6 Mechanical Ventilation in Pediatric Practice

สนิท เรืองรองรัตน์

เครื่องช่วยหายใจเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในการช่วยเหลือผู้ป่วยเด็กภาวะวิกฤตที่มีปัญหา respiratory failure ในอดีตมีการใช้เครื่องช่วยหายใจชนิด negative pressure ventilation หรือ iron lungs เพื่อรักษาผู้ป่วยที่เป็นโรคโปลิโอ ต่อมาได้มีการพัฒนาอุปกรณ์เป็นชนิด positive pressure ventilation และมีการพัฒนาวิธีการทำงานของเครื่องอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ป่วยกับเครื่องช่วยหายใจมีความสมดุลกัน

เป้าหมายหลักของการใช้เครื่องช่วยหายใจโดยทั่วไปมีอยู่ 3 ประการ[1,2]

1. แก้ไขความผิดปกติของการแลกเปลี่ยนก๊าซให้อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ เพื่อให้มี adequate arterial oxygenation และ effective alveolar ventilation

2. ปลดภาระงาน (unloading) ของกล้ามเนื้อช่วยการหายใจ เพื่อลด work of breathing

3. ป้องกันภาวะแทรกซ้อนที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้เครื่องช่วยหายใจระหว่างที่รอให้พยาธิสภาพที่ปอดดีขึ้น

แนวทางปฏิบัติเพื่อให้บรรลุเป้าหมายทั้งสามประการดังกล่าวในผู้ป่วยเด็กจำเป็นที่ทีมแพทย์และพยาบาลต้องมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องการใช้เครื่องช่วยหายใจเป็นอย่างดี ซึ่งปัจจุบันเครื่องช่วยหายใจที่ใช้กันทั่วไปในผู้ป่วยเด็กคือชนิด positive pressure ventilation

Positive Pressure Ventilation[1,4]

คือ การทำงานของเครื่องช่วยหายใจที่ให้ความดันบวก (positive pressure) เข้าไปในระบบการหายใจ ของผู้ป่วยตลอดทั้ง respiratory cycle โดยมีค่า proximal airway pressure มากกว่า alveolar pressure และเพื่อให้เข้าใจลักษณะการทำงานของเครื่องช่วยหายใจผู้ใช้จะต้องเข้าใจกลไกการทำงานของเครื่องช่วยหายใจที่แบ่งออกเป็นช่วง ๆตามลำดับการหายใจเข้าและหายใจออก ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 phases ได้แก่

1. Expiratory to inspiratory phase
2. Inspiratory phase
3. Inspiratory to expiratory phase
4. Expiratory phase

1. Expiratory to inspiratory phase (trigger variable) เป็นช่วงที่สำคัญเพราะเป็นช่วงที่กระตุ้นให้เกิดการทำงานของเครื่องช่วยหายใจเพื่อเริ่มการหายใจเข้า โดยเครื่องจะวัดการเปลี่ยนแปลงของค่า pressure, volume, flow หรือ time ในระบบและใช้

ค่าใดค่าหนึ่งเป็นตัวกำหนดการเริ่มการหายใจเข้า ที่นิยมใช้ได้แก่ pressure, flow และ time trigger

2. Inspiratory phase (limit variable) เป็นช่วงที่เครื่องช่วยหายใจจะใช้ volume, pressure หรือ flow ค่าใดค่าหนึ่งเป็นตัวกำหนดในการช่วยผู้ป่วยขณะหายใจเข้า และจำกัดไว้ไม่ให้เกินค่าที่ผู้ใช้ได้ตั้งไว้แล้ว (preset value) ตลอดช่วงการหายใจเข้า

3. Inspiratory to expiratory phase (cycle variable) เป็นช่วงที่กำหนดการสิ้นสุดของช่วงหายใจเข้า เมื่อค่าใดค่าหนึ่งดังต่อไปนี้ ได้แก่ pressure cycled, volume cycled, flow cycled หรือ time cycled ถึงจุดที่ผู้ใช้ตั้งไว้หรือเครื่องช่วยหายใจกำหนดไว้

