe de la Unidad de Terapia Intensiva, Hospital Central Sur de Alta Especialidad, PEMEX. Profesor titular de Posgrado de Medicina del Enfermo en Estado Crítico, UNAM.

† Residente de Medicina del Enfermo en Estado Crítico, Hospital Central Sur de Alta Especialidad.

Por lo anterior se describe un caso de estado asmático refractario al manejo convencional que respondió de manera espectacular con el uso de Heliox y se hace una revisión extensa en relación a este gas.

### CASO CLÍNICO

Un paciente de 55 años con antecedente de asma bronquial presentó exacerbación de su enfermedad, caracterizada por broncoespasmo grave, que fue refractario al manejo con esteroides, albuterol y metilxantinas. La insuficiencia respiratoria se incrementó rápidamente desarrollando hipoxemia grave, retención de dióxido de carbono hasta 90 torr y deterioro hemodinámico significativo secundario a hiperinflación dinámica. Por lo anterior requirió de intubación orotraqueal y ventilación mecánica. Los parámetros respiratorios iniciales mostraron presión máxima en la vía áerea de hasta 60 centímetros de agua y PEEP intrínseco de 17 centímetros de agua. Se inició manejo ventilatorio con volúmenes corrientes bajos (8 mL/kg), flujo cuadrado y frecuencia respiratoria entre 8 a 10 por minuto e incremento del tiempo espiratorio, con la finalidad de controlar en lo posible la hiperinflación dinámica. A pesar de la ventilación mecánica, fracción inspirada de oxígeno del 100%, sedación y relajación del enfermo y la optimización del tratamiento broncodilatador, el paciente continuaba con broncoespasmo grave, deterioro en el intercambio gaseoso y deterioro hemodinámico en relación a la hiperinflación dinámica. Desarrolló neumotórax derecho a tensión, motivo por el cual se colocó tubo pleural conectado a sello de agua. En vista de lo refractario del cuadro se decidió tratarlo con una mezcla de helio con oxígeno en una proporción de 70/30, de acuerdo al método y protocolo propuesto por Gluck y colaboradores.<sup>6</sup>

Una vez que se inició este manejo fue espectacular la respuesta respiratoria y hemodinámica, se observó disminución de la presión máxima de la vía aérea de 60 a 30 cm de agua y de PEEP intrínseco de 17 a 3 centímetros de agua, de forma progresiva. En el *cuadro I* se anota la evolución respiratoria, hemodinámica y gasométrica.

Posterior a esto fue posible retirar rápidamente al paciente de la ventilación mecánica, extubándolo y continuando con la mezcla de helio-oxígeno con una máscara de no reinhalación y oxígeno suplementario mediante puntas nasales durante tres días. La respuesta al tratamiento broncodilatador se estableció de manera satisfactoria sin presentar mas cuadros de broncoespasmo y fue dado de alta.

**Cuadro I. Evolución hemodinámica, pulmonar y gasométrica con el uso de Heliox en un paciente con estado asmático refractario.**

|                           | Inicio | 1 Hora | 12 Horas | 24 Horas |
|---------------------------|--------|--------|----------|----------|
| PaO <sub>2</sub> torr     | 50     | 60     | 80       | 80       |
| PaCO <sub>2</sub> Torr    | 90     | 60     | 40       | 35       |
| pH                        | 7.20   | 7.30   | 7.35     | 7.40     |
| Pmax, cmH <sub>2</sub> O  | 60     | 50     | 40       | 30       |
| PEEP i cmH <sub>2</sub> O | 17     | 10     | 7        | 3        |
| PAM torr                  | 50     | 55     | 65       | 70       |
| FC, latidos/min           | 160    | 120    | 100      | 90       |

Simbología: PaO<sub>2</sub>= presión arterial de oxígeno, PaCO<sub>2</sub>= presión arterial de dióxido de carbono, Pmax= presión máxima en la vía aérea, PEEP i= PEEP intrínseco, PAM= presión arterial media, FC= frecuencia cardíaca.

