

## 19

## Mechanical Ventilation in Children

### การใช้เครื่องช่วยหายใจในเด็ก

จิตลัดดา ดีโรจนวงศ์

จุดมุ่งหมายที่สำคัญของการใช้เครื่องช่วยหายใจมี 4 ประการ<sup>1,2</sup> ได้แก่

1. เพื่อให้มี alveolar ventilation ที่เพียงพอ
2. เพื่อให้มี oxygenation ที่เพียงพอ
3. เพื่อลด work of breathing
4. ให้บรรลุลักษณะประสงคทั้ง 3 ข้อข้างต้นโดยมีผลข้างเคียงน้อยที่สุด

ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องช่วยหายใจชนิดใหม่ๆ เพิ่มขึ้นมากมาย แต่ผลการใช้เครื่องช่วยหายใจส่วนใหญ่จะขึ้นกับพยาธิสภาพของปอด และความสามารถของแพทย์ในการเลือกใช้เครื่องช่วยหายใจ และปรับการช่วยหายใจให้เหมาะสมกับพยาธิสรีรวิทยาของโรค รวมทั้งการเฝ้าระวังและแก้ไขภาวะต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นขณะช่วยหายใจ

ความหมายของคำต่างๆ ที่ใช้อธิบายการทำงานของเครื่องช่วยหายใจ<sup>3</sup>

#### 1. Trigger

คือ การเริ่มต้นการช่วยหายใจด้วยแรงดันบวก หรือการเริ่ม inspiratory phase สามารถแบ่งออกได้เป็น

- **Machine trigger**

คือ การเริ่มต้น inspiratory phase โดยเครื่องช่วยหายใจเป็นฝ่ายเริ่มทำงานเพื่อให้ mandatory breath ตามเวลาที่กำหนดไว้ ได้แก่ การทำงานของเครื่องช่วยหายใจใน CMV mode (controlled mandatory ventilation) และ IMV mode (intermittent mandatory ventilation)

- **Patient trigger**

คือ การเริ่มต้น inspiratory phase โดยผู้ป่วยเป็นฝ่ายกระตุ้นให้เครื่องช่วยหายใจทำงาน ซึ่งโดยมาก trigger sensor มักเป็น pressure sensor คือ เครื่องจะช่วยทำงานเมื่อความดันที่ proximal airway ลดลงจาก baseline จนถึงค่าที่กำหนดไว้ (sensitivity) โดยทั่วไปมักตั้งค่าให้น้อยที่สุดเท่าที่เครื่องจะทำงานได้โดยไม่ทำให้เกิด autocycling (ประมาณ -1 ถึง -2 ซม.น้ำ) การตั้ง trigger ค่าสูงๆ ใน assist/control (A/C) mode

เพื่อให้ทำงานเป็น control mode เป็นสิ่งไม่ควรทำ เพราะอาจเกิดอันตรายแก่ผู้ป่วย

เครื่องช่วยหายใจรุ่นใหม่นิยมใช้ flow sensor เป็นกลไกในการรับรู้การเริ่มต้นหายใจเข้าของผู้ป่วยและ trigger ให้เครื่องทำงานเมื่อมีความแตกต่างของอัตราการไหลของก๊าซใน inspiratory และ expiratory limb ตามค่าที่กำหนดไว้ (ประมาณ 1-3 ลิตร/นาที ในผู้ใหญ่ และ 0.3-1 ลิตร/นาที ในเด็ก) ข้อดีของ flow trigger อยู่ที่ time delay ของ gas flow น้อยกว่าส่งผลช่วยให้ลด work of breathing

## 2. Demand valve

คือ one-way valve ที่จะปล่อยก๊าซจากเครื่องได้ถ้ามีการกระตุ้นจากผู้ป่วยในลักษณะเดียวกับ trigger แต่ demand valve จะทำงานในช่วงที่เป็น spontaneous breath โดยปล่อยก๊าซให้ผู้ป่วยหายใจด้วยตนเอง และเมื่อสิ้นสุดการหายใจเข้า เริ่มหายใจออก แรงดันในวงจรสูงขึ้น demand valve จะปิด

Demand valve ในเครื่องช่วยหายใจที่จะต้องเบา และเปิดให้ก๊าซเข้าทันที เมื่อผู้ป่วยออกแรงหายใจเพียงเล็กน้อย (delay time สั้น) ถ้า demand valve หนักหรือมีแรงต้านในวงจร จะทำให้การหายใจด้วยตนเองต้องออกแรงมากขึ้น

## 3. Limit

คือ การควบคุมค่า preset ไม่ให้เกินกว่าที่ตั้งไว้ แต่ไม่มีผลต่อ inspiratory time ได้แก่ pressure limited ใน infant ventilator ความดันที่สูงกว่าค่าที่ตั้งไว้จะถูกระบายออกทาง pop-off valve โดยไม่มีผลต่อ cycle ของการช่วยหายใจ

## 4. Cycle

คือ การสิ้นสุดการหายใจเข้าเมื่อถึงค่าที่กำหนดไว้ แบ่งเป็น

### 4.1 Time cycle

หมายถึง การใช้ inspiratory time เป็นตัวกำหนดการสิ้นสุดการหายใจเข้า พบได้ใน infant ventilator รวมทั้งเครื่องช่วยหายใจชนิดใหม่ๆ ทั้ง volume และ pressure preset ventilator

### 4.2 Volume cycle

หมายถึง การใช้ preset tidal volume เป็นตัวกำหนดการสิ้นสุดของการหายใจเข้า ซึ่งพบใน Bennett MA 1, volume cycle ใน Bird VIP และ Bear volume ventilator

### 4.3 Pressure cycle

หมายถึง การใช้ pressure เป็น primary cycle ในการสิ้นสุดการหายใจเข้า ตัวอย่างเช่น Bird ventilator ซึ่งเป็นเครื่องช่วยหายใจที่นิยมใช้น้อยในปัจจุบัน นอกจากนั้น pressure cycle ยังใช้เป็น secondary cycle ในเครื่องช่วยหายใจส่วนใหญ่ทั้ง volume และ pressure preset เพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจาก airway pressure ที่สูงขึ้นกะทันหันจากสาเหตุต่างๆ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยของผู้ป่วย การทำงานของ pressure cycle ในกรณีเช่นนี้ ผู้ป่วยจะไม่ได้ mandatory breath ตามที่ตั้งไว้ แต่ expiratory valve จะเปิดก่อน เพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากความดันที่สูงเกิน upper pressure limit ที่ตั้งไว้

### 4.4 Flow cycle

หมายถึง การใช้ flow rate เป็นตัวกำหนดการสิ้นสุดการหายใจเข้า โดยเมื่ออัตราไหลของ inspiratory gas ลดลงจนถึงจุดที่กำหนดตัวช่วยหายใจออกจะเปิดออก ตัวอย่าง คือ ใน Pressure support mode

## ชนิดของเครื่องช่วยหายใจในเด็ก

แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่

1. Continuous flow ventilators (Infant ventilator)
2. Demand flow ventilators

### Continuous Flow Ventilators (Infant ventilator)<sup>1, 4-7</sup>

เป็นเครื่องช่วยหายใจที่ใช้กันแพร่หลายในเด็กแรกเกิดและเด็กเล็ก (น้ำหนักน้อยกว่า 10-15 กิโลกรัม) ได้แก่ Bear cub, Bourne, Sechrist, Babybird, Infant star และ Newport Breeze เป็นต้น การทำงานของเครื่องช่วยหายใจในกลุ่มนี้จัดเป็น “time-cycled, pressure-limited ventilator”

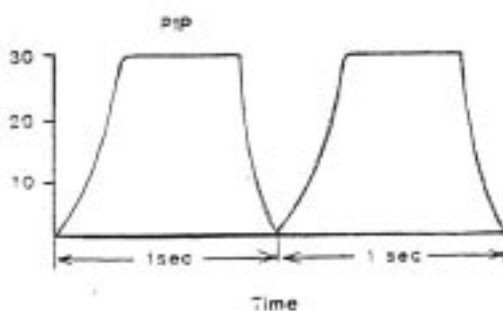
#### หลักการทำงาน

เป็นเครื่องช่วยหายใจที่มีองค์ประกอบง่ายๆ ไม่ซับซ้อน ประกอบด้วยแหล่งจ่ายก๊าซที่ปล่อยก๊าซให้แก่ผู้ป่วยตลอดเวลา โดยมีปุ่มปรับ flow rate ให้มากขึ้นตามต้องการ มี inspiratory limb และ expiratory limb นำก๊าซเข้า-ออกจากผู้ป่วย

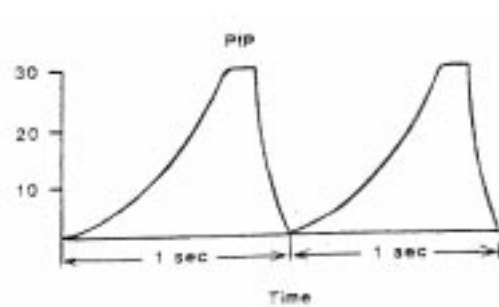
ที่ expiratory limb จะมี expiratory valve ทำหน้าที่ปิดกั้นทางออกของก๊าซ ทำให้ความดันในระบบสูงขึ้น และดันก๊าซเข้ายังผู้ป่วยเป็นระยะๆ ตามการปิด-เปิดของวาล์ว โดยในเครื่องจะมี pop-off valve ทำหน้าที่ปล่อยก๊าซส่วนเกินออกจากวงจร (circuit) เพื่อควบคุมความดันในระบบไม่ให้สูงเกิน peak inspiratory pressure (PIP) ที่ตั้งไว้ นอกจากนี้ยังมี PEEP valve เพื่อควบคุมการไหลออกของก๊าซให้ยากขึ้น ทำให้เกิดการช่วยหายใจในลักษณะของ PEEP ด้วยขณะหายใจออก