4. Expiratory phase (baseline variable) เป็นช่วงที่เครื่องช่วยหายใจใช้ควบคุมการหายใจออกหรือช่วงเวลาการหายใจออก โดยทั่วไปจะสามารถกำหนด pressure และ expiratory time เช่น การตั้ง positive end-expiratory pressure (PEEP) เพื่อช่วยเพิ่มค่า functional residual capacity (FRC) ทำให้ปอดของผู้ป่วยที่มีปัญหาการคงสภาพขณะหายใจออก เช่น hyaline membrane disease (HMD) หรือ acute respiratory distress syndrome (ARDS) ให้คงสภาพใกล้กับค่าปกติ หรือการกำหนดให้ expiratory time (Te) นานกว่า inspiratory time (Ti) เพื่อให้มีเวลาพอที่ลมในถุงลมและหลอดลมจะถูกขับออกไปได้หมดป้องกันการเกิด air trapping (hyperinflation)

เมื่อรู้กลไกการทำงานแล้ว ผู้ใช้จะต้องเลือกเครื่องช่วยหายใจ และวิธีการช่วยหายใจ (modes) ที่เข้ากับพยาธิสรีรวิทยาของโรคที่ผู้ป่วยเป็นโดยการการพิจารณาองค์ประกอบดังต่อไปนี้

การตั้งเครื่องช่วยหายใจให้เหมาะสมกับพยาธิสรีรวิทยาของโรค[1]

การตั้งเครื่องช่วยหายใจจะต้องใช้ความรู้พื้นฐานในเรื่องปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบหายใจกับระบบไหลเวียนโลหิต ซึ่งผู้ป่วยเด็กที่อยู่ในภาวะวิกฤตและต้องใช้เครื่องช่วยหายใจอาจแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มตามลักษณะทางสรีรวิทยาของระบบไหลเวียนโลหิต ได้แก่

1. กลุ่ม Preload-dependent

เป็นกลุ่มผู้ป่วยที่มี cardiac performance ขึ้นกับปัจจัยของ preload เป็นหลักคือ หากเพิ่มหรือลดปริมาตรของเลือดในหัวใจห้องล่างซ้ายก่อนที่จะบีบตัว (left ventricular end-diastolic volume หรือ LVEDV) จะส่งผลให้ cardiac output (CO) เพิ่มขึ้นหรือลดลงเช่นเดียวกัน เนื่องจาก LVEDV อยู่ใน ascending limb ของ Starling curve ผู้ป่วยกลุ่มนี้เป็นผู้ป่วยส่วนใหญ่ที่เข้ารับการรักษาในหอผู้ป่วยวิกฤต และจะได้รับประโยชน์จากการลดผลกระทบที่ไม่ดีต่อระบบไหลเวียนโลหิตที่อาจเกิดขึ้นขณะการใช้เครื่องช่วยหายใจให้เหลือน้อยที่สุด

2. กลุ่ม Afterload-dependent

เป็นกลุ่มผู้ป่วยที่มี cardiac performance ขึ้นกับปัจจัยของ afterload เป็นหลักคือ หากทำให้แรงต้านทานการบีบตัวของหัวใจห้องล่างซ้าย (LV afterload) ลดลงจะทำให้ CO เพิ่มขึ้น หรือ LV afterload เพิ่มขึ้นจะทำให้ CO ลดลง ผู้ป่วยกลุ่มนี้มักจะเป็นผู้ป่วยที่มีปัญหากล้ามเนื้อหัวใจทำหน้าที่บกพร่องโดยอาจมีสาเหตุจาก โรคหัวใจที่เป็นแต่กำเนิด (congenital heart disease) หรือมี myocardial dysfunction จากภาวะ sepsis หรือ septic shock ซึ่งมักมีปัญหา fluid overload อยู่แล้ว ดังนั้นผู้ป่วยจะได้รับประโยชน์จากผลกระทบที่ดีต่อระบบไหลเวียนโลหิตขณะการใช้เครื่องช่วยหายใจ

