

เครื่องช่วยหายใจแบบปริมาตรในทารกแรกเกิด

Volume targeted ventilator of newborn

อนุชา ธาตรีมนตรีย์ชัย

วาริชา เจนจินดามัย

Anucha Thatrimontrichai

Waricha Janjindamai

หน่วยทารกแรกเกิด ภาควิชากุมารเวชศาสตร์
คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่
จ.สงขลา 90110

Division of Neonatology, Department of Pediatrics,
Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla,
90110, Thailand

E-mail: tanucha@medicine.psu.ac.th
Songkla Med J 2010;28(3):155-167

บทคัดย่อ:

ปัจจุบันความก้าวหน้าในการดูแลทารกแรกเกิดที่ดี ส่งผลให้ทารกเกิดก่อนกำหนดมีการรอดชีวิตเพิ่มมากขึ้น แต่ทารกที่รอดชีวิตประสบปัญหาเรื่องโรคปอดเรื้อรัง ได้บ่อย ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นผลจากการบาดเจ็บของปอด จากการใช้เครื่องช่วยหายใจ โดยเครื่องช่วยหายใจที่มีความดันเป็นขีดจำกัดได้ถูกพัฒนาเพื่อให้ได้ประโยชน์ ทั้งการมีความดันเป็นขีดจำกัดและทารกได้รับปริมาตร ก๊าซตามที่ตั้งไว้เมื่อความดันหรือระยะเวลาในการหายใจเข้า ถูกประมวลผ่านตัวประมวลผลจุลภาค เทคโนโลยีสมัยใหม่ ในเครื่องช่วยหายใจทำให้ยากต่อการที่แพทย์จะตัดสินใจ เลือกใช้แบบของการช่วยหายใจ (mode) ที่เหมาะสมที่สุด กับทารกแต่ละราย ในแต่ละแบบของการช่วยหายใจ มีทั้งข้อดี ข้อเสีย และมีข้อมูลจำกัดที่จะนำมาช่วยการ ตัดสินประสิทธิภาพของเครื่องช่วยหายใจ

คำสำคัญ: เครื่องช่วยหายใจ, ทารกแรกเกิด, ปริมาตร

รับต้นฉบับวันที่ 10 พฤศจิกายน 2552 รับลงตีพิมพ์วันที่ 15 มีนาคม 2553

Abstract:

Advances in neonatal care have led to significant improvements in the survival of preterm infants. However, bronchopulmonary dysplasia (BPD) continues to be a major problem in these infants. BPD is in part thought to be the result of ventilator-induced lung injury. A number of modifications to pressure-limited ventilation have been developed to combine the advantages of pressure-limited ventilation with the benefits of controlling delivered tidal volume. These modalities are designed to deliver a targeted tidal volume by microprocessor-directed adjustments of inspiratory pressure or time. These new choices in ventilator technology can make it difficult to select the most appropriate mode for each infant. Each mode has advantages and disadvantages, with limited data available to judge their effectiveness.

Key words: newborn, ventilator, volume

บทนำ

กุมารแพทย์ส่วนใหญ่ยังคงใช้เครื่องช่วยหายใจชนิด ธรรมดา (conventional mechanical ventilator) กับ ทารกที่มีปัญหาเรื่องการหายใจล้มเหลว เป็นการรักษา เบื้องต้นมากกว่าการใช้เครื่องช่วยหายใจแบบความถี่สูง หรือการใช้ก๊าซไนตริกออกไซด์ เนื่องจากการใช้งานที่ ง่ายกว่าและค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า เครื่องช่วยหายใจชนิด

ธรรมดาแม้จะสามารถช่วยให้ทารกที่มีปัญหาในระบบหายใจรอดชีวิตมากขึ้น แต่สิ่งที่เกิดขึ้นตามมา คือ การบาดเจ็บของปอดจากการใช้เครื่องช่วยหายใจ (ventilator-induced lung injury; VILI) และโรคปอดเรื้อรัง (broncho-pulmonary dysplasia; BPD) ที่เพิ่มมากขึ้น โดย VILI เกิดจากปัจจัยเสี่ยงต่างๆ เช่น การบาดเจ็บของปอดจากความดันสูง (barotrauma) ปริมาตรที่ให้แก่ทารกมีค่าไม่คงที่ ถ้าทารกได้รับปริมาตรที่น้อยเกินไปจะทำให้เกิดการบาดเจ็บของปอดจากภาวะถุงลมแฟบ (atelectotrauma) ซึ่งส่งผลให้เกิดการหลั่งสารที่ทำให้เกิดการอักเสบ (inflammatory mediators) และมีการหลั่งสารที่มีโปรตีนสูง (protein-rich exudate) จะยับยั้งการทำงานของสารลดแรงตึงผิวในปอด (surfactant inactivation) ในทางตรงกันข้าม ถ้าทารกได้รับปริมาตรที่มากเกินไป จะส่งผลทำให้เกิดการบาดเจ็บของปอดจากปริมาตรที่มากเกินไป (volutrauma) อีกทั้งอันตรายโดยตรงจากกลไกต่างๆ ที่ปอดยังพัฒนาได้ไม่เต็มที่ เช่น การอักเสบหรือการสร้างอนุมูลอิสระส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บของปอดทางชีวภาพ (bio-trauma)¹⁻⁷