ผู้ใช้สามารถควบคุมการทำงานของ expiratory valve โดยกำหนดระยะเวลาปิด (inspiratory time) ตามที่ต้องการ จึงจัดเป็นเครื่องชนิด time-cycled และเนื่องจากการทำงานเป็นลักษณะ pressure preset สามารถกำหนด PIP ในแต่ละ cycle ได้ ดังนั้น tidal volume ที่ได้แต่ละครั้งจึงไม่คงที่ ขึ้นกับ compliance ของปอด ถ้า compliance ของปอดต่ำ ก๊าซจะไหลเข้าปอดน้อย และรั่วออกจากวงจรมากขึ้น ทำให้ได้ tidal volume ลดลง

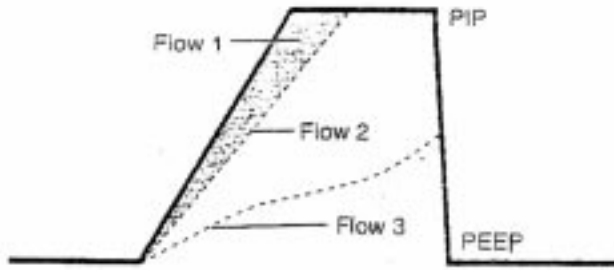
ในเครื่องช่วยหายใจกลุ่มนี้ pressure waveform และ tidal volume ที่ได้ยังขึ้นกับระดับของ flow rate ที่ตั้ง ถ้าตั้ง flow สูง ความดันในระบบจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และเกิด pressure plateau เมื่อถึง peak inspiratory pressure จนสิ้นสุด inspiratory time ที่ตั้งไว้ ทำให้ pressure waveform มีลักษณะเป็น square wave ในขณะที่หากตั้ง flow rate ต่ำลง ความดันจะค่อยๆ เพิ่ม ทำให้มีลักษณะเป็น sine wave และถ้าเปิด flow rate ต่ำเกินไปความดันอาจไม่ถึงระดับที่เราต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 1, 2 และ 3



ภาพที่ 1 แสดง square wave ซึ่งเกิดจาก high flow



ภาพที่ 2 แสดง sine wave ที่เกิดจาก low flow



**ภาพที่ 3** เปรียบเทียบ pressure wave form ที่เกิดจาก flow ระดับต่างๆ Flow1 แทน high flow ซึ่งทำให้ระดับ pressure สูงถึง PIP โดยเร็ว Flow 2 แสดง low flow และ Flow 3 แสดง flow ที่ไม่เพียงพอ ทำให้ระดับ PIP ไม่สูงเท่าที่ต้องการ พื้นที่ใต้กราฟที่แรเงาแสดงความแตกต่างของ mean airway pressure ระหว่าง flow ทั้ง 2 ระดับ<sup>1</sup>

การที่เครื่องจ่ายก๊าซให้แก่ผู้ป่วยในลักษณะ continuous flow ทำให้ผู้ป่วยสามารถหายใจได้เอง และมีก๊าซเข้าปอดตาม que ผู้ป่วยหายใจ แม้ในขณะที่ไม่มีแรงดันก๊าซเข้าปอด (expiratory valve เปิด) นอกจากนั้นการที่เครื่องจ่ายก๊าซตลอดเวลา จะทำให้ไม่มีการคั่งของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือเกิด rebreathing ในขณะที่ผู้ป่วยหายใจเอง

## การตั้งเครื่องช่วยหายใจ

**Infant ventilator มี parameter ที่สำคัญดังต่อไปนี้**

### 1. FiO<sub>2</sub> (Fractional inspired oxygen)

ในผู้ป่วยที่มีภาวะพร่องออกซิเจนในเลือดมักเริ่มด้วยการตั้งค่า FiO<sub>2</sub> เท่ากับ 1 และปรับลดลงให้เหมาะสมเมื่อผู้ป่วยมีอาการทรงตัวแล้ว โดยพยายามให้ค่า FiO<sub>2</sub> ที่ต่ำสุดโดยมีระดับออกซิเจนที่เพียงพอ คือ PaO<sub>2</sub> ประมาณ 60-100 มม.ปรอทในเด็กเล็ก และ 50-70 มม.ปรอทในทารก เพื่อหลีกเลี่ยง oxygen toxicity โดยทั่วไปถือว่าการค่า FiO<sub>2</sub> ที่ 0.4 เป็นระดับที่ค่อนข้างปลอดภัย

### 2. Flow

เนื่องจาก flow rate มีผลต่อ pressure waveform ดังได้กล่าวแล้ว ในผู้ป่วยที่มี lung compliance ต่ำ ต้องใช้อัตราการหายใจเร็ว และต้องการให้ pressure ขึ้นสูงในระยะเวลานั้น จำเป็นต้องใช้ flow rate ค่อนข้างสูง แต่มีข้อเสียคือ อาจเพิ่มโอกาสเกิด barotrauma นอกจากนี้ continuous flow ที่สูงในช่วง expiratory phase จะไปเพิ่ม resistance ในการหายใจออกจากผู้ป่วย<sup>1</sup> การเปลี่ยนแปลง flow rate จะยังมีผลต่อ expiratory resistance มากขึ้นในเด็กที่ใช้ท่อช่วยหายใจขนาดเล็ก

Flow rate ที่ต่ำมีข้อดีในการให้ pressure waveform เป็น sine wave ซึ่งเป็นลักษณะปกติของการหายใจในเด็ก มีโอกาสเกิด barotrauma น้อย แต่ flow rate ที่ต่ำไปอาจทำให้ PIP ไม่สูงตามที่ตั้งไว้ และเกิดการคั่งของคาร์บอนไดออกไซด์ได้ โดยทั่วไป flow rate ที่ต่ำสุดควรเป็น 2 เท่าของ minute ventilation<sup>1,7</sup> หรือ ประมาณ 1 ลิตร/นาที ต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม แต่มักไม่น้อยกว่า 5 ลิตร/นาที

ในทางปฏิบัติอาจค่อยๆ เพิ่ม flow rate จนได้ PIP สูงกว่าที่ต้องการเล็กน้อยในเวลา inspiratory time ที่กำหนดและหมุนปรับ pressure limited ให้ได้ PIP ตามที่ต้องการ<sup>1</sup>

### 3. PIP (Peak inspiratory pressure)

ระดับ PIP ที่เหมาะสมสังเกตได้จากการยกตัวขึ้นของทรวงอก (chest movement) และการฟังเสียงหายใจ ในเด็กมักเริ่มที่ 18-20 ซม.น้ำ ระดับของ PIP จะเป็นสิ่งที่บอกถึงขนาด tidal volume ที่ให้แก่ผู้ป่วย ซึ่ง

จะต้องปรับตามอายุครรภ์ อายุหลังคลอด (กรณีทารกแรกเกิด) ชนิดและความรุนแรงของโรค โรคที่มี lung compliance ต่ำ หรือ airway resistance สูง จะต้องการ PIP ที่สูง แต่เนื่องจากระดับ PIP ที่สูงจะทำให้โอกาสเกิด barotrauma เพิ่มขึ้น ดังนั้น การตั้ง PIP จึงควรตั้งให้น้อยที่สุดที่จะมี adequate ventilation และต้องระวังถึงเสมอว่าในเด็กที่มีปอดแฟบ (atelectasis) ค่า compliance ของปอดอาจเพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็วเมื่อพยาธิสภาพของปอดดีขึ้น ดังนั้น ระดับ PIP ที่ตั้งไว้เดิมอาจทำให้ได้ tidal volume ที่เพิ่มมากขึ้นและเกิด pneumothorax ได้ จึงต้องเฝ้าระวังการเปลี่ยนแปลงอย่างใกล้ชิด

#### 4. PEEP (Positive end expiratory pressure)

เนื่องจากขณะใส่ท่อช่วยหายใจผู้ป่วยจะสูญเสีย physiologic PEEP ที่เกิดจากการปิดของกล่องเสียง ดังนั้นจึงควรตั้งค่า PEEP ไว้ที่ 2-3 ซม.น้ำ เพื่อเป็นการชดเชย การตั้งระดับ PEEP ที่เหมาะสม (สูงขึ้น) ในผู้ป่วยที่มีค่า lung compliance ต่ำจะช่วยเพิ่ม functional residual capacity ส่งผลให้การแลกเปลี่ยนก๊าซดีขึ้น โดยทั่วไปการตั้งค่า PEEP ในเด็กเล็กจะอยู่ระหว่าง 3-7 ซม.น้ำ การตั้ง PEEP ที่สูงกว่า 8 ซม.น้ำ จะต้องคอยระวังผลต่อ venous return และ cardiac output รวมทั้งโอกาสที่จะเกิด barotrauma ด้วย นอกจากนี้ใน infant ventilator การเพิ่ม PEEP โดยไม่เพิ่ม PIP ยังอาจทำให้ tidal volume ลดลงได้ เนื่องจากผลต่างของ PIP และ PEEP ซึ่งเป็นตัวกำหนด tidal volume มีค่าลดลง

