

การใช้เครื่องช่วยหายใจความถี่สูงในผู้ป่วยเด็ก

มนุธรรม มานวธงชัย พ.บ., ว.ว.กุมารเวชศาสตร์*

บทคัดย่อ

การใช้เครื่องช่วยหายใจความถี่สูง (high frequency ventilation) เป็นวิธีการช่วยหายใจที่สามารถตั้งอัตราการหายใจให้สูงกว่าปกติได้ถึง 4 เท่า หรือสูงกว่า 60 ครั้งต่อนาที และได้รับความนิยมมากขึ้น ในการดูแลรักษาผู้ป่วยเด็ก เนื่องจากให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเครื่องช่วยหายใจที่ใช้กันอยู่ตามปกติ ในหลายโรคหรือหลายภาวะ อย่างไรก็ตามแพทย์ผู้เลือกใช้การรักษาผู้ป่วยด้วยวิธีนี้ ต้องมีความเข้าใจในหลักการของเครื่องช่วยหายใจ การคัดเลือกผู้ป่วย การตั้งเครื่อง การตรวจติดตาม และข้อควรระวัง ซึ่งจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีแก่ผู้ป่วย

Abstract

High Frequency Ventilation in Pediatric Patients

Manutham Manavathongchai MD

Department of Pediatrics, BMA Medical College and Vajira Hospital

High frequency ventilation is the technique of assisted ventilation that can set respiratory rate at the higher rate. It is increased in popularity due to its effectiveness in many conditions of pediatric patients. However, before using this ventilation, the physicians should understand its concept, patient selection, setting procedures, monitoring and warning to achieve the advantages.

Key words: high frequency ventilation, pediatric patients

บทนำ

High frequency ventilation (HFV) เป็นวิธีการช่วยหายใจ โดยใช้เครื่องช่วยหายใจที่มีความถี่สูง ซึ่งสามารถตั้งอัตราการหายใจให้สูงกว่าปกติได้ถึง 4 เท่า หรือสูงกว่า 1 Hz (1 Hz = 60 cycles/min) ปัจจุบันได้รับความนิยมจากกุมารแพทย์มากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเครื่องช่วยหายใจปกติ ในหลายโรคหรือหลายภาวะ โดยทั่วไปเครื่องมือ

ที่สามารถให้ HFV นั้นอาจแบ่งตามลักษณะของเครื่องมือ และอัตราการหายใจที่ให้ออกเป็น 4 ชนิดด้วยกัน ได้แก่

1. High frequency positive pressure ventilator (HFPPV)

เป็นเครื่องช่วยหายใจที่สามารถตั้งอัตราการหายใจได้ตั้งแต่ 60-150 ครั้ง/นาที โดยให้ tidal volume (TV) เท่ากับ 3-4 มล./กก. ผ่านทางสายที่มีความหยุ่น (compliance) ต่ำมากๆ ต่อกับ ท่อหลอดลมคอ วิธีนี้จะไม่เกิด gas entrainment

*ภาควิชากุมารเวชศาสตร์ วิทยาลัยแพทยศาสตร์กรุงเทพมหานครและวชิรพยาบาล

และระยะเวลาการหายใจเข้า จะใช้เวลาประมาณร้อยละ 20 ถึง 30 ของการหายใจแต่ละครั้ง แก๊สจะถูกอัดเข้าปอดโดย pneumatic valve

2. High frequency jet ventilator (HFJV)

เป็นเครื่องช่วยหายใจที่สามารถตั้งอัตราการหายใจได้ตั้งแต่ 60-600 ครั้ง/นาที โดยให้ tidal volume (TV) เท่ากับ 3-4 มล./กก. แก๊สจะถูกส่งผ่านในลักษณะของพัลส์ (pulse) จากแหล่งกำเนิดแรงดันสูง (high pressure source) ที่มีความดัน 20-50 PSI ผ่านไปทางท่อสอด (cannula) ขนาดเล็ก ๆ โดยใช้ solenoid valves เป็นตัวทำให้เกิด cycling mechanism ระบบนี้จะทำให้เกิด gas entrainment ขึ้นรอบ ๆ ตัว jet สำหรับเครื่อง HFJV จะใช้ได้ผลดีในผู้ป่วยที่ได้รับการดมยาสลบเพื่อทำผ่าตัดเกี่ยวกับทางเดินหายใจ โดยเฉพาะกล่องเสียงหรือปอด สำหรับข้อเสียของ HFJV คือ ยังไม่มีระบบทำความชื้นที่ดีพอ ทำให้มีรายงานถึงภาวะแทรกซ้อนจากการใช้ HFJV ที่เกิดความชื้นไม่พอ เช่น การบวมเจ็บของเยื่อทางเดินหายใจ และมีเสมหะที่เหนียวมากจนทำให้เกิดการอุดตันของทางเดินหายใจ