การศึกษาเมื่อ 20 ปีก่อนในกระต่าย พบการบาดเจ็บในปอดอย่างรุนแรง จากการช่วยหายใจด้วยความดันที่สูงมาก ในทางตรงกันข้ามถ้าใช้ความดันที่สูงเท่าเดิมแต่จำกัดการเคลื่อนไหวของทรวงอกและกระบังลมโดยการผูกมัดไว้ทำให้สัตว์ทดลองได้รับปริมาตรก๊าซลดลง พบการบาดเจ็บของปอดน้อยกว่า⁸ ผลการศึกษาดังกล่าวและการทดลองในลักษณะเดียวกันต่อมา พบว่าการบาดเจ็บของปอดในทารกที่ใช้เครื่องช่วยหายใจเป็นผลมาจากการบาดเจ็บของปอดจากปริมาตรมากกว่าความดันที่สูง เพราะเมื่อเครื่องช่วยหายใจจ่ายปริมาตรที่พอเหมาะให้แก่ทารกและปอดมีการขยายตัวที่เหมาะสม พบว่าการใช้ความดันที่สูงไม่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บในปอดของทารกที่มากขึ้น¹⁻⁸

จากปัญหาดังกล่าวจึงมีการพัฒนาศักยภาพของเครื่องช่วยหายใจรุ่นใหม่ ซึ่งอาศัยหลักการพื้นฐานทางสรีรวิทยาเพื่อลดการเกิดภาวะ VILI วิธีการหนึ่งในการ

ป้องกันภาวะดังกล่าว โดยการจำกัดปริมาตรที่เครื่องช่วยหายใจส่งให้แก่ทารก เช่น เครื่องช่วยหายใจแบบปริมาตรเป้าหมายเพื่อการควบคุมปริมาตรและเพื่อลดภาวะ VILI⁹⁻¹² ดังนั้น แพทย์และบุคลากรทางการแพทย์ที่ดูแลทารกแรกเกิด ควรมีความรู้ทั้งในเรื่องหลักการทำงาน วิธีการใช้ และหลักฐานเชิงประจักษ์ทางการแพทย์ในแง่ของข้อดี ข้อเสีย ศักยภาพ รวมทั้งความปลอดภัยที่จะเกิดขึ้นในทารกที่แพทย์ได้ตัดสินใจจะเลือกใช้เครื่องช่วยหายใจชนิดนี้

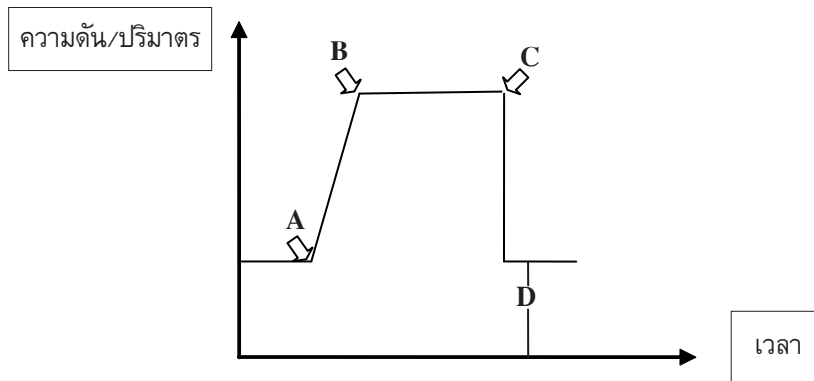
หลักการทำงานของเครื่องช่วยหายใจ⁵

เครื่องช่วยหายใจสามารถปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ ครั้งต่อครั้งของการหายใจได้ตามความเหมาะสมของพยาธิสรีรวิทยา (pathophysiology) และกลวิธานของโรคปอด (lung mechanic) โดยแบ่งเป็นเครื่องช่วยหายใจชนิดควบคุมความดันหรือปริมาตร (pressure หรือ volume controlled) และเครื่องช่วยหายใจแบบ pressure หรือ volume support ดังนี้

1. เครื่องช่วยหายใจแบบ pressure หรือ volume controlled

เครื่องช่วยหายใจชนิดนี้จะมีค่าความดันหรือปริมาตรเป็นตัวควบคุมการทำงานหลัก สามารถเริ่มต้นโดยการตั้งค่าตัวแปรต่างๆ เช่น ความดัน ปริมาตร การไหลของก๊าซหรือเวลา เป็นแบบของการช่วยหายใจ (mode) เพื่อใช้ในการกำหนดค่าตัวกระตุ้น (trigger) ชีตจำกัด (limit) รอบการทำงาน (cycle) หรือค่าพื้นฐาน (baseline) ในหนึ่งรอบการหายใจ โดยรายละเอียดการทำงานของแต่ละค่าแจกแจงได้ ดังนี้