การลดผลกระทบที่ไม่ดีต่อระบบไหลเวียนโลหิต (detrimental hemodynamic effects)

เนื่องจากการใช้เครื่องช่วยหายใจทำให้แรงดันในทรวงอก (intrathoracic pressure หรือ ITP) มีค่าเป็นบวกตลอดทั้ง respiratory cycle จึงมีผลทำให้ systemic venous return ของผู้ป่วยลดลง ทำให้ CO ลดลงเช่นเดียวกันดังนั้นการตั้งเครื่องช่วยหายใจเพื่อลดผลกระทบที่ไม่ดีต่อระบบไหลเวียนโลหิต มีแนวทางปฏิบัติดังนี้

1. การตั้งเครื่องช่วยหายใจเพื่อป้องกันการเกิด

hyperinflation ของปอด โดย

- การตั้ง PEEP ให้ค่าต่ำสุดเท่าที่จำเป็น
- ปรับ หรือ คอยตรวจสอบ Te ให้เหมาะสมไม่สั้นจนเกินไป และระวังการเกิด dynamic hyperinflation (เป็นผลจากการใช้ Te ที่สั้นเกินไป ส่งผลให้มีลมค้างในปอดมากขึ้น และผลที่ตามมาคือ แรงดันในถุงลมจะสูงกว่า airway opening pressure ทำให้เกิด auto-PEEP) ผู้ป่วยจะหายใจลำบากและใช้พลังงานมากขึ้น

2. การควบคุม peak inspiratory pressure (PIP) และ mean airway pressure (MAP) ไม่ให้สูงเกินความจำเป็น โดย

- ลด bronchomotor tone ในผู้ป่วยที่มีปัญหาด้วยการใช้ยาขยายหลอดลม
- ลด inspiratory flow rate ซึ่งจะช่วยลด PIP ได้
- เลือกใช้ mode ที่ผู้ป่วยสามารถหายใจได้เอง (spontaneous breathing) จะช่วยลด PIP ได้

3. การควบคุมให้ผู้ป่วยมีการเปลี่ยนแปลงของ ITP น้อยที่สุด

4. การลด work of breathing (WOB) ในขณะที่ยังคงให้ผู้ป่วยเริ่มต้นการหายใจเอง โดย

- ปรับ flow pattern ให้เข้ากับผู้ป่วยมากที่สุด โดยการเลือกใช้ mode ที่ผู้ป่วยควบคุม flow rate ได้เอง เช่น pressure support mode ซึ่งมีข้อยกเว้นกรณีที่ปอดมีความผิดปกติอย่างรุนแรง จำเป็นต้องให้การช่วยหายใจเต็มที่ (full support)
- ลด trigger threshold สำหรับ assisted breath ปัจจุบันในเครื่องรุ่นใหม่จะแนะนำให้ใช้ flow trigger สำหรับผู้ป่วยเด็กเล็ก

การส่งเสริมผลกระทบที่ดีต่อระบบไหลเวียนโลหิต (beneficial hemodynamic effects)

เนื่องจากการใช้เครื่องช่วยหายใจทำให้ ITP มีค่าเป็นบวกตลอดทั้ง respiratory cycle ดังนั้นจึงมีผลช่วยลด LV afterload การตั้งเครื่องช่วยหายใจเพื่อส่งเสริมให้เกิดผลกระทบที่ดีต่อการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิต จึงมีส่วนสำคัญในการรักษาผู้ป่วย โดยมีแนวทางปฏิบัติดังนี้