3. High frequency oscillatory ventilator (HFOV)

เป็นเครื่องช่วยหายใจที่สามารถตั้งอัตราการหายใจ

ได้ตั้งแต่ 60-900 ครั้ง/นาที ด้วย tidal volume ที่ต่ำประมาณ 1-3 มล./กก. (ต่ำกว่า anatomical dead space) โดยใช้ระบบปั๊มแบบลูกสูบ (piston) ที่ชักเข้าและออกอยู่ตลอดเวลาด้วยความถี่สูงๆ ทำให้อากาศสามารถถูกอัดเข้าไปในปอดในช่วงหายใจเข้า และถูกดึงออกจากปอดหรือทางเดินหายใจในช่วงการหายใจออกแต่ละครั้งได้ตลอดเวลา ช่วยให้ไม่มีอากาศค้างค้ำอยู่ในปอด (air trapping) และสามารถดึงเอาแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากปอดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. High frequency flow interruption (HFFI)

มีลักษณะคล้ายกับ HFJV สามารถให้อัตราการหายใจได้ตั้งแต่ 300-1,200 ครั้ง/นาที ด้วย tidal volume เท่ากับ 2-5 มล./กก. แต่ไม่มี injector jet catheter และไม่มี gas entrainment

คุณลักษณะของเครื่องช่วยหายใจความถี่สูงทั้ง 4 ชนิดสรุปไว้ในตารางที่ 1

กลไกการเคลื่อนย้ายของแก๊สในเครื่องช่วยหายใจความถี่สูง (HFV)

ปกติการใช้เครื่องช่วยหายใจแบบที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป (conventional ventilator) จะต้องการ tidal volume ที่มี

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะของเครื่องช่วยหายใจความถี่สูงชนิดต่างๆ

Feature	High frequency positive pressure ventilator	High frequency jet ventilator	High frequency oscillatory ventilator	High frequency flow interruption
Flow generator	High-pressure gas source	High-pressure gas source	Piston pump acoustic speaker	High-pressure gas source
Fresh gas delivery system	Continuous or valved fresh gas flow	Jet catheter with continuous fresh gas bias flow	Continuous fresh gas flow	Valved flow interrupter
Tidal valve	> dead space	> or < dead space	< dead space	> or < dead space
Expiratory phase	Passive	Passive	Active	Passive
Airway pressure Waveform	Variable	Triangular	Sine wave	Triangular
Entrainment	None	Possible	None	None
Frequency (cycles/min)	60-150	60-600	60-3,600	300-1,200

ปริมาตรสูงเป็น 5-10 เท่าของ anatomical dead space แต่ใน HFV แม้จะใช้ tidal volume น้อยกว่า anatomical dead space แต่สามารถทำให้เกิดการระบายอากาศที่ถุงลม (alveolar ventilation) ได้อย่างเพียงพอ แสดงว่ามีกลไกอื่นที่สำคัญในการแลกเปลี่ยนแก๊สซึ่งเชื่อว่าเป็นการหมุนเวียนเปลี่ยนที่ (convection) และการแพร่ของโมเลกุล (molecular diffusion)

Convection สามารถแบ่งได้เป็น 5 ชนิด ได้แก่

1. Direct alveolar ventilation คือ การระบายอากาศที่เกิดขึ้นในถุงลมโดยตรง¹

2. Asymmetric velocity profile จากผลของ viscous shear ระหว่างแก๊สกับหลอดลม ทำให้แก๊สที่อยู่กลางหลอดลมเคลื่อนที่เร็วกว่า แก๊สที่อยู่ชิดผนังหลอดลม ทำให้ผิวเป็นรูปโค้ง จึงทำให้มีพื้นที่ในการแพร่กระจายมากขึ้น²