1.1. ตัวกระตุ้น เครื่องช่วยหายใจจะวัดตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งหรือหลายๆ ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเป็นสมการของการขับเคลื่อน (equation of motion) เช่น ความดัน ปริมาตร การไหลของก๊าซหรือเวลา เป็นต้น ทำให้เครื่องช่วยหายใจรับรู้เพื่อเริ่มต้นให้มีการหายใจเข้า การหายใจเข้าจะเริ่มขึ้นเมื่อค่าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งถึงค่าที่ตั้งไว้ โดยตัวกระตุ้นส่วนใหญ่จะเป็นการไหลของก๊าซหรือเวลา เช่น เครื่องช่วยหายใจแบบ intermittent mandatory ventilation หรือตัวกระตุ้น



รูปที่ 1 ตัวแปรของการหายใจจากเครื่องช่วยหายใจ (mechanical breathing) ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าต่างๆ เช่น ความดัน ปริมาตร หรือการไหลของก๊าซ โดยจุด A คือ ตัวกระตุ้น จุด B คือ ชีตจำกัดความดัน ปริมาตรหรือการไหลของก๊าซ จุด C คือ รอบการทำงาน และ D คือ ค่าพื้นฐาน⁵

ที่ใช้ความดันที่เปลี่ยนแปลง คือ เมื่อมีแรงที่ใช้ในการหายใจเข้าถูกตรวจวัดขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของความดันในระดับสิ้นสุดการหายใจออก (end-expiratory pressure) เช่น เครื่องช่วยหายใจแบบ patient trigger ventilation (รูปที่ 1 จุด A)

1.2. ชีตจำกัด ในแต่ละครั้งของการหายใจเข้า จะมีการจำกัดค่าตัวแปรต่างๆ ไม่ให้เกินค่าที่ตั้งไว้ไม่ว่าจะเป็นความดัน ปริมาตรหรือการไหลของก๊าซที่จะเพิ่มขึ้นในขณะที่หายใจเข้า แต่ระยะเวลาของการหายใจไม่สามารถเป็นชีตจำกัดได้ โดยเครื่องช่วยหายใจที่ใช้ในทารกส่วนใหญ่จะตั้งความดันเป็นชีตจำกัด (รูปที่ 1 จุด B)

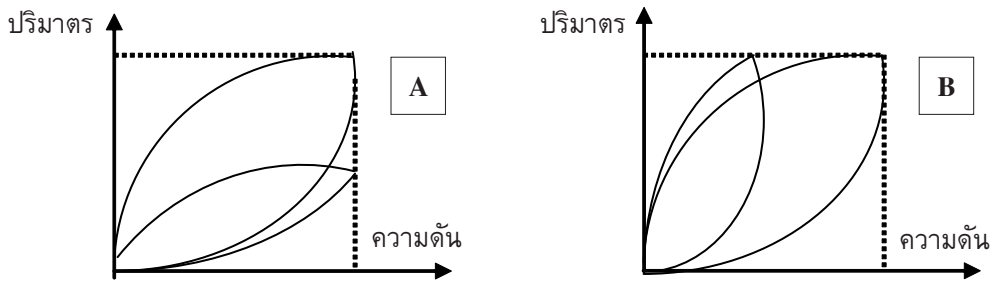
1.3. รอบการทำงาน เป็นตัวแปรการหยุดหรือสิ้นสุดการช่วยหายใจเข้าในแต่ละครั้งของเครื่องช่วยหายใจเมื่อถึงค่าที่ตั้งไว้ โดยเครื่องช่วยหายใจที่ใช้ในทารกส่วนใหญ่รวมทั้งเครื่องช่วยหายใจแบบความถี่สูงจะใช้ระยะเวลาในการหายใจเข้าเป็นรอบการทำงาน หรือ time cycle (รูปที่ 1 จุด C)

1.4. ค่าพื้นฐาน เป็นตัวแปรพื้นฐานประกอบด้วยความดันและปริมาตรที่เหลือค้างในปอดขณะที่ทารกสิ้นสุดการหายใจออก เช่น ความดันบวกในทางเดินหายใจเมื่อสิ้นสุดการหายใจออก (positive end-expiratory pressure; PEEP) (รูปที่ 1 จุด D)

เครื่องช่วยหายใจแบบ pressure controlled จะส่งก๊าซให้แก่ทารกจนถึงค่าความดันตามที่ผู้ใช้เครื่องช่วยหายใจตั้งไว้ เช่น เมื่อตั้งความดันไว้ค่าหนึ่ง จะได้ปริมาตรที่อาจจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความหยุ่น (compliance) และแรงต้านทาน (resistance) ของปอด (รูป 2 จุด A) ในทางตรงกันข้าม เครื่องช่วยหายใจแบบ volume controlled จะส่งก๊าซแต่ละครั้งของการช่วยหายใจ (tidal volume; VT) ในปริมาตรเท่าเดิมโดยไม่คำนึงถึงความดันที่เกิดขึ้นในปอดของทารก จึงส่งผลให้ความดันที่เกิดขึ้นแตกต่างกันตามปริมาตรที่ตั้งไว้ (รูป 2 จุด B)