#### 5. Rate

มักตั้งตามอัตราการหายใจของผู้ป่วย และความต้องการออกซิเจนในขณะนั้น ในเด็กเล็กมักนิยมตั้งที่ 40-50 ครั้ง/นาที เพื่อให้ได้ minute ventilation ที่พอเพียง โดยมี PIP ที่ค่อนข้างต่ำ เมื่อมีอาการดีขึ้นจึงค่อยๆ ลด rate ลงให้ผู้ป่วยหายใจเองสลับกับเครื่องช่วยหายใจ

#### 6. Inspiratory time (Ti)

การตั้ง Ti ต้องคำนึงถึง time constant ซึ่งเป็นผลคูณของ compliance และ resistance ของผู้ป่วย ในโรคที่มีค่า lung compliance ต่ำ และ time constant สั้น จะสามารถตั้งเครื่องช่วยหายใจให้มี Ti สั้น และมีอัตราการหายใจสูง แต่ในโรคที่มี airway resistance สูง time constant ยาว ต้องใช้ inspiratory และ expiratory time ที่เพิ่มขึ้น เพื่อป้องกัน air trapping โดยทั่วไปในเด็กเล็กนิยมตั้ง Ti ประมาณ 0.5-0.7 วินาที<sup>7</sup>

ใน infant ventilator บางชนิด ไม่สามารถตั้ง Ti โดยตรง ต้องกำหนด Ti โดยการตั้ง rate และ I/E ratio ในช่วง acute stage ซึ่งมักใช้ rate สูง ต้องตั้ง I/E ratio สูง (1:1-1:1.5) เมื่ออาการดีขึ้น ลด rate ลง จะต้องลด I/E ratio ลงด้วยให้สัมพันธ์กับ rate เพื่อให้ได้ Ti คงเดิม

ตารางที่ 1 แนวทางการเริ่มตั้งเครื่องช่วยหายใจชนิด infant ventilator<sup>1,4,7</sup>

| ภาวะ  | PIP (ซม.น้ำ) | PEEP (ซม.น้ำ) | Rate (ครั้ง/นาที) | Inspiratory time (วินาที) | Flow (ลิตร/นาที) |
|---|--------------|---------------|-------------------|---------------------------|------------------|
| Apnea (normal lung)                             | 12-18        | 2-3           | 10-20             | 0.4-0.5                   | 5-8              |
| Respiratory distress syndrome (RDS)             | 20-22        | 4-6           | 40-60             | 0.4-0.5                   | 5-8              |
| Meconium aspiration with pulmonary hypertension | 30-40        | 3-4           | 60-100            | 0.25-0.35                 | 8-12             |

## Demand Flow Ventilators<sup>8-15</sup>

เป็นกลุ่มเครื่องช่วยหายใจที่ใช้ในเด็กโตและผู้ใหญ่ ได้แก่ Bennett 7200, Bear 5, Servo 900C, Servo 300, Hamilton Veolar, VIP Bird, Newport Wave เป็นต้น

เครื่องช่วยหายใจกลุ่มนี้จะจ่ายก๊าซให้แก่ผู้ป่วยเฉพาะเวลาที่มีการกระตุ้น (trigger) เท่านั้น ซึ่งการกระตุ้นนี้อาจเกิดจากตัวเครื่องเอง (machine trigger) โดยการที่ผู้ใช้ตั้งอัตราการหายใจให้เครื่องช่วยหายใจตามเวลาที่กำหนดเป็นจำนวนครั้งต่อนาที หรือเกิดจากการที่ผู้ป่วยกระตุ้น (patient trigger) ให้เครื่องจ่ายก๊าซเมื่อเริ่มหายใจเข้าเป็น assist ventilation ซึ่งสามารถปรับตั้งความไวในการตอบสนองต่อการ trigger ของผู้ป่วย โดยการตั้ง sensitivity

การใช้เครื่องช่วยหายใจกลุ่มนี้ในเด็กอาจมีปัญหาที่ trigger sensitivity หรือ ความไวของ demand valve ไม่พอเพียง ทำให้เด็กต้องใช้แรงมากในการ trigger และเปิด demand valve จึงอาจใช้เป็น assist ventilation ในเด็กเล็กไม่ได้ เครื่องช่วยหายใจรุ่นใหม่ ๆ บางชนิด เช่น Servo 300, Newport จึงแก้ไขปัญหานี้โดยให้มี base flow ไหลอยู่ตลอด หรือใช้ flow trigger ที่ไวต่อการกระตุ้นมากกว่า pressure trigger จึงสามารถใช้ได้ตั้งแต่เด็กถึงผู้ใหญ่

การทำงานของเครื่องช่วยหายใจในกลุ่มนี้ อาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

### 1. Volume preset

คือ เครื่องช่วยหายใจที่ควบคุม volume ให้คงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงไปตาม compliance หรือ resistance ของระบบ กลไกการทำงานอาจเป็น volume cycle คือ จุดสิ้นสุดของการหายใจถูกกำหนดโดยปริมาตรที่ให้ หรือเป็น volume control โดยที่เครื่องจะวัดปริมาตรที่เกิดขึ้นและใช้ปริมาตรนั้นคุม volume waveform ให้คงที่ในทุก cycle ไม่ว่าแรงต้านในระบบจะเปลี่ยนแปลงไปเช่นใด ดังนั้นในการช่วยหายใจชนิดนี้จึงได้ปริมาตรที่คงที่ แต่ pressure ที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปตาม compliance และ resistance ของระบบ

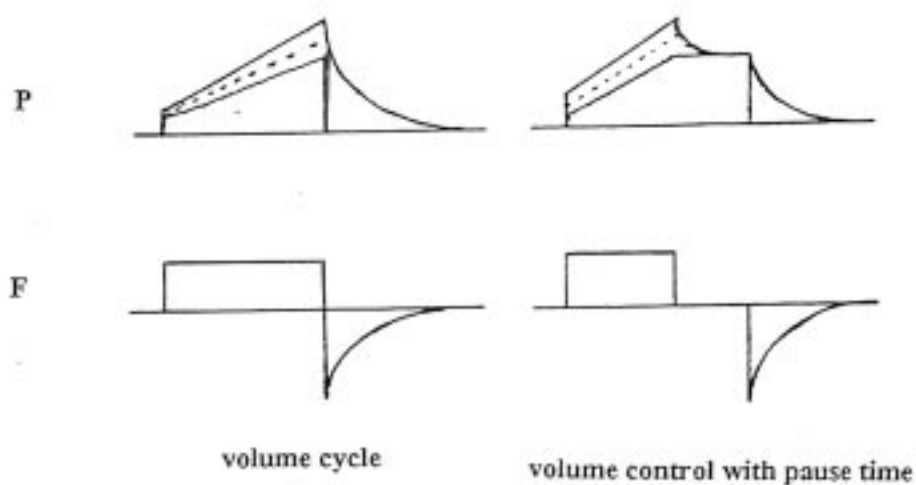
โดยทั่วไปใน volume ventilator เครื่องจะจ่ายก๊าซให้แก่ผู้ป่วยในลักษณะ constant flow ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับ tidal volume และ inspiratory time คือ

$$\text{flow} = \frac{\text{tidal volume ที่เครื่องให้}}{\text{inspiratory time}}$$

ดังนั้นถ้าเพิ่ม flow โดยกำหนดให้ tidal volume คงที่ inspiratory time จะสั้นลง ใน volume ventilator ชนิดใหม่ๆ ซึ่งใช้ microprocessor จะสามารถกำหนด waveform แบบต่างๆ ได้โดยอาจกำหนดเป็น square, sinusoidal, accelerating ramp หรือ decelerating ramp การทำงานในเครื่องชนิดเหล่านี้มักเป็น volume controlled, time-cycled โดยเครื่องจะคำนวณและกำหนด flow ให้โดยอัตโนมัติ ผู้ใช้เพียงกำหนด tidal volume, respiratory rate (หรือ minute volume), inspiratory time (I:E ratio) เท่านั้น

### End-inspiratory plateau

Volume ventilator ชนิด volume cycle ซึ่งใช้ inspiratory volume เป็นตัวกำหนดการปิด-เปิด expiratory valve จะไม่สามารถตั้ง end inspiratory plateau แต่ใน volume ventilator รุ่นใหม่ที่ควบคุมการทำงานด้วย microprocessor จะสามารถตั้ง end-inspiratory plateau ได้จาก pause time ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ inspiratory flow ล้นสุดแล้วแต่ expiratory valve ยังไม่เปิด ทำให้ได้ pressure wave form ที่มี end-inspiratory plateau ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบ pressure และ flow waveform ใน volume cycle และ volume controlled with pause time

การตั้ง end inspiratory plateau ใน volume control mode นี้ peak alveolar pressure จะยังคงที่ แต่มีผลให้ MAP เพิ่มขึ้น ทำให้ distribution ของก๊าซดีขึ้นและมี oxygenation ที่ดีขึ้นได้

อย่างไรก็ตาม การเพิ่ม inspiratory plateau จะต้องระวังไม่ให้ expiratory time สั้นจนเกินไป เพราะอาจเกิด air trapping หรือ auto PEEP ได้ ผลของ auto-PEEP ใน volume ventilation จะมีผลทำให้ PIP และ peak alveolar pressure เพิ่มขึ้น และมีโอกาสเกิด barotrauma เพิ่มขึ้นได้