1. การแก้ไขให้ปริมาตรปอดใกล้เคียงค่า FRC ปกติ เพื่อที่จะให้ pulmonary vascular resistance (PVR) ลดต่ำที่สุดได้ โดย

- ป้องกันการเกิด dynamic hyperinflation โดยเฉพาะผู้ป่วยในกลุ่ม obstructive lung disease เช่น meconium aspiration syndrome, acute bronchiolitis, acute exacerbation of asthma เป็นต้น โดยการปรับให้ Te ไม่สั้นจนเกินไป
- ใช้ PEEP ที่เหมาะสมในกรณีของ diffuse parenchymal lung disease เช่น HMD, ARDS เป็นต้น

2. ควบคุมให้ ITP มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เพื่อป้องกันไม่ให้ LV afterload สูงขึ้น โดย

- ลด trigger threshold สำหรับ assisted breath แนะนำให้ใช้ flow trigger
- พิจารณาใช้ PEEP ช่วยเพื่อไม่ให้ ITP ลดต่ำลงมากในกรณีผู้ป่วยที่เกิด auto-PEEP
- ลด extrinsic airway resistance ของ respiratory circuit ได้แก่ หลีกเลี่ยงการใช้ท่อช่วยหายใจขนาดที่เล็กเกินไป หรือ การเลือก mode ที่จะช่วยลด WOB ของผู้ป่วยที่หายใจผ่านท่อช่วยหายใจขนาดเล็ก เช่น pressure support mode

3. การปรับเพิ่ม setting ของเครื่องช่วยหายใจแก่ผู้ป่วยที่มี intravascular volume เพียงพอแล้วเท่านั้น และพิจารณาใช้ inotropic drugs เมื่อมีข้อบ่งชี้

Terminology[1,3,5]

การใช้เครื่องช่วยหายใจมีคำ (terminology) ที่ผู้ใช้จะต้องรู้และเข้าใจก่อนดังต่อไปนี้

1. *Tidal volume (TV)* คือ ปริมาตรของลมที่ผู้ป่วยหายใจเข้าหรือออกต่อการหายใจหนึ่งครั้ง

2. *FRC* คือ ค่าปริมาตรของลมในปอดขณะที่

ผู้ป่วยหายใจออกปกติ

3. *Flow rate* คือ อัตราการไหลของก๊าซที่ปรับตั้งโดยผู้ใช้หรือกำหนดจาก mode ของเครื่อง และมีอยู่ 2 แบบได้แก่ continuous flow และ demand flow โดยที่ continuous flow หมายถึง เครื่องช่วยหายใจจะให้ก๊าซเข้า ventilator circuit ตลอดทั้ง respiratory cycle ส่วน demand flow หมายถึง เครื่องช่วยหายใจจะให้ก๊าซเข้า ventilator circuit เฉพาะช่วงหายใจเข้าและผู้ป่วยจะต้องใช้ inspiratory effort เปิด demand valve เพื่อให้ก๊าซไหลเข้า ventilator circuit

4. *Flow pattern* คือ รูปแบบอัตราการไหลของก๊าซออกจากเครื่องช่วยหายใจ ซึ่งดูได้จาก flow wave form ที่มีลักษณะเด่นได้แก่ constant flow, decelerating flow และ sinusoidal flow (sine wave)

5. *Respiratory rate (RR)* คือ อัตราการหายใจ การปรับตั้งขึ้นกับค่า TV ที่กำหนด พยาธิสภาพของระบบหายใจ ค่า $PaCO_2$ ที่ต้องการ และอัตราการหายใจปกติของผู้ป่วย