2. เครื่องช่วยหายใจแบบ pressure หรือ volume support

เครื่องช่วยหายใจชนิดนี้ ทารกเป็นผู้กำหนดรอบของการหายใจ (patient-triggered) โดยเครื่องจะวัดค่าตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการหายใจเองของทารกเพื่อกำหนดการช่วยหายใจ โดยการไหลของก๊าซขณะหายใจเข้าเป็นรอบการทำงาน (flow cycle) และมีความดันหรือปริมาตรก๊าซเป็นชีตจำกัด (pressure or volume limit) ตามแต่ชนิดของเครื่องช่วยหายใจว่าเป็นแบบ pressure หรือ volume support ตามลำดับ เนื่องจากทารกเป็นผู้กำหนดรอบการหายใจ ดังนั้นทารกจำเป็นต้องมีแรงที่ใช้กระตุ้นเพื่อเริ่มต้นการหายใจเข้า (respiratory drive) ที่ดีพอเนื่องจากการช่วย



รูปที่ 2 ความแตกต่างระหว่างเครื่องช่วยหายใจแบบ pressure controlled (A) และ volume controlled (B) โดยรูป A ทารกจะได้รับปริมาตรก๊าซที่แตกต่างกันในขณะที่เครื่องช่วยหายใจจ่ายความดันที่เท่ากัน ในทางตรงกันข้ามรูป B เครื่องช่วยหายใจจ่ายปริมาตรก๊าซที่เท่ากันแต่ทารกจะได้รับความดันที่แตกต่างกันตามพยาธิสภาพของปอดทารก⁵

หายใจชนิดนี้ไม่มีระบบประกันจำนวนรอบของการช่วยหายใจ (backup) ที่แท้จริง นิยมในกรณีที่ต้องการนำทารกออกจากเครื่องช่วยหายใจ (weaning) แพทย์สามารถเลือกการทำงานของเครื่องช่วยหายใจแบบ pressure หรือ volume support ร่วมกับ pressure หรือ volume controlled ได้ ตามลำดับ

เครื่องช่วยหายใจแบบปริมาตรสำหรับทารกแรกเกิด

ได้มีการพัฒนาเครื่องช่วยหายใจแบบ volume-controlled ซึ่งดัดแปลงจากเครื่องช่วยหายใจผู้ใหญ่ แต่ปัญหาของเครื่องช่วยหายใจชนิดนี้คือ ความไวไม่เพียงพอในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ใช้กระตุ้นเครื่องช่วยหายใจให้เริ่มทำงาน ระยะเวลาของการตอบสนองของเครื่องช่วยหายใจที่ช้าเกินไป และอัตราการไหลของก๊าซที่ไม่ต่อเนื่องในขณะที่ทารกมีการหายใจด้วยตนเองขณะที่ใช้เครื่องช่วยหายใจ ทำให้เครื่องช่วยหายใจชนิดนี้หมดความนิยมลง แต่การพัฒนาและปรับปรุงเครื่องช่วยหายใจยังคงมีต่อไป ไม่เพียงแต่พัฒนาตัวรับการกระตุ้น (sensor) ของเครื่องช่วยหายใจให้ไวขึ้น แต่ยังพัฒนาวิธีการวัดและจ่ายปริมาตรที่น้อยมากในแต่ละครั้งของการช่วยหายใจ ให้เหมาะสมกับการหายใจของทารกเกิดก่อนกำหนด โดยเฉพาะอย่างยิ่งทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยมาก

ความแตกต่างของเครื่องช่วยหายใจแบบปริมาตรกับเครื่องช่วยหายใจแบบ time-cycled, pressure-limited (TCPL ventilator) คือ เครื่องช่วยหายใจแบบปริมาตรจะพยายามให้ทารกได้รับปริมาตรคงที่ โดยปรับลดและเพิ่มความดันตามปริมาตรที่ต้องการจ่ายให้กับทารกตามที่ตั้งค่าไว้เมื่อพยาธิสภาพของปอดเปลี่ยนแปลงไป เพื่อลดการบาดเจ็บของปอดจากปริมาตรที่มากเกินไป แต่ต้องระวังเรื่องความดันที่สูงร่วมด้วย โดยการที่แพทย์ตั้งขีดจำกัดของความดันที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งของการหายใจ ส่วนเครื่องช่วยหายใจแบบ TCPL จะมีประโยชน์ในแง่ช่วยลดการออกแรงในการหายใจเนื่องจากการกระจายของก๊าซดีขึ้นในช่วงต้นของการหายใจเข้า และมีความดันสูงสุดคงที่ตลอดการหายใจเข้า แต่อาจส่งผลให้ทารกได้รับปริมาตรสูงเกินไปเมื่อพยาธิสภาพของปอดดีขึ้น (ตารางที่ 1 และรูปที่ 3)^{13, 14}