นอกจากนั้นการตั้ง pause time ในผู้ป่วยเด็กอาจไม่ได้ end-inspiratory plateau ตามที่ต้องการเนื่องจากท่อช่วยหายใจในผู้ป่วยเด็กมักไม่มี cuff ระดับ plateau pressure จึงมักลดลงจากการรั่วของลมรอบท่อช่วยหายใจ

#### Compliance และ volume loss<sup>8,11</sup>

แม้ว่าโดยทฤษฎีแล้ว volume ventilator จะให้ tidal volume ที่คงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตาม compliance หรือ resistance ของระบบหายใจ แต่ในทางปฏิบัติแล้ว tidal volume ที่ผู้ป่วยได้จริงจะขึ้นกับ compliance ของเครื่องช่วยหายใจและผู้ป่วย ดังสมการ

$$\frac{VT}{VS} = \frac{1}{1 + \frac{Cm}{Cp}}$$

เมื่อ VT = tidal volume delivered; VS = volume set on machine; Cm = compliance of the machine; และ Cp = compliance of the patient

ดังนั้น tidal volume ที่ให้แก่ผู้ป่วยจะใกล้เคียงกับที่ตั้งไว้ถ้า compliance ของเครื่องช่วยหายใจน้อยมาก เมื่อเทียบกับ compliance ของผู้ป่วย เช่น การใช้ volume ventilator ในผู้ใหญ่ซึ่ง compliance ของเครื่องช่วยหายใจผู้ใหญ่โดยทั่วไปประมาณ 2-4 มล/ซม.น้ำ ในขณะที่ compliance ของปอดผู้ใหญ่ทั่วไปมากกว่า 40 มล/ซม.น้ำ ค่า volume ที่เสียไปกับ compliance ของเครื่องจึงน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณ tidal volume ที่ผู้ป่วยได้รับ

แต่ในเด็กเล็กจำเป็นต้องคำนึงถึง volume ที่เสียไปกับ compliance ของเครื่องช่วยหายใจด้วยเสมอ โดยเฉพาะเมื่อช่วยหายใจในเด็กเล็กที่มี compliance ต่ำ การคำนวณ effective tidal volume ที่ผู้ป่วยได้รับจริงทำได้โดย

$$V_{\text{Teff}} = V_{\text{Tset}} - [(plateau\ pressure - PEEP) \times compliance\ \text{เครื่อง}]$$

เมื่อ  $V_{\text{Teff}}$  = effective tidal volume,  $V_{\text{Tset}}$  = tidal volume set on ventilator

Compliance ของเครื่องหาได้จากการต่อวงจรเครื่องช่วยหายใจให้พร้อมที่จะใช้และกำหนด tidal volume ที่ต้องการ อดปลายเครื่องช่วยหายใจที่จะต่อกับผู้ป่วย แล้วอ่านค่า pressure ที่เกิดขึ้น นำมาแทนค่าในสมการ

$$\text{Compliance ของเครื่อง} = \frac{\text{tidal volume ที่กำหนด}}{\text{pressure ที่อ่านได้}}$$

โดยทั่วไป compliance ของเครื่องช่วยหายใจที่เหมาะสมไม่ควรเกินร้อยละ 10 ของ compliance ของผู้ป่วย การใช้สายวงจรช่วยหายใจขนาดเล็กและ water traps ที่มีปริมาตรน้อย จะช่วยให้ compliance ของเครื่องลดลง โดยทั่วไป compliance ของเครื่องช่วยหายใจในเด็กจะประมาณ 1-2 มล/ซม.น้ำ

## 2. Pressure preset

คือ เครื่องช่วยหายใจที่ให้ pressure waveform ตามที่กำหนดไว้ในทุกครั้งของการหายใจ ส่วน tidal volume ที่ได้จะเปลี่ยนแปลงไปตาม compliance และ resistance ของผู้ป่วยและเครื่องช่วยหายใจ

เครื่องช่วยหายใจชนิด pressure นี้ อาจแบ่งกลไกการทำงานได้เป็น

### 2.1 Pressure cycle

คือ จุดสิ้นสุดการหายใจถูกกำหนดโดย PIP ที่ตั้งไว้ โดย flow ในเครื่องชนิดนี้จะเป็น constant flow และเป็นตัวกำหนด inspiratory time เมื่อ flow สูง inspiratory time จะสั้น เพราะ PIP ถึงจุดที่ตั้งได้เร็ว เครื่องช่วยหายใจที่ใช้กลไกนี้ได้แก่ Bird ventilator ซึ่งไม่นิยมใช้ในเด็ก

### 2.2 Pressure limited-time cycle

คือ จุดสิ้นสุดการหายใจถูกกำหนดโดยเวลาที่ตั้ง และใช้ pressure relief valve เป็นตัวปรับ peak airway pressure ให้คงที่ flow waveform ในเครื่องชนิดนี้มักเป็น constant flow และผู้ใช้จะต้องเป็นผู้กำหนด flow rate เพื่อให้ได้ pressure waveform ในลักษณะต่างๆดังกล่าวแล้วใน infant ventilator

### 2.3 Pressure controlled ventilator (PCV)

เป็น mode การช่วยหายใจที่มีในเครื่องช่วยหายใจรุ่นใหม่ที่ใช้ microprocessor ควบคุมการทำงาน การช่วยหายใจที่จัดเป็น PCV จะต้องมี flow waveform เป็น exponential decelerating flow เพื่อให้ได้ pressure waveform เป็น square wave และมีความดันคงที่ตลอด cycle การหายใจ ในการช่วยหายใจชนิดนี้ ผู้ใช้จะเป็นผู้กำหนด PIP และ inspiratory time แต่ไม่สามารถกำหนด flow ที่จะให้แก่ผู้ป่วย เครื่องช่วยหายใจจะกำหนด peak flow ตาม respiratory impedance (compliance and resistance) และ inspiratory need ของผู้ป่วย จากนั้น flow ที่ให้จะลดลงแบบ exponential เพื่อรักษาระดับความดันให้คงที่ตามที่ผู้ใช้ตั้งไว้ในระยะเวลา inspiratory time ที่กำหนด การลดลงของ flow นี้จะช้าหรือเร็วขึ้นกับ PIP ที่ตั้งและ respiratory impedance ของผู้ป่วย ถ้า PIP ต่ำและ respiratory impedance สูง flow จะลดลงอย่างรวดเร็ว ในทางตรง

กันข้ามถ้า PIP สูงและ respiratory impedance ต่ำ flow จะลดลงซ้ำ

ผลการศึกษาต่างๆ พบว่า decelerating flow ใน PCV มีผลดีหลายประการ ได้แก่

1) Variable and adequate flow rate การที่ไม่กำหนด flow waveform ที่คงที่ แต่เปลี่ยนแปลงตามความต้องการของผู้ป่วย จะทำให้ผู้ป่วยรู้สึกสบาย หายใจเข้ากับเครื่องได้ดี และใช้ งานในการหายใจน้อย

2) ให้ MAP ที่สูงสุดด้วย peak alveolar pressure ที่ต่ำกว่า ทำให้ oxygenation ดีขึ้น แต่ MAP ที่สูงขึ้นจะมีผลลดการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือดด้วย ทั้งนี้ขึ้นกับ lung compliance โดยถ้า lung compliance ต่ำ ความดันในทรวงอกจะไม่สูงมากจึงมีผลต่อระบบหัวใจและหลอดเลือดไม่มากนัก

3) ทำให้ lung mechanics และ gas exchange ดีขึ้น พบว่า PCV จะลด dead space ventilation ทำให้ compliance ดีขึ้น และใช้ minute ventilation ลดลง

## การตั้งเครื่อง Pediatric ventilators

มีหลักการดังนี้

### 1. เลือก mode (CMV, A/C, SIMV, PSV)

ขึ้นกับผู้ป่วยและจุดมุ่งหมายในการใช้เครื่องช่วยหายใจในขณะนั้น โดยมากในระยะแรกมักเลือก CMV เป็น full support เพื่อควบคุมการแลกเปลี่ยนก๊าซให้ได้ตามต้องการและลดงานในการหายใจ CMV Mode ของเครื่องช่วยหายใจทั่วไปมักทำหน้าที่เป็น A/C mode ด้วย ขึ้นกับ trigger sensitivity ที่ตั้ง โดยทั่วไปมักตั้งประมาณ 1-2 ซม.น้ำ เพื่อไม่ให้ผู้ป่วยต้องใช้งานในการหายใจมากไป ในกรณีของ weaning จึงเลือก mode SIMV หรือ pressure support หรือใช้ร่วมกันทั้ง 2 mode

### 2. FiO<sub>2</sub> เช่นเดียวกับ infant ventilator

### 3. Tidal volume หรือ pressure

#### 3.1 Tidal volume

ขนาดของ tidal volume ที่ตั้งขึ้นกับชนิดของความผิดปกติของปอด โดยทั่วไปการใช้ tidal volume ในขนาด 10 มล/กก.เพียงพอสำหรับปอดทั่วไป แต่ในผู้ป่วยที่มี lung compliance ต่ำ หรือใน obstructive lung disease ควรใช้ปริมาตรที่ค่อนข้างน้อยประมาณ 5-8 มล/กก.เพื่อไม่ให้ความดันในปอดสูงเกินไป โดยทั่วไปมักจะพยายามไม่ให้ alveolar pressure สูงเกิน 35 ซม.น้ำ ในเด็กการใช้ volume ventilator จะต้องคำนึงถึง compressible volume ที่เสียไปกับวงจรเครื่องช่วยหายใจด้วยเสมอ