6. *Ti and Te* คือ เวลาที่ผู้ใช้เครื่องกำหนดให้ลมเข้าหรือออกจากปอดของผู้ป่วย จะปรับพร้อมค่า I:E ratio ค่าที่กำหนดจะได้มาจากการคำนวณของสมการ compliance X resistance เรียกว่า time constant ดังนั้นถ้าผู้ป่วยเป็นโรคที่มี resistance สูงขึ้น เช่น asthma, acute bronchiolitis ผู้ใช้จะต้องปรับค่า Te ให้ยาวขึ้น แต่ถ้าผู้ป่วยเป็นโรคที่มี compliance ลดลง เช่น HMD, ARDS ผู้ใช้จะสามารถปรับใช้ค่า Ti และ/หรือ Te ให้สั้นกว่าปกติได้ โดยปกติค่า Ti, Te จะประมาณ 3-5 เท่าของ time constant เช่น ทารกปกติ compliance = 0.004 L/cmH_2O, resistance = 30 cmH_2O/L/s ค่า time constant = 0.12 sec ส่วนการตั้งค่า I:E ratio อาศัยหลักที่ว่าปกติการหายใจออกต้องการเวลามากกว่า การหายใจเข้า จึงมักตั้ง I:E ratio อยู่ระหว่าง 1 : 2 หรือ 1 : 3

7. *PIP* คือ ค่าสูงสุดของ airway pressure ในช่วงการหายใจเข้าขณะใช้เครื่องช่วยหายใจ การปรับตั้งค่าที่เหมาะสมดูได้จากการเคลื่อนขึ้นลงของทรวงอกผู้ป่วย หรือจากการฟังเสียงหายใจ ของลมที่เข้าออก (air entry) โดยทั่วไปค่า PIP จะเปลี่ยนแปลงไปตาม flow rate และ Ti เช่น ถ้า flow rate สูงขึ้น PIP จะสูงขึ้นเป็นสัดส่วนกันไป

8. *PEEP* คือ ค่าต่ำสุดของ airway pressure ในช่วงหายใจออก ในผู้ป่วยที่ต้องใส่ท่อช่วยหายใจ physiologic PEEP จะหายไป ดังนั้นเวลาปรับตั้งเครื่องช่วยหายใจตามปกติจะปรับให้มีค่า PEEP อยู่ประมาณ 2-3 cmH_2O เพื่อป้องกัน microatelectasis ส่วนในกรณีที่พยาธิสภาพของปอดเป็นชนิดที่มี lung compliance ต่ำ การใช้ PEEP ที่สูงขึ้นจะทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซดียิ่งขึ้น การเลือกใช้ PEEP ที่เหมาะสม (optimum PEEP) จะสามารถหลีกเลี่ยงการใช้ FiO_2 > 0.6 โดยที่ผู้ป่วยมีค่า PaO_2 และ SaO_2 มากกว่า 60 mmHg และ 90% ตามลำดับ ซึ่งไม่ทำให้ CO, urine output ลดลงและไม่เกิด barotrauma เช่น pneumothorax (ข้อแนะนำ ในเด็กทารกหรือเด็กเล็กไม่ควรตั้ง PEEP สูงเกิน 8 cmH_2O ถ้าเป็นเด็กโตไม่ควรตั้ง PEEP สูงเกิน 15 cmH_2O)

9. *MAP* (mean airway pressure) คือ ค่าเฉลี่ยของความดันในระบบหายใจจาการใช้เครื่องช่วยหายใจซึ่งเกิดในช่วงหายใจเข้า การเพิ่มขึ้นของ MAP จะสัมพันธ์กับการเพิ่มค่า PEEP, PIP, I:E ratio หรือ inspiratory flow การปรับ setting เพื่อเพิ่ม MAP จะทำให้ oxygenation ของผู้ป่วยดีขึ้น เนื่องจากการลดลงของจำนวนถุงลมที่แฟบและช่วยให้สารน้ำที่อยู่ในถุงลมกระจายออกไปบริเวณ interstitial tissues ดังนั้น ผู้ใช้จึงควรเลือกที่จะปรับ setting เพื่อเพิ่มค่า MAP กับผู้ป่วยที่มีภาวะ hypoxemia ซึ่งไม่ตอบสนองต่อการเพิ่ม FiO_2 > 0.5