วิธีการใช้เครื่องช่วยหายใจแบบปริมาตร ปริมาตรที่เหมาะสมสำหรับทารก คือ 5-7 มล./กก. แต่เพื่อความปลอดภัยนิยมใช้ในปริมาตร 4-7 มล./กก. โดยพบว่าปริมาตรที่มากกว่า 8 มล./กก. เป็นปริมาตรที่มากเกินไป ส่งผลอันตรายต่อปอดได้และปริมาตรในการหายใจภายใน 1 นาที (minute ventilation; MV) ของทารกปกติจะมีค่า 240-480 มล./กก./นาที โดยเครื่องช่วยหายใจแบบปริมาตร สามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้ (ตารางที่ 2 และ 3)^{3, 15-18}

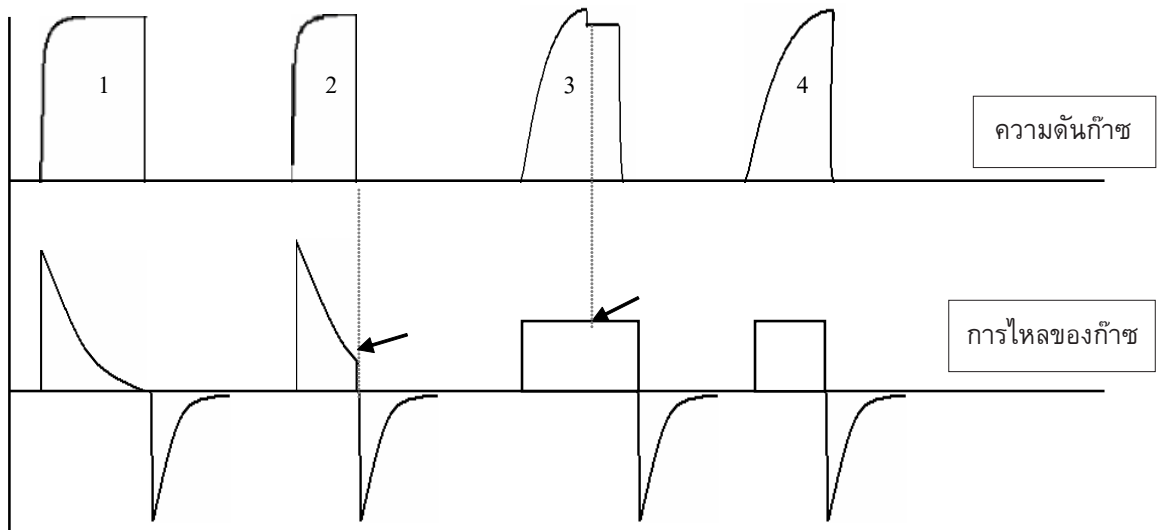
ตารางที่ 1 ข้อแตกต่างของเครื่องช่วยหายใจแบบ volume-targeted เปรียบเทียบกับ pressure-limited

ตัวแปร	Volume-targeted	Pressure-limited
1. Control variable	- ปริมาตร	- ความดัน
2. Phase variable		
2.1 ตัวกระตุ้น	- ผู้ป่วย/เครื่องช่วยหายใจ	- ผู้ป่วย/เครื่องช่วยหายใจ
2.2 ชีตจำกัด	- การไหลของก๊าซ	- ความดัน
2.3 รอบการทำงาน	- ปริมาตรหรือการไหลของก๊าซ	- เวลาที่ใช้ในการหายใจเข้าหรือการไหลของก๊าซ
2.4 ปริมาตรที่ได้รับ	- คงที่	- เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา
2.5 ความดันสูงสุด	- เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา	- คงที่
3. รูปแบบการไหลของก๊าซ	- รูปสี่เหลี่ยม (square)	- รูป ramp-descending
4. การช่วยหายใจแบบ (mode)	- IMV, SIMV, A/C, PSV	- IMV, SIMV, A/C, PSV
5. ข้อดี	- minute ventilation จะค่อยๆเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงตามการเพิ่มขึ้นของ V_T - ทารกสามารถออกจากเครื่องช่วยหายใจด้วยตนเอง คือสามารถปรับลดความดันของเครื่องช่วยหายใจที่ให้แก่ทารกเองในขณะที่ยังคงได้ V_T ตามที่ต้องการเมื่อพยาธิสภาพของปอดดีขึ้น - V_T ที่เครื่องช่วยหายใจส่งให้แก่ทารกจะคงที่ แม้ว่าความหยุ่นของปอดจะเปลี่ยนไป	- การกระจายของก๊าซในปอดดีขึ้นเนื่องจากความดันที่สูงในตอนเริ่มต้นของการหายใจเข้า - ลดแรงที่ใช้ในการหายใจโดยการไหลของก๊าซที่สูงตั้งแต่การเริ่มต้นของการหายใจเข้าในเครื่องช่วยหายใจแบบ pressure-controlled
6. ข้อเสีย	- การบาดเจ็บของปอดจากความดันที่มากเกินไปในกรณีที่ไม่ได้ตั้งค่าขีดจำกัดของความดัน - การไหลของก๊าซตลอดเวลา ทำให้ไม่ตรงกับความต้องการของทารก (flow starvation) ส่งผลให้ทารกออกแรงเพื่อช่วยการหายใจมากขึ้น	- จำกัดความดันไม่ให้เกินค่าที่ตั้งไว้เพื่อลดการบาดเจ็บของปอดจากความดันที่มากเกินไป - ปริมาตรที่ทารกได้รับไม่คงที่อาจมีบางครั้งมากเกินไปหรือน้อยเกินไปจากพยาธิสภาพปอดที่ขึ้นหรือแยลง ตามลำดับ