### DISCUSIÓN

El helio fue aislado por Ramsey en 1895.<sup>1,4-6</sup> Cuarenta años después Barach introdujo la mezcla de helio con oxígeno para el manejo de problemas obstructivos de la vía aérea con buenos resultados, pero a partir de 1940 cayó en desuso debido a la introducción de los broncodilatadores y los agentes mucolíticos, dejándolo relegado para su uso experimental hasta los 80 cuando vuelve a ser reintroducido a la práctica clínica.<sup>1</sup>

A continuación se tratarán los puntos clave en relación a las características del helio, las bases teóricas para su aplicación en la clínica, las recomendaciones actuales para el uso de la mezcla helio-oxígeno (Heliox), su dosificación, así como los efectos colaterales.

#### 1) Helio:

El helio es gas incoloro, inodoro, no combustible, pobremente soluble y biológicamente inerte. Tiene el peso molecular y la gravedad específica más baja que cualquier gas, excepto el hidrógeno, el cual a diferencia del helio es altamente explosivo. Su densidad es de 0.179 kg/m<sup>3</sup> que corresponde al 25% de la densidad del aire ambiente (1.429 kg/m<sup>3</sup>). El nitrógeno, que es uno de los principales constituyentes del aire tiene una densidad siete veces mayor que la del helio. Su viscosidad absoluta es de 17.9 n/seg/m<sup>2</sup> y su viscosidad cinemática (viscosidad absoluta/densidad) es de 25 n/seg/m<sup>2</sup>. La viscosidad del nitrógeno es 5 veces mayor que la del helio.

A presión atmosférica, el helio es prácticamente insoluble en tejidos humanos. No reacciona con las

membranas biológicas ni con otros gases respiratorios. A presión de una atmósfera, la inhalación prolongada del helio no tiene efectos deletéreos. Debido a su baja densidad, el helio tiene un coeficiente de difusión binario para bióxido de carbono cuando se compara con el aire, esta propiedad característica del helio condiciona el incremento de la difusibilidad de otros gases como el oxígeno.<sup>7,8</sup>

## 2) Bases teóricas:

A pesar de la complejidad anatómica y funcional de la vía aérea proximal y distal, la dinámica de la mezcla de gases sigue los mismos principios físicos de la de cualquier fluido.<sup>8-10</sup> De esta manera el paso de un fluido ya sea líquido o gas, a través de un tubo circular depende del diámetro y de la longitud de éste, así como de la densidad, viscosidad y promedio de velocidad del gas, a su vez el flujo va a depender del gradiente de presiones existente a través del conductor. Otro determinante fundamental en el flujo es el factor de fricción el cual está íntimamente relacionado a la pared interna del conductor.<sup>8-10</sup>

De una manera práctica el parámetro que determina el flujo de un gas, es el número de Reynolds, el cual es la relación entre la viscosidad y la inercia. A su vez el factor de fricción que es determinante para el flujo, dependerá de la rugosidad de la pared interna del conductor y éste puede obtenerse a partir del diagrama de Moody. El número de Reynolds de cualquier gas determinará si su flujo es turbulento o laminar. Desde el punto de vista teórico el flujo turbulento, se produce con número de Reynolds mayor de 2,000 unidades y el laminar con un número de Reynolds menor de 2,000 unidades.<sup>8</sup> Slutsky en un modelo experimental pulmonar y relacionando el factor de fricción con el número de Reynolds, determinó los diferentes valores de acuerdo al tipo de flujo.<sup>11</sup>

De esta manera, en el modelo pulmonar con integridad en la permeabilidad de la vía aérea, para flujo laminar, el número de Reynolds fue de 0 a 700 unidades, para flujo transicional 700 a 5,000 unidades y flujo turbulento arriba de 5,000 unidades.<sup>11</sup> Para el modelo pulmonar con obstrucción en la vía aérea se obtuvieron los siguientes resultados. Para flujo laminar de 0 a 2,300 unidades, para flujo transicional de 2,300 a 4,000 y para flujo turbulento arriba de 4,000 unidades.<sup>11</sup> El número de Reynolds para la mezcla de helio con oxígeno es menor de 2,000 unidades, lo cual hace que el paso del helio a través de la vía aérea sea laminar y más fluido que el del aire o el del oxígeno.