10. *FiO_2 (fractional inspire oxygen concentration)* คือ ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนในก๊าซ ที่ให้กับผู้ป่วย เพื่อช่วยแก้ไขภาวะ hypoxemia และยังทำหน้าที่เป็น pulmonary vasodilator ที่ดี โดยทั่วไปในระยะเริ่มต้นของการใช้เครื่องช่วยหายใจมักจะปรับ FiO_2 = 1

ต่อมาหลังจากที่อาการของผู้ป่วยดีขึ้น จึงค่อยๆ ปรับให้ FiO_2 ลดลงครั้งละ 0.05-0.1ให้เหลือน้อยสุดเท่าที่จะปรับได้ เพราะถ้าผู้ป่วยได้ $FiO_2 > 0.5$ นานๆ จะทำให้เกิด oxygen toxicity

11. *Sensitivity* คือ ค่าของ trigger threshold สำหรับ assisted breath แต่ละครั้ง ควรปรับตั้งให้เหมาะสมกับท่อช่วยหายใจและ circuit เพื่อไม่ให้ผู้ป่วยต้องใช้แรงมากเกินไป โดยทั่วไปถ้าใช้ pressure trigger มักตั้งไว้ประมาณ (-1)-(-2) cmH_2O หรือเครื่องที่มี flow trigger มักจะตั้งไว้ประมาณ 1-3 L/min. ข้อควรระวังถ้าตั้ง sensitivity ต่ำเกินไปจะทำให้เกิด autocycling

12. *PaO_2* คือ ค่าความดันของก๊าซออกซิเจนในเลือดแดง

13. *$PaCO_2$* คือ ค่าความดันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดง

14. *SpO_2* คือ ค่า oxygen saturation ของฮีโมโกลบินในเลือดแดงที่วัดจาก pulse oximetry

15. *Compliance* คือ การแข็งขึ้น (stiffness) หรือยืดหยุ่น (distensibility) ของปอดและผนังทรวงอก คำนวณได้จากสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรปอด (volume) ต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันในทรวงอก (pressure)

16. *Resistance* คือ ผลรวมของแรงต้านทานต่อการไหลของก๊าซที่เกิดขึ้นในทางเดินหายใจ และส่วนเนื้อเยื่อของปอดและผนังทรวงอก

Mode ต่างๆ ของการช่วยหายใจ

วิธีการช่วยหายใจแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้ [1-5]

- **Controlled mechanical ventilation (CMV)** เป็นวิธีการช่วยหายใจที่เครื่องช่วยหายใจทำหน้าที่แทนผู้ป่วยทั้งหมด ผู้ใช้จะเป็นคนกำหนดค่า TV, RR, Ti และ flow waveform

- **Assisted mechanical ventilation (AMV)** เป็นวิธีการช่วยหายใจที่เครื่องช่วยหายใจจะทำหน้าที่แทนผู้ป่วย แต่วิธีนี้การหายใจของผู้ป่วยจะกระตุ้นให้เครื่องทำงาน ผู้ใช้จะเป็นคนกำหนดค่า TV, Ti, และ flow waveform เหมือนกับการใช้ CMV ต่างกันที่อัตราการหายใจเป็นของผู้ป่วย