A/C, Assist/control; IMV, Intermittent mechanical ventilation; PS, Pressure support; SIMV, Synchronized intermittent mandatory ventilation; V_T , Tidal volume

1. volume controlled เป็นยุคแรกๆของเครื่องช่วยหายใจแบบปริมาตร โดยควบคุมให้ปริมาตรในการหายใจเข้าได้ตามที่ตั้งไว้ โดยเครื่องช่วยหายใจสามารถปรับลดความดันเองได้ตามพยาธิสภาพของปอด (auto-weaning) คือ เมื่อพยาธิสภาพในปอดดีขึ้น เครื่องช่วยหายใจจะปรับความดันให้ลดลง ตรงกันข้ามเมื่อพยาธิสภาพในปอดแย่ลง ความดันจะปรับเพิ่มสูงขึ้น และเนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องต่างๆ ของเครื่องช่วยหายใจ

ชนิดนี้ เช่น การจ่ายก๊าซที่ไม่ต่อเนื่อง ความไวของเครื่องช่วยหายใจรุ่นแรกไม่เพียงพอที่จะรับรู้การกระตุ้นจากทารกและระยะเวลาในการตอบสนองของเครื่องช่วยหายใจที่ช้าเกินไป ทำให้การช่วยหายใจแบบนี้หมดความนิยมในการดูแลทารกแรกเกิดในภาวะวิกฤต ส่งผลให้เครื่องช่วยหายใจแบบ pressure-limited, time-cycled และ continuous flow เป็นเครื่องช่วยหายใจที่เป็นมาตรฐานตลอด 30 ปีที่ผ่านมา



รูปที่ 3 ข้อแตกต่างของรอบการทำงานในเครื่องช่วยหายใจแบบ pressure-limited กับ volume-targeted¹⁴

รอบการทำงานของกราฟรูปที่ 1 และ 2 แสดงการช่วยหายใจแบบ **pressure-limited**

1. คุณสมบัติของความดันขณะหายใจเข้า คือ สามารถตั้งค่าความดันเองได้ เป็นขีดจำกัด และค่าคงที่
2. การไหลของก๊าซขณะหายใจเข้า เป็นกราฟแบบ decelerating และไม่จำกัดค่าสูงสุด
3. กลไกการทำงานใน 1 รอบการช่วยหายใจ อาศัย

- 3.1 เวลา: ในกรณีที่เครื่องช่วยหายใจแบบ pressure controlled, time-cycled pressure limited (กราฟที่ 1)
- 3.2 การไหลของก๊าซ: ในกรณีที่เครื่องช่วยหายใจแบบ pressure support, flow-synchronized (กราฟที่ 2) โดยลูกศรที่ชี้แสดงจุดตัดการไหลของก๊าซเพื่อสิ้นสุดการหายใจเข้า คำนวณจากร้อยละของ peak inspiratory flow (การไหลของก๊าซในเวลาที่หายใจเข้า) เป็นตัวเลขที่บอกร้อยละของความเร็วการไหลของก๊าซที่เหลือจากความเร็ว (speed) สูงสุดของการไหลของก๊าซหายใจเข้า เช่น ร้อยละ 20 หมายถึง เมื่อการไหลของก๊าซลดลงไปร้อยละ 80 ของการไหลของก๊าซสูงสุด เครื่องช่วยหายใจจะหยุดการไหลของก๊าซทันที เพื่อช่วยให้เกิดการประสานกันของการเริ่มต้นช่วงหายใจออกระหว่างเครื่องช่วยหายใจกับทารก

รอบการทำงานของกราฟรูปที่ 3 และ 4 แสดงการช่วยหายใจแบบ **volume-targeted**

1. คุณสมบัติของปริมาตรขณะหายใจเข้า คือ สามารถตั้งค่าปริมาตรเองได้ เป็นขีดจำกัด และค่าคงที่
2. ความดันขณะหายใจเข้า เป็นกราฟแบบครีปปลายแหลม คือ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ
3. กลไกการทำงานใน 1 รอบการช่วยหายใจ อาศัย