La ley de Graham establece que el flujo de un gas a través de un conducto es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de su densidad. En base a los conceptos previos, el helio al tener una densidad más baja que la del nitrógeno y por lo tanto del aire tiene un flujo más constante a través de un conducto y por su bajo número de Reynolds mantiene flujo laminar independientemente de la velocidad.<sup>12</sup> El flujo de gas dentro del árbol traqueobronquial hasta su llegada a los alveolos se rige por la interacción de fuerzas convectivas y difusivas. Las fuerzas convectivas dominan en las grandes vías aéreas de conducción (laringe, tráquea, bronquios principales) y las fuerzas difusivas predominan en la pequeña vía aérea, lo cual favorece la disipación de la energía del flujo de gases y la llegada de éstos al alvéolo.<sup>13-15</sup>

El flujo de gases en el árbol traqueobronquial es turbulento debido a la aceleración convectiva y a la fricción; esta turbulencia se hace más evidente a nivel de las bifurcaciones bronquiales y en zonas de disminución de la luz ya sean fijas o dinámicas.<sup>16</sup> El uso de una mezcla de helio con oxígeno en proporción 70/30 y 80/20 elimina el flujo turbulento y lo hace básicamente laminar, lo cual incrementa la llegada del oxígeno a nivel alveolar, que a su vez es favorecido por el principio de difusibilidad del helio.<sup>17,18</sup> Con base en lo anterior se puede entender el porqué, la mezcla helio-oxígeno, debido a su menor número de Reynolds y densidad, mejora el flujo a nivel de la vía aérea grande y pequeña, haciendo éste laminar y mejorando su paso a través de obstrucciones, a diferencia de la mezcla habitual de nitrógeno con oxígeno.

## 3) Aplicaciones clínicas:

La mezcla de helio con oxígeno está indicada en numerosas situaciones que se manejan en unidades de cuidados intensivos y que se describen a continuación:

### A) Estado asmático:

El paciente que desarrolla estado asmático y que ingresa a la unidad de terapia intensiva presenta una serie de trastornos fisiopatológicos caracterizados por inflamación difusa de la vía aérea, la formación de tapones de moco, broncoconstricción grave y refractaria, así como alteraciones en la relación ventilación-perfusión que lo llevan a hipoxemia grave, y retención de bióxido de carbono y por el atrapamiento de aire secundario a la broncoconstricción y a los tapones mucosos, hiperinfla-

ción dinámica deterioro hemodinámico y neumotórax.<sup>19</sup> En los Estados Unidos se reportan aproximadamente 5,000 muertes anuales en relación a esta entidad.<sup>20</sup> Estos pacientes requieren intubación y ventilación mecánica, pero a pesar de esto, muchos enfermos continúan con el deterioro cardiopulmonar o en ocasiones éste se ve agravado debido a las altas presiones generadas en la vía aérea, lo cual condiciona disfunción del ventilador mecánico, dado que no puede generar los volúmenes corrientes y flujos programados. Esto condiciona mayor alteración en la relación ventilación-perfusión. En estos pacientes se intentan medidas heroicas y poco habituales como las infusions de sulfato de magnesio, y el uso de anestésicos inhalados con resultados variables.<sup>21</sup>

El uso del Heliox en proporción de 70/30 a 60/40 ha mostrado ser de gran ayuda en el manejo de los pacientes asmáticos; debido a sus características físicas cambia el flujo turbulento por laminar, mejora la relación entre fuerzas conectivas y difusas e incrementan la oxigenación alveolar y mejoran la relación ventilación-perfusión. Por otro lado, disminuye el atrapamiento de aire, mejora la hiperinflación dinámica, hace más eficientes los músculos de la respiración mejora el flujo aéreo por la vía aérea obstruida, normaliza las constantes de tiempo y hace más homogénea la distribución de aire intrapulmonar.