#### 3.2 Pressure

การตั้งระดับ pressure ที่เหมาะสมดูได้จากกราฟการยกตัวขึ้นของทรวงอก และ tidal volume ที่ได้ โดยมีหลักการเช่นเดียวกับ volume ventilator คือ ในปอดที่เป็น restrictive lung มักจะตั้ง PIP เพื่อให้ tidal volume เพียง 5-8 มล/กก.และจะต้องพยายามไม่ให้ alveolar pressure สูงกว่า 30-35 ซม.น้ำ ซึ่งเป็นระดับที่เสี่ยงต่อ barotrauma

### 4. Respiratory rate

ขึ้นกับ tidal volume, lung mechanics, PCO<sub>2</sub> ที่ต้องการ และอัตราการหายใจปกติของผู้ป่วย ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามอายุ ดังนี้

|             |                      |       |            |
|-------------|----------------------|-------|------------|
| อายุ < 2 ปี | อัตราหายใจปกติประมาณ | 30-35 | ครั้ง/นาที |
| 2-5 ปี      | “ “                  | 20-25 | ครั้ง/นาที |
| > 5 ปี      | “ “                  | 15-18 | ครั้ง/นาที |

ใน restrictive lung disease มักตั้งอัตราการหายใจสูงกว่าปกติเพื่อให้ได้ minute ventilation ที่เพียงพอ ใน obstructive lung disease ซึ่งมี time constant ยาว อัตราการหายใจควรต่ำลงเพื่อให้มี expiratory time ที่เพียงพอ

### 5. Flow pattern

ใน volume preset ventilation เครื่องช่วยหายใจส่วนใหญ่มักให้ constant flow ในเครื่องช่วยหายใจชนิดหลังๆ จะสามารถเลือก flow waveform แบบต่างๆ ได้ เช่น ascending ramp, descending ramp, sine waveform เป็นต้น ประโยชน์ของ flow pattern ในลักษณะต่างๆ ยังไม่มีหลักฐานแน่ชัด แต่พบว่าเมื่อใช้ decelerating flow (ใน PCV mode) จะมี MAP ที่สูงกว่าและมี PIP ที่ต่ำกว่าทำให้มีการแพร่กระจายของก๊าซที่ดีขึ้น

### 6. Flow rate

ในเครื่องชนิด volume cycle ซึ่งให้ constant flow ผู้ใช้จะเป็นผู้ตั้ง flow rate ซึ่งจะเป็นการกำหนด inspiratory time โดยที่ flow rate จะเท่ากับ อัตราส่วนของ tidal volume ต่อ inspiratory time โดยทั่วไป การปรับ flow rate จึงมักดูจาก inspiratory time หรือ I:E เป็นหลัก

ในเครื่องชนิด time cycle -volume preset เครื่องจะปรับ flow ให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ inspiratory time และ tidal volume ตามที่กำหนด การตั้ง peak flow ควรตั้งให้เพียงพอแก่ความต้องการของผู้ป่วย และให้ปลอดภัยตัวได้เต็มที่ก่อนที่จะหายใจออก ถ้า flow ไม่พอผู้ป่วยจะต้องเพิ่มแรงในการหายใจเพื่อดึงก๊าซเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปความต้องการ flow rate ของผู้ป่วยจะขึ้นกับ minute ventilation ในรายที่ minute ventilation เพิ่มสูง เช่น ใน severe lung injury ก็ต้องเพิ่ม peak flow ให้เพียงพอ ในบางครั้ง volume ventilator อาจไม่สามารถให้ inspiratory peak flow ที่พอกับความต้องการของผู้ป่วย จึงควรเปลี่ยนเป็น PCV mode ซึ่งมี high initial flow จาก decelerate flow waveform

ใน PCV mode เครื่องจะให้ exponential decelerating flow เพื่อให้ได้ความดันที่ตั้งไว้ เราไม่สามารถกำหนด flow rate ได้

### 7. % Inspiratory time

ในผู้ป่วยที่หายใจเองควรตั้งให้เท่ากับการหายใจของผู้ป่วย ซึ่งโดยทั่วไป %inspiratory time จะประมาณร้อยละ 30-40 (I:E = 1:1.5 -1:2) ในกรณีที่ต้องการเพิ่ม inspiratory time เพื่อเพิ่ม MAP และ oxygenation จะต้อง sedate ผู้ป่วยเพราะจะทำให้รู้สึกอึดอัด และต้องระวังการเกิด auto-PEEP และผลต่อหัวใจและระบบไหลเวียนโลหิต ใน volume ventilator ที่กำหนด % pause time ได้ การเพิ่ม pause time จะช่วยเพิ่ม MAP โดยที่ PIP ไม่เพิ่ม ทำให้ oxygenation ดีขึ้น แต่ต้องระวังไม่ให้ total inspiratory time ยาวไป

### 8. PEEP ขึ้นกับภาวะผู้ป่วย ดังกล่าวแล้วใน infant ventilation

### 9. Alarm มีแนวทางการตั้ง ดังนี้

Pressure alarm ควรพิจารณาจาก pressure ที่วัดได้ และ  $\pm 5-10$  ซม.น้ำ (หรือ  $\pm 20\%$ ) สำหรับ high และ low pressure alarm

Volume alarm พิจารณาจาก volume ที่ตั้งไว้ และ  $\pm 25\%$  สำหรับ high และ low volume

ใน volume preset ventilator แม้ว่าเราไม่สามารถกำหนด PIP ในแต่ละครั้งของการช่วยหายใจ เพราะ PIP จะเปลี่ยนแปลงตาม compliance และ resistance ของทางเดินหายใจ การตั้ง pressure limit ยังเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อป้องกัน inadvertent overinflation และ pneumothorax ที่อาจเกิดขึ้น ค่า pressure limit ใน volume preset ventilator นี้จะทำหน้าที่เป็น pressure cycle ด้วย กล่าวคือ ถ้าความดันในวงจรสูงเกิน pressure limit ที่ตั้งไว้ เสียง alarm จะดังขึ้นพร้อมกับ expiratory valve จะเปิดและสิ้นสุดการหายใจเข้าในครั้งนั้น tidal volume ที่ผู้ป่วยได้ในครั้งนั้นจะน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ โดยทั่วไป pressure limit alarm มักดังเป็นครั้งคราวในขณะที่ผู้ป่วยไอหรือเกร็งตัวด้านเครื่อง ซึ่งไม่มีความสำคัญมากนัก แต่ในกรณีที่ pressure limit alarm ดังต่อเนื่องกัน จะเป็นตัวบ่งว่ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในตัวผู้ป่วยซึ่งผู้ดูแลจะต้องรีบประเมินและแก้ไขภาวะผิดปกติต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้แก่ เสมหะอุดตัน เกิดการหดเกร็งของกล้ามเนื้อหลอดลม หรือเกิดภาวะ pneumothorax ขึ้น

### การตั้งเครื่องช่วยหายใจในภาวะต่างๆ<sup>15-19</sup>

การตั้งเครื่องช่วยหายใจในผู้ป่วยควรตั้งให้เหมาะสมกับพยาธิสภาพของผู้ป่วย โดยสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1. กลุ่มที่มี lung mechanic และ gas exchange ปกติ
2. กลุ่มที่มี severe airflow obstruction
3. กลุ่มที่มี acute hypoxic respiratory failure
4. กลุ่มที่มี restrictive lung disease หรือ chest wall disease

#### ผู้ป่วยที่มี lung mechanic และ gas exchange ปกติ

ได้แก่ ผู้ป่วยที่หยุดหายใจจากสาเหตุต่างๆ เช่น drug overdose, ผลจากยาสลบ เป็นต้น, ผู้ป่วยที่มีปัญหากล้ามเนื้ออ่อนแรง เช่น Guillain-Barre syndrome, myasthenia gravis เป็นต้น หรือผู้ป่วยช็อกจากสาเหตุต่างๆ ซึ่งใช้เครื่องช่วยหายใจเพื่อเป็น adjunctive therapy รวมทั้งผู้ที่มีความดันในกะโหลกศีรษะสูงเฉียบพลัน เช่น ผู้ป่วยหลังได้รับอุบัติเหตุทางสมอง ฯลฯ ซึ่งใช้เครื่องช่วยหายใจเพื่อ hyperventilation

การช่วยหายใจในผู้ป่วยกลุ่มนี้ควรให้เหมือน normal physiology มากที่สุด แนะนำให้ใช้ volume A/C mode โดยให้ effective tidal volume 8-10 มล/ก.ก. อัตราการหายใจและ inspiratory-time ที่ปกติตามอายุ ระดับของ PEEP 2-3 ซม.น้ำ ไม่ใช้ inspiratory hold ค่า  $FiO_2$  ควรเริ่มที่ 0.4-0.5 และปรับลดตาม  $O_2$  saturation ในผู้ป่วยที่มีปอดปกติการช่วยหายใจด้วย flow waveform แบบต่างๆ อาจไม่มีความสำคัญต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซนัก แต่หลักสำคัญคือ ไม่ควรช่วยหายใจด้วยอัตราการหายใจและ inspiratory time ที่ผิดจากการหายใจปกติ การตั้ง inspiratory time ที่ยาวไป จะมีผลเพิ่ม MAP ซึ่งจะมีผลต่อ venous return และ cardiac output ได้ ค่า inspiratory time ที่สั้นเกินไป อาจทำให้มีการเพิ่มอัตราส่วนของ dead space ventilation และเกิด hypercapnia ได้