- **Assist-control ventilation (A/C)** เป็นวิธีการช่วยหายใจที่เครื่องช่วยหายใจจะถูกกระตุ้นโดยการหายใจของผู้ป่วยบางส่วนหรือทั้งหมด ขึ้นกับอัตราการหายใจของผู้ป่วยและอัตราหายใจที่ตั้งไว้ให้กับเครื่องช่วยหายใจ เช่น ถ้าอัตราการหายใจของผู้ป่วยสูงกว่าอัตราหายใจของเครื่องช่วยหายใจ เครื่องช่วยหายใจก็จะถูกกระตุ้นการทำงานโดยผู้ป่วยเองทั้งหมด เป็นการผสมผสานการทำงานระหว่าง CMV และ AMV ถ้าผู้ป่วยไม่หายใจเองในเวลาที่กำหนด เครื่องก็จะช่วยหายใจด้วยอัตราที่ตั้งไว้ (backup rate) การช่วยหายใจวิธีนี้จะทำโดยเครื่องช่วยหายใจทั้งหมด (full support) ผู้ป่วยจะออกแรงเพียงกระตุ้นให้เครื่องทำงาน ซึ่งปริมาณงาน (WOB) จะขึ้นกับ sensitivity, peak inspiratory flow และ respiratory drive ของผู้ป่วยเอง การตั้ง inspiratory flow rate จึงมีความสำคัญมาก ควรให้เพียงพอกับ flow demand ของผู้ป่วย ถ้า flow rate ไม่พอผู้ป่วยจะต้องเพิ่มแรงในการหายใจมากขึ้น โดยทั่วไปค่า flow demand จะขึ้นกับ minute ventilation ของผู้ป่วย

- **Intermittent mandatory ventilation (IMV)** เป็นวิธีการช่วยหายใจโดยให้เครื่องช่วยหายใจทำงานสลับกับจังหวะการหายใจเอง (spontaneous breathing) ของผู้ป่วย วิธีนี้นิยมใช้สำหรับการเตรียมผู้ป่วยในการที่จะหยุดใช้เครื่องช่วยหายใจโดยการที่ลดอัตราการทำงานของเครื่องช่วยหายใจลงเรื่อยๆ ในขณะที่ปล่อยให้ผู้ป่วยหายใจเองเพิ่มขึ้น ปัญหาของ IMV คือ บางครั้งจังหวะของ IMV จะตรงกับช่วงหายใจออกของผู้ป่วย ทำให้เกิดการต้านเครื่องได้

- **Synchronized intermittent mandatory ventilation (SIMV)** เป็นวิธี IMV ที่เครื่องจะปรับจังหวะ IMV ให้ตรงกับจังหวะที่ผู้ป่วยเริ่มหายใจเอง โอกาสที่จะเกิดการต้านเครื่องก็จะลดลง ซึ่งหลักการทำงานจะ

คล้ายกับ AMV แต่จำนวนครั้งที่เครื่องช่วยหายใจจะคงที่ตามที่กำหนดไว้ โดยผู้ป่วยจะหายใจเองในช่วงระหว่างครั้งของการช่วยหายใจ ข้อดีของ IMV/SIMV เมื่อเปรียบเทียบกับ CMV คือ มีการต้านเครื่องน้อยกว่าทำให้การใช้ยา sedation และ muscle relaxant ลดลง, ค่า MAP ต่ำกว่าทำให้มีผลดีต่อ CO, ลดการเกิด respiratory alkalosis, และช่วงที่ผู้ป่วยหายใจเอง ทำให้ gas distribution ไปยัง dependent lung มากขึ้น ทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซดีกว่าการช่วยหายใจด้วยเครื่อง ข้อเสียคือ ผู้ป่วยอาจไม่ได้รับ ventilatory support ที่เพียงพอ และอาจมีการใช้แรงในการหายใจเพิ่มขึ้นถ้าขณะที่ผู้ป่วยหายใจเองมี flow rate ไม่เพียงพอ, demand valve มี sensitivity สูงหรือ respiratory circuit มี resistance สูง