En estudios clínicos de pacientes en estado asmático intubados se ha demostrado que el uso de la mezcla helio-oxígeno disminuye de manera considerable la presión máxima de la vía aérea, mejora el volumen corriente y de manera significativa el intercambio gaseoso; también disminuye la retención de bióxido de carbono y mejora la acidosis respiratoria, lo cual lo corroboramos en el presente caso.<sup>24</sup>

#### **B) Neumopatía obstructiva crónica agudizada:**

El paciente con neumopatía obstructiva crónica grave, en fase de agudización presenta hiperinflación dinámica, incremento del trabajo respiratorio y fatiga, alteración de la relación ventilación-perfusión, distribución heterogénea del gas intrapulmonar y deterioro en el intercambio gaseoso con hipoxemia grave y retención de bióxido de carbono.<sup>24,25</sup> Habitualmente, estos pacientes ingresan a la unidad de terapia intensiva y requieren manejo con intubación y ventilación mecánica o con ventilación no invasiva.<sup>25</sup>

En esta subclase de enfermos el uso de Heliox en una proporción 80/20 que es una mezcla de gases menos densa y con un bajo número de Reynolds, ha mostrado que disminuye la hiperinflación dinámica y

hace más eficiente la función diafragmática, además de reducir la producción de bióxido de carbono, relacionada a una mejoría en la función y en el trabajo de los músculos de la respiración, lo cual a su vez hace más eficiente la ventilación alveolar y la eliminación de bióxido de carbono.<sup>26,27</sup> Al condicionar un flujo laminar en la pequeña vía aérea que se encuentra lesionada, mejora la ventilación alveolar y restaura la relación ventilación-perfusión, lo cual hace más eficiente la oxigenación. Este mismo flujo laminar mejora el flujo respiratorio al primer segundo.<sup>17,28</sup>

En ensayos clínicos se ha utilizado la mezcla de helio-oxígeno para el manejo inicial del paciente con neumopatía obstructiva crónica grave en fase de exacerbación, evitando la intubación y mejorando como ya se comentó la función pulmonar. Además de que se ha utilizado en enfermos con neumopatía obstructiva crónica intubados para acelerar el retiro de la ventilación mecánica.

#### **C) Bronquiolitis:**

La bronquiolitis es frecuente en los niños y se caracteriza por obstrucción de la vía aérea pequeña, lo cual condiciona atrapamiento de aire, incremento en el trabajo de la respiración y alteración en la relación ventilación-perfusión y en el intercambio gaseoso.<sup>24</sup>

Habitualmente, se maneja con oxígeno y broncodilatadores con buenos resultados, pero hay casos en los que se requiere el empleo de ventilación mecánica; en estos casos la mortalidad llega a ser hasta del 11%. Recientemente han aparecido varias publicaciones en las que se ha mostrado que el Heliox en una proporción 80/20 mejora de manera significativa al subgrupo de niños con bronquiolitis refractaria al tratamiento, evitando la intubación y la ventilación mecánica y disminuyendo de manera dramática la mortalidad.<sup>30,31</sup> El Heliox disminuye la hiperinflación dinámica, mejora el flujo de aire de la vía aérea pequeña y el trabajo de la respiración. Además de que las partículas del broncodilatador aeroelizado tienen una mejor penetración y distribución cuando se utiliza como vehículo el Heliox, haciendo más eficiente su efecto.