นอกจากนี้ในการตั้ง tidal volume จะต้องคำนึงถึง compressible volume ในแต่ละวงจร และชนิดของเครื่องช่วยหายใจ ซึ่งวัดได้จากวิธีที่กล่าวแล้วข้างต้น ทั้งยังต้องคำนึงถึง physiologic dead space และ  $CO_2$  production ที่อาจเพิ่มขึ้นในภาวะต่างๆด้วย เราสามารถ monitor effective tidal volume ได้โดยสังเกตการ

ยกขึ้นของทรวงอกและฟังเสียงหายใจเมื่อต่อเครื่องช่วยหายใจกับผู้ป่วย และเฝ้าติดตาม PaCO<sub>2</sub> จาก blood gas ถ้าสามารถ monitor airway pressure และ flow waveform พบว่ามีลักษณะ patient-ventilator dyssynchrony และต้องการให้ผู้ป่วยหายใจตามเครื่อง เช่น ในผู้ป่วยช็อค ควรเพิ่ม inspiratory flow rate, อัตราการหายใจ หรือ tidal volume (แต่ต้องระวังว่าอาจเกิด respiratory alkalosis ได้) ถ้าการเพิ่มการช่วยหายใจแล้ว แต่ยังไม่ลด respiratory effort การให้ sedation หรือยาคลายกล้ามเนื้ออาจจำเป็นเพื่อให้ผู้ป่วยได้พักเต็มที่

### ผู้ป่วยที่มี severe airflow obstruction

ได้แก่ ผู้ป่วยโรคหืด ผู้ป่วยกลุ่มนี้ในรายที่มีอาการรุนแรงจนเกิดภาวะการหายใจล้มเหลวจะมี expiratory obstruction อย่างมาก และเกิดภาวะ dynamic hyperinflation จุดมุ่งหมายสำคัญในการช่วยหายใจในผู้ป่วยกลุ่มนี้ คือ ต้องพยายามให้มี expiratory time ที่ยาวพอ และลดภาวะ dynamic hyperinflation

ผู้ป่วยโรคหืดที่ต้องใช้เครื่องช่วยหายใจจะมีอาการกระวนกระวายและกระสับกระส่ายมาก การบริหารยาในกลุ่ม sedatives เพื่อให้ deep sedation เป็นสิ่งจำเป็นและอาจต้องให้ยาคลายกล้ามเนื้อร่วมด้วยแม้ว่าอาจทำให้กล้ามเนื้ออ่อนแรงเป็นเวลานาน การให้ยาดังกล่าวจะช่วยลด oxygen consumption ลด airway pressure และลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดท่อช่วยหายใจเลื่อนหลุด (self-extubation)

เนื่องจากภาวะพร่องออกซิเจนในผู้ป่วยโรคหืดเป็นผลจาก V/Q mismatch การตั้งเครื่องช่วยหายใจควรเริ่มด้วยการตั้งค่า FiO<sub>2</sub> เท่ากับ 1 และมักจะลด FiO<sub>2</sub> ลงได้ โดยทั่วไป FiO<sub>2</sub> มักไม่เกิน 0.5 ถ้าต้องการ FiO<sub>2</sub> สูง จะต้องตรวจหาว่ามี alveolar infiltration หรือภาวะปอดแพบร่วมด้วยหรือไม่ การช่วยหายใจในผู้ป่วยกลุ่มนี้มักจะให้ tidal volume 8-10 มล/กก. ด้วยอัตราการหายใจที่น้อย (12-15 ครั้งในเด็กโต) inspiratory flow rate ควรจะมากให้เพียงพอกับความต้องการของผู้ป่วย และให้มี expiratory time ที่ยาว โดยทั่วไปมักจะพยายามไม่ให้ airway plateau pressure สูงเกิน 35 ซม.น้ำ เพื่อลดโอกาสเกิด barotrauma

การช่วยหายใจด้วย minute ventilation ที่ต่ำสุดเท่าที่จะเพียงพอในการแลกเปลี่ยนก๊าซ และยอมรับ PCO<sub>2</sub> ที่สูงขึ้น (permissive hypercapnia) เป็นหลักสำคัญในการช่วยหายใจในผู้ป่วยโรคหืด เพื่อลดภาวะ dynamic hyperinflation ซึ่งมีผลเสียหลายประการ ได้แก่ ลด thoracic compliance มีผลต่อแรงที่ต้องใช้ในการ trigger เครื่อง (ต้องเอาชนะ intrinsic PEEP และ trigger sensitivity) เพิ่มงานในการหายใจ และมีผลต่อการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือด เช่นเดียวกับ extrinsic PEEP

ในผู้ป่วยที่ต้องการให้หายใจเองร่วมด้วยการเพิ่ม PEEP ให้ผู้ป่วยจะช่วยลดงานที่ต้องทำในการ trigger เครื่องให้จ่ายก๊าซ แต่ต้องระวังไม่ให้ PEEP ที่ให้สูงเกินร้อยละ 85 ของ auto-PEEP เพื่อไม่ให้เกิด dynamic hyperinflation เพิ่มขึ้น

โดยสรุปแล้ว การช่วยหายใจในผู้ป่วยโรคหืดควรช่วยหายใจด้วยอัตราที่ต่ำ physiologic tidal volume, expiratory time ที่ยาว และยอมรับ PCO<sub>2</sub> ที่สูงกว่าปกติ

### ผู้ป่วยที่มี acute hypoxic respiratory failure

ส่วนใหญ่เป็นผลจากการที่ถุงลมในปอดถูกแทนที่ด้วยเลือด หนอง หรือ edema fluid ทำให้มีผลต่อ lung mechanics และการแลกเปลี่ยนก๊าซ ภาวะพร่องออกซิเจนที่เกิดในผู้ป่วยกลุ่มนี้เป็นผลจาก intrapulmonary shunt ซึ่งมักไม่ตอบสนองต่อการให้ออกซิเจน

ARDS เป็นภาวะที่พยาธิสภาพของปอดประกอบด้วย consolidation, atelectasis, ส่วนของปอดปกติ และอาจพบ intrapulmonary bleb formation ได้ในผู้ป่วยบางราย การช่วยหายใจควรคำนึงว่าผู้ป่วยในกลุ่มนี้มีปริมาตรปอดขนาดเล็กมากกว่า stiff lung เมื่อเทียบกับปอดปกติ

จุดมุ่งหมายในการช่วยหายใจในผู้ป่วยกลุ่มนี้ คือ การลด shunt หลีกเลียงผลเสียจากการใช้  $\text{FiO}_2$  สูงๆ โดยการตั้ง PEEP ที่เหมาะสม และเลือกการช่วยหายใจที่ไม่มีผลเสียต่อปอดเพิ่มขึ้น ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับว่าการใช้ protective lung strategies ด้วยวิธี low tidal volume ventilation (TV = 6-8 มล/กก) โดยควบคุมความดันไม่ให้เกิน 35 ซม.น้ำ และยอมให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ค้างได้ (permissive hypercapnia) เพื่อรอเวลาให้โรคดีขึ้น โดยที่ปอดไม่ถูกทำลายไปมาก เป็นการช่วยหายใจที่เหมาะสมและช่วยลดอัตราการตายของผู้ป่วยลงได้<sup>20,21</sup>

การเลือก PEEP ที่เหมาะสมเพื่อรักษาระดับ end-expiratory transalveolar pressure ให้เพียงพอที่จะพอง alveoli ไม่ให้แฟบลงในช่วงหายใจออก ทำได้โดย

**'PEEP trial'** โดยปรับเพิ่ม-ลด PEEP ครั้งละ 1-2 ซม.น้ำ และดูค่า oxygen saturation, static airway pressure ที่เปลี่ยนแปลง ระดับ PEEP ที่เหมาะสม คือ ระดับของ PEEP ที่น้อยที่สุดที่จะให้ oxygenation มากที่สุดโดยการปรับ  $\text{FiO}_2$  ในระดับที่ค่อนข้างปลอดภัย และไม่มีผลต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด ในทางปฏิบัติ มักเริ่มด้วย PEEP ที่ระดับ 8-10 ซม.น้ำ และเพิ่มขึ้นครั้งละ 1-2 ซม.น้ำ ดูการเปลี่ยนแปลงของ oxygen saturation และ static airway pressure ทุก 10-15 นาที ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนอย่างชัดเจนหรือ static airway pressure เพิ่มขึ้นมากกว่าครั้งก่อนๆ แสดงว่าระดับ PEEP ก่อนหน้านั้นเหมาะสมแล้ว

ในกรณีที่สามารถศึกษา static pressure-volume curve ของผู้ป่วย ระดับ PEEP ที่เหมาะสมคือ ที่ระดับ 2 ซม.น้ำสูงกว่า lower inflection point ของ inflation pressure-volume curve (open-lung approach)