- **Pressure support ventilation (PSV)** หรือบางคนเรียกว่า inspiratory assist เป็นวิธีการช่วยหายใจที่เครื่องช่วยหายใจสามารถให้ flow rate เสริมเข้ามาในระบบของท่อทางเดินหายใจในขณะที่ผู้ป่วยหายใจเองเพื่อจะช่วยลด resistance ของ circuit, demand valve ของเครื่องและ endotracheal tube ของผู้ป่วย ขณะใช้เครื่องจะทำงานสัมพันธ์กับผู้ป่วยได้ดีเพราะผู้ป่วยจะเป็นผู้กำหนดอัตราการหายใจ และเวลาที่ใช้ขณะหายใจเข้า โดยเครื่องจะกำหนดจุดสิ้นสุดด้วย flow (flow-cycled) หรือเวลา (ถ้า Ti เกินร้อยละ 80 ของเวลารวมที่ใช้หายใจต่อครั้ง) ค่า TV ที่ได้ก็จะเปลี่ยนแปลงไปตาม pressure ที่ตั้งไว้และความต้องการของผู้ป่วยเอง การใช้ PSV ไม่เหมาะกับผู้ป่วยที่ไม่หายใจเองหรือไม่มีแรงพอจะเปิด demand valve

ชนิดของเครื่องช่วยหายใจและวิธีใช้

เครื่องช่วยหายใจในเด็กโตสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ volume ventilator และ pressure ventilator

1. Volume ventilator คือ เครื่องช่วยหายใจที่ควบคุม volume ให้คงที่แต่ pressure ที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปตาม compliance และ resistance ของผู้ป่วยและเครื่องช่วยหายใจ กลไกการทำงานอาจเป็น volume-cycled คือ จุดสิ้นสุดการหายใจเข้าถูกกำหนด โดยปริมาตรที่ให้ หรือเป็น volume-controlled คือ เครื่องจะวัดปริมาตรที่เกิดขึ้นและใช้ปริมาตรนั้นควบคุม volume หรือ flow ให้คงที่ทุกๆ respiratory cycle เครื่องที่มีใช้อยู่ เช่น Puritan-Bennett และ Siemens servo

เมื่อเริ่มใช้เครื่องผู้ใช้จะต้องกำหนดค่า TV หรือ minute volume (TV X RR), Ti/pause time, RR, high pressure limit alarm, low and high minute volume alarm, PEEP, trigger sensitivity, FiO_2 ถ้าเป็นเครื่องรุ่นใหม่ๆ จะมี microprocessor ที่สามารถกำหนด flow waveform แบบต่างๆ ได้ เช่น square, sinusoidal หรือ accelerating or decelerating ramp ประโยชน์ที่ได้จาก flow waveform ในลักษณะต่างๆ ยังไม่มีหลักฐานชัดเจน แต่พบว่าเมื่อใช้ decelerating flow waveform จะมีค่า MAP ที่สูงกว่า และค่า PIP ที่ต่ำกว่า square waveform ทำให้มีการแพร่กระจายของก๊าซที่ดีกว่า โดยทั่วไป flow ที่เครื่องให้จะเป็น demand flow และมี flow waveform แบบ square waveform ซึ่งสัมพันธ์กับค่า TV และ Ti (ตารางที่ 1)

2. Pressure ventilator คือ เครื่องช่วยหายใจที่ควบคุม pressure ให้คงที่ ส่วน volume ที่ได้จะเปลี่ยนแปลงไปตาม compliance และ resistance ของผู้ป่วยและเครื่องช่วยหายใจ กลไกการทำงานอาจเป็น pressure-cycled คือ จุดสิ้นสุดการหายใจเข้าถูกกำหนดโดย PIP ที่ตั้งไว้ flow ในเครื่องชนิดนี้จะเป็น constant flow และเป็นตัวกำหนด Ti เมื่อ flow rate สูง Ti จะสั้นเพราะ PIP ถึงจุดที่กำหนดไว้เร็ว เครื่องช่วยหายใจที่ใช้กลไกนี้ ได้แก่ Bird ventilator ซึ่งไม่นิยมใช้ในเด็ก Pressure ventilator ในปัจจุบันที่นิยมใช้เป็น pressure-controlled คือ เครื่องจะให้ flow waveform เป็นแบบ decelerating flow waveform และสามารถควบคุม