3. Pendelluft จากการที่ถุงลมในปอดแต่ละแห่งขยายตัวไม่พร้อมกันจากการมี time constant ไม่เท่ากัน ถุงลมที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีการขยายตัวก่อนทำให้แก๊สเคลื่อนไปยังถุงลมที่แฟบช้ากว่า³

4. Augmented dispersion เกิดการพัดวน (turbulence) ในหลอดลม ทำให้เกิด racial และ lamina diffusion⁴

5. Cardiogenic oscillations จากการหดตัวของหัวใจ ทำให้หลอดลมสั้นและเพิ่มการผสมของแก๊สในหลอดลม⁵

ส่วน molecular diffusion จะเกิดที่ระดับถุงลมโดยที่การหมุนเวียนเปลี่ยนที่ ไปไม่ถึง⁴ การประยุกต์ใช้ทางคลินิกพบว่า HFV สามารถช่วยผู้ป่วยได้ดีกว่า conventional ventilator ในกรณีที่ผู้ป่วยมีภาวะ bronchopleural fistula หรือ ARDS และใช้ประกอบการส่องกล้องตรวจกล่องเสียง (laryngoscopy) และหลอดลม (bronchoscopy) เนื่องจากช่วยลดการเคลื่อนไหวของกล่องเสียงและหลอดลม

หลักการใช้เครื่อง high frequency oscillatory ventilator (HFOV)

เครื่องช่วยหายใจความถี่สูงชนิด high frequency oscillatory ventilator (HFOV) เป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน การใช้ HFOV จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า conventional ventilator ในภาวะต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ทารกแรกเกิดที่มีภาวะ respiratory distress syndrome (RDS) ทำให้ลดระยะเวลาการใส่ท่อหลอดลมคอ และการให้ออกซิเจนที่อายุ 36 สัปดาห์ได้⁶

2. ทารกแรกเกิดที่มีภาวะ congenital diaphragmatic

hernia ทำให้อัตราการรอดชีวิตสูงขึ้น^{6,7} โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าจำกัด mean airway pressure (MAP) ให้ ≤ 20 ซม.น้ำ เพื่อป้องกัน alveolar overdistension⁸

3. การใช้ HFOV ร่วมกับ inhaled nitric oxide (iNO) ในผู้ป่วยที่มีภาวะ persistent pulmonary hypertension of the newborn (PPHN) ทำให้ความดันของออกซิเจนในเลือดแดง (PaO_2 เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้ HFOV อย่างเดียว หรือการให้ iNO ร่วมกับ conventional ventilator⁹)

4. ภาวะ air leak syndrome เช่น pulmonary interstitial emphysema (PIE) จาก conventional ventilator ทำให้ oxygenation และ ventilation ดีขึ้น ภาวะ air leak ลดลง และมีอัตราการรอดชีวิตสูงขึ้น¹⁰

5. ภาวะ acute respiratory distress syndrome (ARDS) พบว่าสามารถเพิ่ม oxygenation ได้เร็ว ลดอัตราการเกิด barotrauma ลดความต้องการใช้ออกซิเจนที่ระยะเวลา 30 วัน และสามารถลดอัตราการตายลงได้⁶

การเตรียมผู้ป่วย

1. เลือกเครื่องช่วยหายใจให้เหมาะสมกับน้ำหนักตัวของเด็ก เครื่องที่ใช้ปัจจุบันเป็นของ Sensormedics รุ่น 3100A ใช้ในเด็กที่มีน้ำหนักตัวน้อยกว่า 35 กก. ส่วนรุ่น 3100B ใช้ในเด็กที่มีน้ำหนักตัวมากกว่า 35 กก. แต่อาจใช้รุ่น 3100A ได้ถึงเด็กน้ำหนัก 70 กก. กรณีที่พยาธิสภาพในปอดไม่รุนแรงมาก หรือ SLE รุ่น 2000 ใช้ในเด็กที่มีน้ำหนักตัวน้อยกว่า 20 กก.