#### **D) Obstrucción de la vía aérea:**

El laringoespasmo posextubación es una entidad grave que pone en peligro la vida del enfermo, debido a la obstrucción, al flujo de aire por la zona estrecha y a la hipoxemia rápidamente progresiva. La epinefrina racémica y los esteroides sistémicos que se usan habitualmente para el manejo de esta

situación clínica no han mostrado en estudios controlados que sean efectivos y muchos de los enfermos requieren de reintubarse.<sup>32,33</sup>

El uso de la mezcla de helio con oxígeno en proporción 80/20 o 70/30 por sus características físicas ya comentadas, incrementa al evitar la turbulencia, el flujo de aire por la zona estrecha, lo cual mejora de manera significativa a los enfermos evitando la necesidad de reintubación. Por este motivo se recomienda que siempre debe existir una mezcla de helio con oxígeno en los quirófanos.<sup>34,35</sup> Hay reportes aislados en la literatura en que la mezcla de helio con oxígeno se ha utilizado con buenos resultados, para el manejo de enfermos con obstrucción extrínseca traqueal y bronquial por linfoma no Hodgkin y otras tumoraciones intratorácicas evitando la intubación. La inhalación de la mezcla habitualmente en una proporción 80/20 se mantiene hasta que se obtiene el efecto terapéutico de la quimio y/o radioterapia.<sup>36-38</sup>

#### E) Broncoscopia:

La broncoscopia se usa frecuentemente en el paciente grave con fines diagnósticos y terapéuticos. Habitualmente el procedimiento se hace a través del tubo endotraqueal lo cual condiciona incremento significativo en la resistencia al flujo de gases, de la presión máxima en la vía aérea y una mala distribución del aire intrapulmonar con la consecuente alteración en la relación ventilación-perfusión; todo lo anterior ocasiona hipoxemia y retención de dióxido de carbono durante el procedimiento.<sup>39,40</sup>

El uso de una mezcla de helio con oxígeno en una proporción 70/30, a diferencia de la mezcla convencional de gases, mostró en un estudio previo reducción significativa de la resistencia al flujo de gases y la presión máxima en la vía aérea, incremento de la PaO<sub>2</sub> y disminución de la retención de dióxido de carbono y la acidosis respiratoria.<sup>41</sup>

#### F) Otras indicaciones:

En pacientes con SIRPA y que cursan con incremento en la presión pico de la vía aérea y retención importante de dióxido de carbono, se ha utilizado el Heliox a través de insuflación transtraqueal a flujos de 6 litros/minuto con buenos resultados. Se ha demostrado que disminuye de manera significativa la presión máxima en la vía aérea y disminuye la retención de dióxido de carbono.<sup>42</sup> Por otro lado en reporte aislado de la literatura, en un modelo experimental de neumotórax en conejos, se describió que el uso de Heliox disminuyó de manera considerable el aire atrapado.<sup>43</sup>

#### Dosificación:

Los flujos recomendados de la mezcla de helio con oxígeno son de 2 a 6 litros por minuto, a través de máscara y válvula de no reinhalación o mediante insuflación transtraqueal. Cuando se utiliza asociado a ventilación mecánica se sigue la técnica de Gluck.<sup>6</sup>

#### Efectos colaterales:

Los efectos colaterales por el uso de la mezcla de helio con oxígeno que se han descrito en la literatura son los siguientes:

- 1) Tiene una alta conductividad térmica, motivo por el cual puede producir hipotermia, sobre todo en niños cuando se utiliza a flujos altos y por tiempo prolongado.<sup>44</sup>
- 2) Altera la lectura del espectrómetro de masa de la máquina de anestesia cuando se están monitoreando los gases espiratorios.<sup>44</sup>
- 3) Cuando se utiliza la mezcla 80/20 en pacientes que tienen requerimientos de altas concentraciones de oxígeno puede inducir hipoxemia. En estos casos, se recomienda tener una fuente alterna de aporte de oxígeno.<sup>45</sup>

#### CONCLUSIONES

De lo escrito previamente se puede concluir lo siguiente:

- 1) La mezcla de helio con oxígeno en proporción de 80/20 a 70/30, tiene un amplio rango de aplicaciones en el enfermo grave.
- 2) Su efecto terapéutico se relaciona a sus características físicas.
- 3) Carece de efectos deletéreos de importancia.
- 4) Es recomendable que en los servicios de terapia intensiva, urgencias y quirófanos, se cuente con la mezcla de helio con oxígeno.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Barach AL. The therapeutic use of helium. *JAMA* 1936; 107: 1273-80.
2. Ta Shung Lu, Akito Ohmura, KC Wong. Helium-oxygen in treatment of upper airway obstruction. *Radiology* 1976; 45: 678-680.
3. Hutcheon MA, Hyland RH. Helium/oxygen therapy. *Chest* 1987; 4: 766.
4. Cushing IE. Helium in respiratory therapy. *JAMA* 1978; 17: 1744.
5. McGee DL, Wald DA, Hinchliffe S. Helium-oxygen therapy in the emergency department. *J Emerg Med* 1997; 3: 291-6.
6. Gluck EH, Onorato DJ, Castriotta R. Helium-oxygen mixtures in intubated patients with status asthmaticus and respiratory acidosis. *Chest* 1990; 98: 693-698.

7. Curtis JL, Mahlmeister M, Fink JB, Lampe G, Matthay MA. Helium-oxygen gas therapy. *Chest* 1986; 90: 455-57.
8. Papamoschou Dimitri. Theoretical validation of the respiratory benefits of helium-oxygen mixtures. *Respiration Physiology* 1995; 99: 183-190.
9. Dean RB, Visocher MB. The kinetics of lung ventilation. *Am J Physiol* 1941; 134: 4504.
10. Otis AB, Bembower WC. Effect of gas density on resistance to respiratory gas flow in man. *J Appl Physiol* 1949; 2: 300-306.
11. Slutsky AS, Berdine G, Drazen JM. Steady flow in a model of human central airway. *J Appl Physiol Respir Environ Exercise Physiol* 1980; 54: 417-423.
12. Jafrin MY, Kesic P. Airway resistance: a fluid mechanical approach. *J Appl Physiol* 1974; 36: 354-361.
13. Paiva M. Gas transport in the human lung. *J Appl Physiol* 1973; 35: 401-10.
14. Paiva M, Engel LA. Pulmonary interdependence of gas transport. *J Appl Physiol* 1979; 47: 296-305.
15. Sikland RS, Magnussen H, Scheid P, Piiper J. Convective and diffusive gas mixing in human lung: Experiments and model analysis. *J Appl Physiol* 1976; 40: 362-71.
16. Dekker E. Transition between laminar and turbulent flow in the human trachea. *J Appl Physiol* 1961; 16: 1060-64.
17. Christpherson SK, Hlastala MD. Pulmonary gas exchange during altered density gas breathing. *J Appl Physiol* 1982; 52: 221-25.
18. West JB, Hugh-Jones P. Patterns of gas flow in the upper bronchial tree. *J Appl Physiol* 1959; 14: 753-59.
19. Benatar SR. Fatal asthma. *N Engl J Med* 1986; 314: 423-28.
20. Robin DE. Death from bronchial asthma. *Chest* 1988; 93: 614-20.
21. O'Rourke PP, Crone RK. Halothane in status asthmaticus. *Crit Care Med* 1982; 10: 341-43.
22. Kass JE, Castriotta R. Heliox therapy in acute severe asthma. *Chest* 1995; 107: 757760.
23. Kukukis TM, Manthous CA, Schmidt GA et al. Inhaled helium-oxygen revisited: Effect of inhaled helium-oxygen during the treatment of status asthmaticus in children. *J Pediatr* 1997; 130: 217-224.
24. Shiue ST, Gluck EH. The use of helium-oxygen mixtures in the support of patients with status asthmaticus and respiratory acidosis. *J Asthma* 1989; 26: 177-80.