สำหรับอัตราการหายใจนิยมปรับให้สูงกว่าอัตราการหายใจปกติของเด็กอายุนั้นๆ เพื่อให้ได้ minute ventilation ที่เพียงพอ (ประมาณ 30 ครั้ง/ นาที ในเด็ก 5-8 ปี หรือ 40 ครั้ง/นาที ในเด็กเล็ก)

ในผู้ป่วยที่เกิด barotrauma จาก pulmonary interstitial emphysema (PIE) หรือ bronchopleural fistula หรือมี  $\text{PCO}_2$  สูงมาก ทั้งที่ mean airway pressure สูงกว่า threshold ที่กำหนด การใช้ high frequency ventilation อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง

### **ผู้ป่วยที่มี restrictive lung หรือ chest wall disease**

ได้แก่ ผู้ป่วยที่มี pulmonary fibrosis (รวมทั้ง late stage ARDS) ผู้ที่มี massive ascites หรือมี chest wall ผิดปกติ เช่น kyphoscoliosis เป็นต้น

ผู้ป่วยกลุ่มนี้ควรช่วยหายใจด้วย tidal volume ที่น้อย (5-7 มล/กก) อัตราการหายใจที่เร็ว และ inspiratory time สั้น เพื่อลดผลแทรกซ้อนต่อระบบไหลเวียนโลหิตจาก positive pressure ventilation และลด barotraumas ในผู้ป่วยที่มีความดันในช่องท้องสูง การช่วยหายใจในท่านั่งจะช่วยลดความดันในช่องท้องสูง และงานในการหายใจได้

ในผู้ป่วยกลุ่มนี้ถ้าช่วยหายใจด้วย tidal volume ที่มากจะมีผลทำให้ pleural pressure สูง มีผลต่อ venous return และ cardiac output ทำให้มี V/Q mismatch หรือ shunt เพิ่มขึ้น และมีผลต่อ oxygenation การแก้ภาวะพร่องออกซิเจนโดยการเพิ่ม PEEP จะยังมีผลต่อระบบหมุนเวียนโลหิต และทำให้ภาวะพร่องออกซิเจนเลวลง การช่วยหายใจในผู้ป่วยกลุ่มนี้จึงต้องพยายามลด dead space ventilation โดยลด minute ventilation และแก้ไขภาวะ hypovolemia รวมทั้งต้องยอมรับ  $\text{PCO}_2$  ที่สูงขึ้น

ตารางที่ 2 แนวทางการเริ่มตั้งเครื่องช่วยหายใจชนิด Pediatric Ventilators

|                                      | Normal lung            | Asthma   | ARDS   | Restrictive lung                           |
|--------------------------------------|------------------------|--|--|--|
| <b>Volume/pressure target</b>        | Volume                 | Pressure or volume                             | Pressure   | Pressure                                   |
| <b>TV/ P plat</b>                    | 10-12 ml/kg            | 8-10 ml/kg,<br>P plat<35cmH <sub>2</sub> O     | 6-8 ml/kg,<br>P plat<35cmH <sub>2</sub> O                | 5-7 ml/kg,<br>P plat <35cmH <sub>2</sub> O |
| <b>Respiratory rate (breath/min)</b> | 20-30<br>(in toddler)  | 15-18<br>(in toddler)                          | 30-40<br>(in toddler)                                    | 30-40<br>(in toddler)                      |
| <b>Inspiratory time</b>              | 0.7-1 sec              | 0.6-1 sec vary<br>with age,<br>avoid auto PEEP | 0.7-1.5 sec,<br>may extend to<br>increase<br>oxygenation | 0.5-0.7 sec                                |
| <b>PEEP</b>                          | 2-3 cmH <sub>2</sub> O | 0-2 cmH <sub>2</sub> O                         | 8-10 cmH <sub>2</sub> O                                  | 2-3 cmH <sub>2</sub> O                     |
| <b>FiO<sub>2</sub></b>               | Usually ≤ 0.4          | 1 (target < 0.6)                               | 1 (target < 0.8)   | Usually ≤ 0.5                              |
| <b>Flow waveform</b>                 | Constant               | Decelerating                                   | Decelerating   | Decelerating                               |

TV = tidal volume, Pplat = plateau pressure

### การเฝ้าติดตามและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นขณะใช้เครื่องช่วยหายใจ<sup>14,22</sup>

การดูแลผู้ป่วยขณะใช้เครื่องช่วยหายใจจำเป็นต้องเฝ้าติดตามอย่างใกล้ชิดและหมั่นตรวจประเมินผู้ป่วยเป็นระยะๆ โดยการตรวจร่างกาย วัดสัญญาณชีพ ลักษณะการหายใจ ฟังเสียงหายใจเข้า ติดตามการเปลี่ยนแปลงของ oxygen saturation ตลอดเวลาด้วย pulse oximeter และควรตรวจดูค่า blood gas เป็นระยะๆ และพร้อมที่จะปรับเครื่องช่วยหายใจเพื่อรักษาระดับออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดงให้เหมาะสมกับภาวะของผู้ป่วยซึ่งเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา

#### การเฝ้าติดตามระดับออกซิเจน

โดยทั่วไป ระดับ PaO<sub>2</sub> ที่เหมาะสม คือ 60-80 มม.ปรอท ในรายที่มีภาวะพร่องออกซิเจนในเลือด (PaO<sub>2</sub> <60 มม.ปรอท) เกิดขึ้นในขณะที่ใช้เครื่องช่วยหายใจจะต้องพยายามหาสาเหตุความผิดปกติที่เกิดขึ้น (ตารางที่ 3) เพื่อพิจารณาแก้ไขตามสาเหตุและให้การแก้ไขโดยการเพิ่ม oxygen delivery ซึ่งสามารถเพิ่มได้ 3 ทาง ได้แก่

#### 1) เพิ่มการช่วยหายใจ

ด้วยการเพิ่ม FiO<sub>2</sub> หรือเพิ่ม PEEP ในรายที่ lung compliance ต่ำนอกจากนั้น การเพิ่ม MAP ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของ pressure ในช่วงหายใจเข้า-ออก จะทำให้ระดับออกซิเจนดีขึ้นได้ ตัวแปรที่มีผลต่อ MAP ได้แก่ flow rate, PIP, I/E ratio (% inspiratory time) และ PEEP แต่ต้องระวังผลเสียจาก barotrauma

#### 2) ให้มีการไหลเวียนโลหิตที่เหมาะสม

โดยการเพิ่ม intravascular volume ให้เพียงพอ และพิจารณาให้ inotropic drug ถ้าจำเป็น

#### 3) เพิ่มปริมาณฮีโมโกลบินให้เพียงพอ

ผู้ป่วยที่มีภาวะหายใจวาย ควรมีระดับฮีโมโกลบินมากกว่า 10 กรัม/ดล.

นอกจากนั้นควรลด oxygen demand เพื่อให้มีออกซิเจนที่เพียงพอ ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้ control mode ในการช่วยหายใจ พิจารณาให้ยา sedate และยาคลายกล้ามเนื้อ รวมทั้งการควบคุมอุณหภูมิร่างกายให้ปกติ เพราะในภาวะที่ร่างกายเป็นไข้ จะทำให้ oxygen demand เพิ่มขึ้น

### ตารางที่ 3 สาเหตุของภาวะพร่องออกซิเจน

1. ความผิดปกติของเครื่องช่วยหายใจ และท่อช่วยหายใจ ได้แก่ ท่อช่วยหายใจอุดตัน การตั้งเครื่องช่วยหายใจไม่เหมาะสม ผู้ป่วยหายใจด้านเครื่อง
2. การเปลี่ยนแปลงของพยาธิสภาพในโรคที่ผู้ป่วยเป็น ได้แก่ pneumothorax, atelectasis, bronchospasm, retained secretion, nosocomial pneumonia, decreased cardiac output
3. ชณะหรือหลังทำหัตถการต่างๆ ได้แก่ การดูดเสมหะ การทำกายภาพบำบัดทรวงอก การเปลี่ยนท่าของผู้ป่วย การทำ dialysis เป็นต้น
4. การให้ยาบางชนิด ได้แก่ vasodilators, vasopressors, sedation, bronchodilators

### การเฝ้าติดตามระดับคาร์บอนไดออกไซด์

ระดับ PaCO<sub>2</sub> ที่เหมาะสม คือ 35-45 มม.ปรอท ในกรณีที่เกิดภาวะ hypoventilation (PaCO<sub>2</sub> > 45-50 มม.ปรอท) การลดระดับคาร์บอนไดออกไซด์ทำได้โดยการเพิ่ม minute ventilation ซึ่งมี parameters ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ tidal volume (หรือ pressure) และอัตราการช่วยหายใจ แต่ควรจะต้องพิจารณาดูว่าสาเหตุของภาวะ hypoventilation น่าจะเกิดจากสาเหตุใด เพื่อให้การแก้ไขที่สาเหตุด้วย ดังตารางที่ 4