2. ให้ยาระงับประสาท (sedative) และยาคลายกล้ามเนื้อ (muscle relaxant) เพื่อให้ผู้ป่วยหลับลึกและไม่หายใจด้านเครื่องช่วยหายใจ

3. ดูดเสมหะในท่อหลอดลมคอออกให้หมด และทำ sustained inflation procedure ที่ความดันประมาณ 35 ซม.น้ำ

การตั้งเครื่องช่วยหายใจเมื่อเริ่มต้น (initial setting)

1. ให้ออกซิเจนความเข้มข้น 100%

2. ในผู้ป่วยทารกแรกเกิด ต้องตั้ง mean airway pressure (MAP) เหนือระดับ MAP ที่เคยใช้ในเครื่องช่วยหายใจแบบ conventional ventilation ประมาณ 2-3 ซม.น้ำ ส่วนผู้ป่วยเด็กโดยทั่วไปจะตั้ง MAP ที่ระดับ 4-8 ซม.น้ำ เหนือระดับเดิม

3. การตั้งอัตราการไหลของแก๊ส ในทารกคลอดก่อนกำหนด ควรตั้งไว้ที่ 10-15 ลิตร/นาที่ ในทารกที่คลอดครบ

กำหนด ควรตั้งไว้ที่ 10-20 ลิตร/นาที เด็กเล็ก ควรตั้งไว้ที่ 15-25 ลิตร/นาที และเด็กโตควรตั้งไว้ที่ 20-30 ลิตร/นาที

4. การตั้ง delta P (amplitude, Δ P)
โดยปกติ $Pa\ CO_2 \propto ความถี่ (f) \times TV^2$
 $TV \propto \Delta P \div f$ ดังนั้น $Pa\ CO_2 \propto \Delta P \div f$
โดยการตั้ง Δ P ปรับโดยใช้ power control
โดยการดูการสั่นของผนังทรวงอกให้เพียงพอ ในทารกแรก
เกิดปรับ power control = 2.0, ในผู้ป่วยเด็กปรับ power
control = 4.0

5. การตั้งความถี่ (f) ในการตั้ง HFOV ครั้งแรก จะ
ขึ้นกับน้ำหนักตัวของผู้ป่วย (ตารางที่ 2)

6. การปรับ % inspiratory time (Ti) ควรปรับไว้ที่
Ti = 33% การปรับ Ti ที่ 50% จะทำให้เกิดภาวะ air trapping
โดยเฉพาะถ้าใช้ MAP ต่ำๆ

ตารางที่ 2 การตั้ง frequency (f) ตั้งต้นของเครื่องช่วย
หายใจความถี่สูง โดยคิดจากน้ำหนักตัวของผู้ป่วย

น้ำหนักตัว (กก.)	f (Hz)
< 2	15
2-11	10
12-14	8
15-19	7
> 19	6

การปรับตั้งเครื่องช่วยหายใจ

1. ติดตามดูภาพรังสีทรวงอกหลังตั้ง MAP ไปแล้ว
ประมาณ 1 ชั่วโมง โดยพยายามให้ได้ความจุปอดที่เหมาะสม
ซึ่งวัดจากกระบังลมขวาทางด้านหลังประมาณ 8.5 ช่องซี่โครง
ในผู้ป่วยเด็กทารกแรกเกิด และ 9-10 ช่องซี่โครง ในเด็กโต
MAP ที่สูงอาจทำให้เลือดดำที่ไหลกลับสู่หัวใจ (venous
return) ลดลง แก้ไขโดยให้ NSS 20 มล./กก. ทางหลอดเลือด
ดำในระยะเวลา 15- 20 นาทีร่วมด้วย ถ้ามีความดันโลหิตต่ำ
หรือ desaturation จาก MAP ที่สูงขึ้น ให้ติดตามภาพรังสี
ทรวงอก จนกว่าความจุปอดจะเหมาะสม หลังจากนั้นติดตาม
ภาพรังสีทรวงอกทุกวัน เพื่อประเมินความจุปอดที่เหมาะสม
2. การเพิ่มความดันของแก๊สออกซิเจนในเลือดแดง
สามารถเพิ่ม oxygenation โดยการปรับเพิ่ม MAP ครั้งละ 1-2
ซม.น้ำ จนสามารถลดระดับ FiO_2 ลงมาน้อยกว่า 0.6 ได้

3. การแก้ไขปัญหาคความดันแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
ในเลือดแดงที่เพิ่มสูงขึ้น (hypercarbia) สามารถกระทำดังนี้
 - 3.1 เพิ่ม Δ P ครั้งละ 3 ซม.น้ำ จน power สูงสุด
 - 3.2 ลดความถี่ (frequency) ครั้งละ 0.5-1 Hz
 - 3.3 ปลดลมใน cuff รอบท่อหลอดลมคอออก
เล็กน้อยเพื่อทำให้มี leak รอบๆ ท่อหลอดลมคอ เพื่อช่วยกำจัด
 CO_2 แต่ควรปรับเพิ่ม flow rate เพื่อรักษาระดับ MAP ให้คงที่
 - 3.4 ตรวจเช็คตำแหน่งท่อหลอดลมคอให้อยู่ใน
ตำแหน่งที่พอเหมาะไม่ลึกหรือตื้นเกินไป ตำแหน่งที่เหมาะสม
สมควรอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของ trachea
 - 3.5 แก้ไขภาวะหลอดลมหดเกร็ง (broncho-
spasm) ด้วยการให้ยาขยายหลอดลมชนิดต่างๆ
 - 3.6 ดูดเสมหะที่ค้างในท่อหลอดลมคอออกให้หมด

ข้อควรทราบในผู้ป่วยที่ใช้ HFOV

1. การฟังเสียงหัวใจจะทำได้ยากหลังจากที่หยุด piston
ไม่ให้สั่น โดยผู้ป่วยจะอยู่ในภาวะทรวงอกไม่สั่น เหมือนอยู่ใน
continuous positive airway pressure (CPAP) ที่สูง
เมื่อตรวจเสียงหัวใจเสร็จ ให้เริ่มการสั่นใหม่
2. การย้ายผู้ป่วยจากเครื่อง HFOV ไปสู่การใช้
self-inflating bag (ambu bag) และ positive end
expiratory pressure (PEEP) ควรใช้ตัวหนีบจับ (clamp)
ที่มียางหุ้มหรือตัวหนีบจับพลาสติก หนีบไปที่ท่อหลอดลมคอ
เพื่อป้องกันภาวะ de recruitment
3. ถ้าทรวงอก 2 ข้างลดการสั่นลง ให้ตรวจสอบว่า
หลอดลมหรือท่อหลอดลมคามีการอุดตันหรือไม่
4. ถ้าทรวงอก 1 ข้าง ลดการสั่นลง อาจเกิดภาวะโพรง
เยื่อหุ้มปอดมีอากาศ (pneumothorax) หรือท่อหลอดลมคอ
อยู่ลึกเข้าไปในหลอดลมข้างใดข้างหนึ่ง ควรตรวจวินิจฉัยจาก
การดูภาพรังสีทรวงอกทันที
5. ไม่สามารถให้พ่นฝอยละออง (nebulization) ได้
ในขณะที่ใช้ HFOV
6. เนื่องจากเครื่อง Sensormedics ไม่มีอุปกรณ์ดักจับ
จุลินทรีย์ที่ expiratory valve เหมือนเครื่องช่วยหายใจทั่วๆ ไป
จึงไม่ควรใช้ในผู้ป่วยที่มีการติดเชื้อที่สามารถแพร่กระจายได้ง่าย
และเป็นอันตรายสูง เช่น severe acute respiratory syndrome
(SARS) หรือ bird flu สำหรับเครื่อง SLE 2000 มีอุปกรณ์
ดักจับจุลินทรีย์จึงสามารถนำมาใช้ในกรณีที่มีการติดเชื้อรุนแรงได้
7. การทำกายภาพบำบัด มีความจำเป็นน้อยเนื่องจาก
มี intra pulmonary percussion จาก HFOV อยู่แล้ว

8. ควรให้ความชื้นกับแก๊สให้เต็มที่ โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันเสมหะเหนียวและอุดตันท่อหลอดลมคอ

9. สามารถใช้แก๊ส nitric oxide ร่วมกับ HFOV ได้

การตรวจติดตามผู้ป่วยที่ใช้ HFOV (monitoring)