- 3.1 เวลา: ในกรณีที่เครื่องช่วยหายใจแบบปริมาตรร่วมกับการตั้งเวลาการหยุดไหลของก๊าซในเวลาที่หายใจเข้า (inspiratory pause time) ดังลูกศรชี้ในกราฟที่ 3 ซึ่งเป็นเวลาที่หยุดในช่วงท้ายของการหายใจเข้าเมื่อทารกได้รับปริมาตรที่ต้องการ โดยในระยเวลาดังกล่าวจะไม่มีกรไหลของก๊าซเกิดขึ้น จากการปิดลิ้นหายใจเข้าและออกของเครื่องช่วยหายใจ โดยความดันที่เกิดขึ้นจะคงที่ (plateau pressure) และเท่ากับความดันในถุงลม (alveolar pressure)
- 3.2 ปริมาตร: ในกรณีที่เครื่องช่วยหายใจแบบ volume-controlled (กราฟที่ 4) คือ ความดันจะหยุดลงทันทีเมื่อปริมาตรที่วัดได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

ตารางที่ 2 ชนิดของเครื่องช่วยหายใจแบบปริมาตร

แบบของ volume-targeted	ชื่อทางการค้า	รูปแบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
volume controlled	1. VIP Bird Gold® 2. Marquet Servo 300®	- ตั้ง V_T ได้ตามที่ต้องการ - PIP, Flow และ T_i สามารถปรับเปลี่ยน ได้ในการหายใจแต่ละครั้ง	- ได้ V_T ตามที่ตั้งไว้ - สามารถนำทารกออกจากเครื่องช่วยหายใจเองได้ (autoweaning) เมื่อความดันปอดดีขึ้น	- วัด V_T ในลิ้นหายใจของเครื่องช่วยหายใจ จึงรวมเอา dead space รวมด้วย - ไม่มีการไหลของก๊าซอย่างต่อเนื่อง
volume limited	1. Bearcub 750 PSV® 2. SLE 5000®	- เป็นเครื่องช่วยหายใจแบบ TCPL ร่วมกับจกัปริมาตร - วัด V_T ทั้งลิ้นหายใจและออกของ เครื่องช่วยหายใจ	- หลีกเลี่ยง V_T ที่มากเกินไป	- ไม่สามารถนำทารกออกจากเครื่องช่วยหายใจ เองได้เมื่อความดันปอดดีขึ้น - ไม่มีการปรับขีดเซตปริมาตรที่ไม่เพียงพอ - หยุดการหายใจเข้าอย่างทันทีเมื่อได้ปริมาตร ตามที่ตั้งไว้ ทำให้การหายใจเข้าระหว่าง เครื่องช่วยหายใจและการไม่สัมผัสกัน
pressure-regulated volume controlled (PRVC)	1. Marquet Servo 300® 2. Marquet Servo-I® 3. Inspiration® Infant LS	- volume controlled ร่วมกับการตั้งจกัปริมาตร สูงสุดของ PIP - ปรับ PIP (ไม่เกิน 5 ซม.น้ำและค่า สูงสุดที่ตั้งไว้) ตามการหายใจ 4 ครั้ง ก่อนหน้าเพื่อให้ได้ V_T ที่ตั้งไว้	- ควบคุมค่า PIP เพื่อลด barotrauma	- วัด V_T ในลิ้นหายใจของเครื่องช่วย หายใจจึงรวมเอา dead space รวมด้วย
volume-assured pressure support (VAPS)	1. VIP Bird Gold® 2. Avea®	- เป็นแบบผสม โดยเริ่มต้นที่ pressure-limited ถ้า V_T ยังไม่ถึงค่าที่ตั้งไว้จะเปลี่ยน การช่วยหายใจเป็นแบบ flow-cycled โดยการเพิ่ม T_i เพื่อให้ได้ V_T ตามที่ตั้งไว้	- ได้ V_T ใกล้เคียงกับค่าที่ตั้งไว้ - Avea® เพิ่มการจกัปริมาตร เพื่อป้องกันปริมาตรที่สูงเกินไป	- ไม่สามารถนำทารกออกจากเครื่องช่วยหายใจ เองได้เมื่อความดันปอดดีขึ้น - VIP Bird Gold® ไม่มีการจกัปริมาตร ส่งผลให้ทารกได้รับ V_T ที่สูงและเกิดอันตรายได้
volume guarantee	1. Drager Babylog 8000 plus® 2. Drager Babylog VN 500	- ตั้ง V_T และ pressure limited - ตั้งค่าการไหลของก๊าซที่ช่วงการหายใจ เข้าและการหายใจออกโดยการตรวจวัด ที่ท่อหลอดลมคอ - ปรับ PIP (± 3 ซม.น้ำ) ตามการหายใจ 8-10 ครั้งก่อนหน้าเพื่อให้ได้ค่า V_T ที่ตั้งไว้	- สามารถปรับขีดเซตปริมาตรที่รั่วไหล ของก๊าซจากท่อหลอดลมคอ (Endo-tracheal leakage) - สามารถนำทารกออกจากเครื่องช่วย หายใจเองได้เมื่อความดันปอดดีขึ้น - ปรับเพิ่ม V_T ครั้งต่อไปไม่เกินร้อยละ 30 ของ V_T ก่อนหน้า	- การวัดค่า V_T ไม่เที่ยงตรงถ้ามีการรั่วไหลของ ก๊าซจากท่อหลอดลมคามากกว่าร้อยละ 40