25. Swidua DM, Montenegro DH, Goldman MD, Lutchen KR, Saidel GM. Helium-oxygen breathing in severe chronic obstructive pulmonary disease. *Chest* 1985; 87: 790-795.
26. Grape B, Channin E, Tyler JM. The effect of helium and oxygen mixtures on pulmonary resistances in emphysema. *Am Rev Respir Dis* 1960; 81: 823-9.
27. Hyatt RE, Shilder DP, Fry DL. Relationship between maximum expiratory flow and degree of lung inflation. *J Appl Physiol* 1958; 13: 331.
28. Dosman J, Bode F, Urbanetti J, Martin R, Macklem PT. The use of helium-oxygen mixture during maximum expiratory flow to demonstrate obstruction in small airways in smokers. *J Clin Invest* 1975; 55: 1090-9.
29. Stretton M, Ajizian SJ, Mitchell I et al. Intensive care course and outcome of patients infected with respiratory syncytial virus. *Pediatr Pulmonol* 1992; 13: 143-150.
30. Barnes SD. Does heliox decrease the need for intubation in acute bronchiolitis? *Crit Care Med* 1998; 10: 1633-5.
31. Gavin R, Anderson B, Percival T. Management of severe bronchiolitis: indications for ventilator support. *NZ Med J* 1996; 109: 137-139.
32. Fleming MD, Weigelt JA, Brewer V, McIntire D. Effect of helium and oxygen on airflow in a narrowed airway. *Arch Surg* 1992; 8: 956-9.
33. Milner QJ, Abdy S, Aller JG. Management of severe obstruction with helium/oxygen and a laryngeal mask airway. *Anaesthesia* 1997; 11: 1087-9.
34. Riley RH, Platt PR, Phillips MJ, Schneiner M. Helium-oxygen in laser therapy for bronchial stenosis. *Anaesth Intensive Care* 1990; 4: 583-4.
35. Mizrahi S, Yaari Y, Lugassy G, Cotev S. Major airway obstruction relieved by helium/oxygen breathing. *Crit Care Med* 1986; 11: 986-7.
36. Curtis JL, Mahlmeister M, Fink J et al. Helium-oxygen gas therapy: Use and availability for emergency treatment of inoperable airway obstruction. *Chest* 1986; 90: 455458.
37. Skrinkas GJ, Hyland RH, Hutcheon MA. Using helium-oxygen mixtures in the management of acute upper airway obstruction. *Can Med Assoc J* 1983; 555-59.
38. TenEyck LG, Colgan FJ. Methods and guidelines for mechanical ventilation with helium-oxygen for severe upper airway obstruction. *Respir Care* 1984; 29: 155-59.
39. Sackner MA. Bronchofibroscopy. *Amer Rev Respir Dis* 1975; 111: 261-4.
40. Demers RR. Airflow resistances of endotracheal tubes. *JAMA* 1977; 237: 1362-5.
41. Pingleton SK, Bone RC, Ruth WC. Helium-oxygen mixtures during bronchoscopy. *Crit Care Med* 1980; 8: 50-54.
42. Pizov R, Oppenheim A, Eidelman LA, Weiss YG. Helium versus oxygen for tracheal gas insufflation during mechanical ventilation. *Crit Care Med* 1998; 26: 290-295.
43. Barr J, Lushkov G, Starinsky R, Klin B, Berkovith M, Eshel G. Heliox therapy for pneumothorax: New indication for an old remedy. *Ann Emerg Med* 1997; 2: 159-62.
44. Williams EL, Berson DM. Helium induced errors in clinical mass spectrometry. *Anaesth Analg* 1988; 1: 83-5.
45. Kasik JW, Headley JG, Hyde WH. Hypoxia with helium-oxygen therapy. *J Pediatr* 1985; 4: 648-650.

## Correspondencia:

Dr. Raúl Carrillo Esper y/o Fernando Neil Núñez Monroy  
Periférico Sur No. 4091, Fuentes del Pedregal, C.P. 14140, México, D.F.  
Tel: 56-45-16-84. FAX (51613)