ควรตรวจติดตามสัญญาณชีพที่สำคัญต่างๆ ได้แก่ O_2 saturation, central venous pressure (CVP), arterial blood gases, vital signs, transcutaneous CO_2 หรือ end-tidal CO_2

การลด (wean) HFOV

ในด้าน oxygenation ควรลด FiO_2 ลงครั้งละ 0.05 ถ้า $PaO_2 > 80$ มม.ปรอท จน FiO_2 เท่ากับ 0.4-0.6 จากนั้นลด mean airway pressure (MAP) ลง ครั้งละ 1-2 ซม.น้ำ สำหรับด้าน ventilation ควรลด ΔP ครั้งละ 3-5 ซม.น้ำ พร้อมทั้งพิจารณาเปลี่ยน HFOV เป็น conventional ventilation เมื่อ mean airway pressure (MAP) ของ HFOV อยู่ที่ 15-20 ซม.น้ำ และ FiO_2 อยู่ที่ 0.4-0.6 และผู้ป่วยสามารถทนต่อการดูดเสมหะในท่อหลอดลมคอโดยไม่มี desaturation ควรตั้ง conventional ventilator ให้มี MAP น้อยกว่า MAP สุดท้ายของ HFOV ประมาณ 2 ซม.น้ำ ในทารกแรกเกิด และ 4-5 ซม.น้ำ ในเด็กทั่วไป โดย FiO_2 มักจะตั้งเท่าเดิมหรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

สรุป

การใช้เครื่องช่วยหายใจความถี่สูง (HFV) เป็นวิธีการช่วยหายใจ ที่ได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเครื่องช่วยหายใจที่ใช้กันอยู่ตามปกติ ในหลายโรค หรือหลายภาวะ อย่างไรก็ตามแพทย์ผู้เลือกใช้การรักษาผู้ป่วยด้วยวิธีนี้ ต้องมีความเข้าใจในหลักการของเครื่องช่วยหายใจ การคัดเลือกผู้ป่วย การตั้งเครื่อง การตรวจติดตาม และข้อควรระวัง จึงจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีแก่ผู้ป่วย

เอกสารอ้างอิง

1. Froese AB, Bryan AC. High-frequency ventilation. *Am Rev Respir Dis* 1987; 135: 1363-74.
2. Haselton FR, Scherer PW. Bronchial bifurcations and respiratory mass transport. *Science* 1980; 208: 69-71.
3. Lehr JL, Butler JP, Westerman PA. Photographic measurement of pleural surface motion during lung oscillation. *J Appl Physiol* 1985; 59: 623-33.
4. Fredberg JJ. Augmented diffusion in the airways can support pulmonary gas exchange. *J appl physiol* 1980; 49: 232-8.
5. Courtney SE, Durand DJ, Asselin JM, Hudak ML, Aschner JL, Shoemaker CT. High-frequency oscillatory ventilation versus conventional mechanical ventilation for very-low-birth-weight infants. *N Engl J Med* 2002; 347: 643-52.
6. Desfrere L, Jarreau PH, Dommergues M. Impact of delayed repair and elective high-frequency oscillatory ventilation on survival of antenatally diagnosed congenital diaphragmatic hernia: first application of these strategies in the more "severe" subgroup of antenatally diagnosed newborns. *Intensive Care Med* 2000; 26: 934-41.
7. Cacciari A, Ruggeri G, Mordenti M. High-frequency oscillatory ventilation versus conventional mechanical ventilation in congenital diaphragmatic hernia. *Eur J Pediatr Surg* 2001; 11: 3-7.
8. Arnold JH, Hanson JH, Toro-Figuero LO, Gutierrez J, Berens RJ, Anglin DL. Prospective, randomized comparison of high-frequency oscillatory ventilation and conventional mechanical ventilation in pediatric respiratory failure. *Crit Care Med* 1994; 22: 1530-9.
9. Kinsella JP, Truog WE, Walsh WF. Randomized, multicenter trial of inhaled nitric oxide and high-frequency oscillatory ventilation in severe, persistent pulmonary hypertension of the newborn. *J Pediatr* 1997; 131: 55-62.
10. Clark RH, Gerstmann DR, Null DM. Pulmonary interstitial emphysema treated by high-frequency oscillatory ventilation. *Crit Care Med* 1986; 14: 926-30.