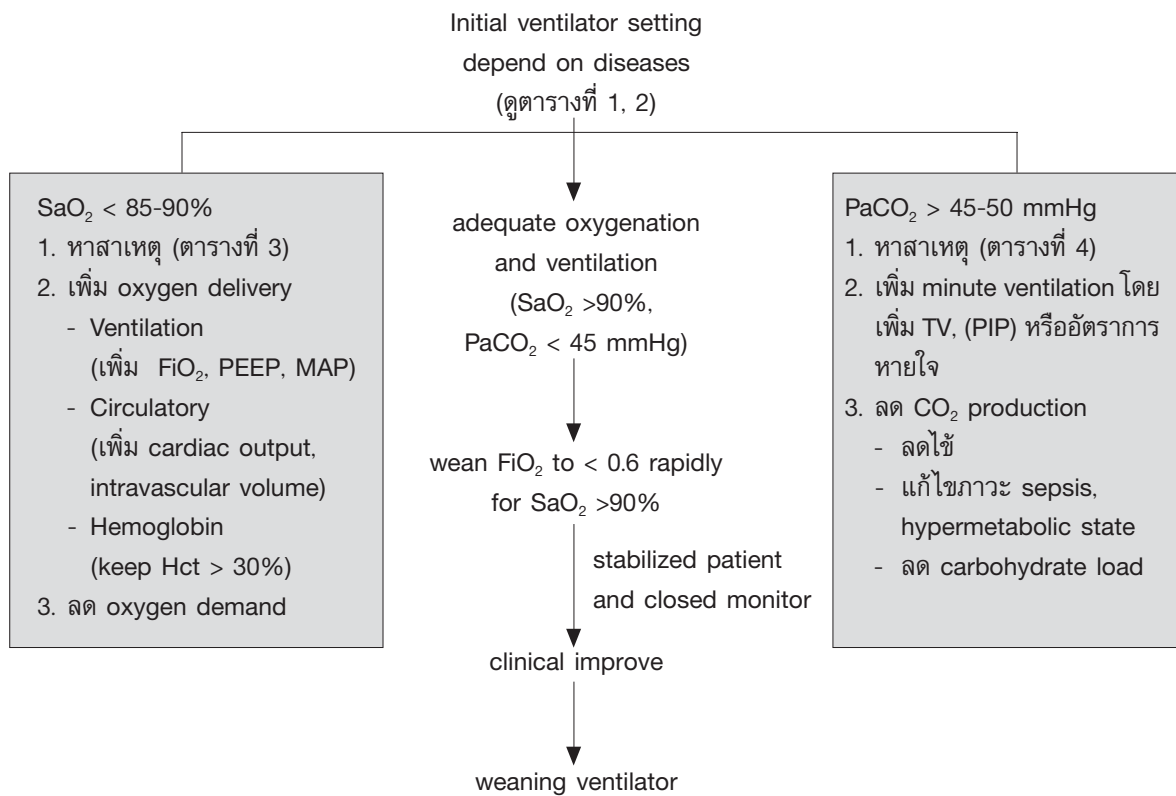
### ตารางที่ 4 สาเหตุและการแก้ไขภาวะ hypoventilation

| สาเหตุของภาวะ hypoventilation  | วิธีแก้ไข  |
|--|--|
| การเปลี่ยนแปลงในตัวผู้ป่วยเอง ได้แก่   | 1. ลด dead space ventilation                           |
| 1. การเพิ่ม dead space ventilation จาก   | - เพิ่ม intravascular volume, inotropic drug           |
| - low cardiac output   | - ลด effective PEEP                                    |
| - effective PEEP too high  | - ให้ heparin and/or vasodilator                       |
| - pulmonary embolism   | - withdraw vasoconstrictor or combine with vasodilator |
| - vasoconstriction in pulmonary circulation (alveolar hypoxia, drugs)  |  |
| 2. การเพิ่ม CO <sub>2</sub> production   | 2. ลด CO <sub>2</sub> production                       |
| - high body temperature  | - ลดไข้  |
| - muscular activity increased  | - ให้ยา sedation                                       |
| - parenteral nutrition with high carbohydrate load   | - ลด carbohydrate load                                 |
| 3. การเปลี่ยนแปลงใน ventilatory circuit ได้แก่ การรั่วของสายและข้อต่อต่างๆ ของเครื่องช่วยหายใจ รวมทั้งเครื่องทำความชื้น (humidifier) | 3. เช็ค และแก้ไขความผิดปกติดังกล่าว                    |
| 4. มีการอุดตัน หักงอ หรือเคลื่อนหลุดของท่อช่วยหายใจ  | 4. เปลี่ยนท่อช่วยหายใจ                                 |

**สรุป**

เครื่องช่วยหายใจเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยระดับประคองการหายใจของผู้ป่วยที่อยู่ในภาวะการหายใจล้มเหลว การใช้เครื่องช่วยหายใจในเด็กจำเป็นต้องมีความรู้ ความเข้าใจในการทำงานของเครื่องช่วยหายใจชนิดต่างๆ และสามารถเลือกใช้เครื่องช่วยหายใจที่เหมาะสมกับตัวเด็กและพยาธิสภาพของโรค ทั้งนี้เพื่อให้การช่วยหายใจได้ผลดีที่สุดโดยไม่เกิดภาวะแทรกซ้อน

**แผนภาพที่ 1** สรุปแนวทางการดูแลผู้ป่วยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจในเด็ก



## เอกสารอ้างอิง

1. Hargett KD. Mechanical ventilation of the neonate. In: Barnhart SL, Czervenske MP, eds. Perinatal and pediatric respiratory care. Philadelphia: WB Saunders 1995; 284-312
2. Martin LD, Bratton SL, Walker LK. Principles and practice of respiratory support and mechanical ventilation. In: Roger MC, ed. Textbook of pediatric intensive care. 3rd eds. Baltimore: William & Wilkins 1996; 265-330
3. Grenier B. Mechanical ventilators. In: Barnhart SL, Czervenske MP, eds. Perinatal and pediatric respiratory care. Philadelphia: WB Saunders 1995; 253-93
4. Carlo W, Martin RJ. Mechanical ventilation in newborns. In: Hilman BC, ed. Pediatric respiratory disease: diagnosis and treatment. Philadelphia: WB Saunders 1993; 896-903
5. Curley maq, Thomson JE, Molengraft J, et al. Mechanical support of ventilation. In: Curley maq, Smith JB, Moloney - Harman PA, eds. Critical care nursing of infants and children. Philadelphia W.B. Saunders 1996; 296-321
6. Habib DM, Brandeburg S, Bradley JW. Ventilatory support in infants and children. In: Taeusch HW, Christiansen RO, Buescher ES, eds. Pediatric and neonatal tests and procedures. Philadelphia: W.B. Saunder 1996; 92-107
7. Spitzer AR, Fox WW. Positive-pressure ventilation: pressure-limited and time-cycled ventilators. In: Goldsmith JP, Karotkin EH, eds. Assisted ventilation of the neonate. 3 rd eds. Philadelphia: W.B. Saunder 1996;167-86
8. Czervinske MP. Mechanical ventilation of the pediatric patient. In: Barnhart SL, Czevinske MP, eds. Perinatal and pediatric respiratory care. Philadelphia: W.B. Saunders 1995, 313-24
9. Kacmarek R, Custer JR, Fugate JH. Mechanical ventilation. In: Todres ID, Fugate JH, eds. Critical care of infants and children. Boston: Little Brown and Company 1996; 155-82
10. Kerr M. Paediatric ventilatory care. In: Morton NS, ed. Paediatric intensive care. Oxford. Oxford University Press; 1997: 152-83
11. Hakanson DO. Volume ventilators. In: Goldsmith JP, Karotkin EH, eds. Assisted ventilation of the neonate. 3 rd eds. Philadelphia: W.B. Saunder 1996; 181-97
12. Wilson BG. Mechanical ventilation of the infant and child. In: Aloian CA, Hill TV, eds. Philadelphia: Lippincott-Raven Publishers 1997; 311-56
13. Pressure and volume ventilation. In: Hess DR, Kacmarek RM, eds. Essentials of mechanical ventilation. New York: Mc Graw-Hill 1996; 41-48. Marini JJ. Pressure-controlled ventilation. In: Tobin MJ, ed. Principle and practice of mechanical ventilator. New York: Mc Graw - Hill Inc1994; 305-17
14. Toro-Figueroa LO, Barton RP, Lockett PM, Perkin RM. Mechanical ventilation and oxygen support systems. In: Levin DL, Morriss FC, eds. Essentials of pediatric intensive care. Volume 2: Procedure, equipment and technique. 2nd eds. New York: Churchill livingstone Inc 1997; 1416-52
15. Schmidt GA, Hall JB. Management of the ventilated patient. In: Hall JB, Schmidt GA, Wood LDH, eds. Principle of critical care, 2nd eds. New York: McGraw-Hill 1998; 517-35.
16. Hubmayr RD. Setting the ventilator. In: Tobin MJ, ed. Principle and practice of mechanical ventilator. New York: Mc Graw - Hill Inc1994; 191-206
17. Martin RJ, Carlo WA, Chatburn RL. Mechanical ventilation in the neonatal and pediatric setting. In: Tobin MJ, ed. Principle and practice of mechanical ventilator. New York: Mc Graw - Hill Inc1994; 511-28
18. Sabato K, Hanson JH. Mechanical ventilation for children with status asthmaticus. Respir Care Clin N Am 2000; 6: 171-88
19. Werner HA. Status asthmaticus in children: a review. Chest 2001; 119: 1913-29
20. The ARDS network ventilation with low tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the ARDS. N Engl J Med 2000; 342: 1301-8
21. Hickling KG. Permissive hypercapnia. Respir Care Clin N Am 2002; 8: 155-69.
22. Andersen JB. Improving ventilatory strategy. 4th ed. Servo Library. 1992