PIP, Peak inspiratory pressure; T_i , Inspiratory time; V_T , Tidal volume

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของเครื่องช่วยหายใจแบบปริมาตร

เครื่องช่วยหายใจแบบ	รอบการทำงาน	ชนิดจำกัด	การช่วยหายใจแบบ	ตำแหน่งตัวรับรู้การหายใจ	ปริมาตรที่มีผลต่อการช่วยหายใจ
volume controlled	ปริมาตร	การไหลของก๊าซ	IMV, SIMV, A/C	ภายในเครื่องช่วยหายใจ	ปริมาตรขณะที่หายใจเข้า (โดยแสดงค่าทั้งปริมาตรที่หายใจเข้าและออก)
volume limited	เวลา	ความดัน ร่วมกับ ปริมาตร	SIMV, A/C, PS	ที่ Wye piece	ปริมาตรขณะที่หายใจเข้า (โดยแสดงค่าทั้งปริมาตรที่หายใจเข้าและออก)
pressure-regulated volume controlled (PRVC)	เวลา	ความดัน	SIMV, A/C, PS	ภายในเครื่องช่วยหายใจ	ปริมาตรขณะที่หายใจออก
volume-assured ressure support (VAPS)	ปริมาตร หรือ การไหลของก๊าซ	ความดัน (VIP bird Gold®) หรือ ปริมาตร (Avea®)	SIMV, A/C, PS	ภายในเครื่องช่วยหายใจ	ปริมาตรขณะที่หายใจเข้า
volume guarantee	เวลา	ความดัน	SIMV, A/C, PS	ที่ Wye piece	ทั้งปริมาตรที่หายใจเข้าและออก

A/C, Assist/control; IMV, Intermittent mechanical ventilation; PS, Pressure support; SIMV, Synchronized intermittent mandatory ventilation

2. volume limited เช่น เครื่องช่วยหายใจของ Bear Cub 750 PSV[®] (Viasys Medical Systems Conshohocken, PA) และ SLE 5000[®] (Specialised Laboratory Equipment Ltd, South Croydon, UK) สำหรับเครื่องช่วยหายใจชนิด Bear Cub 750 PSV[®] ไม่ได้เป็นการช่วยหายใจแบบปริมาตรที่แท้จริง เนื่องจากมีเพียงการเพิ่มขีดจำกัดของ V_T ไม่ให้เกินค่าที่กำหนดไว้เพิ่มเติมจากเดิมที่มีเพียงการช่วยหายใจแบบ pressure-limited กล่าวคือเมื่อ V_T เกินค่าที่ตั้งไว้เครื่องช่วยหายใจจะหยุดการปล่อยก๊าซในช่วงหายใจเข้าเพื่อป้องกันการบาดเจ็บของปอดจากปริมาตรที่สูงเกินไป ส่งผลให้ระยะเวลาในการหายใจเข้า (inspiratory time; T_i) สั้นและหยุดลงทันที ทำให้การหายใจเข้าของทารกและการช่วยหายใจจากเครื่องช่วยหายใจไม่สัมพันธ์กัน สำหรับเครื่องช่วยหายใจชนิด SLE 5000[®] มีการพัฒนาเพิ่มการช่วยหายใจแบบ targeted tidal volume (TTV) ขึ้น ข้อดีคือเมื่อความหยุนปอดไม่ดี ทารกจะได้รับการช่วยหายใจด้วยความดันและปริมาตรที่ไม่เพียงพอ เครื่องช่วยหายใจจะเพิ่มระยะเวลาของการหายใจเข้า ส่งผลให้ทารกได้รับความดันสูงขึ้นและได้ V_T ตามเป้าหมายที่ต้องการ และถ้าการช่วยหายใจแบบ volume limited ถูกปิดโดยไม่ได้ตั้งใจ เครื่องช่วยหายใจจะมีระบบความปลอดภัยแก่ทารก โดยปรับขีดจำกัดของความดันขณะที่หายใจเข้าสูงสุด (peak inspiratory pressure; PIP) ลงให้เหลือสูงกว่าค่า PEEP 5 ซม.น้ำ เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้อากาศได้รับ V_T มากเกินไปจากความดันที่สูงเมื่อไม่มีการช่วยหายใจแบบ volume limited และมีการร้องเตือน (alarm) เช่น V_T ไม่เพียงพอ ผู้ดูแลจำเป็นต้องปรับค่า PIP ซึ่งเป็นขีดจำกัดของความดันให้สูงขึ้น เพื่อให้ทารกได้รับ V_T ตามที่ต้องการ แต่เครื่องช่วยหายใจชนิดนี้มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถปรับลดค่าความดันขณะที่หายใจเข้าเองได้อย่างอัตโนมัติเมื่อพยาธิสภาพของปอดดีขึ้น

3. pressure-regulated volume controlled (PRVC) เป็นเครื่องช่วยหายใจแบบ pressure limited, time-cycled เช่น เครื่องช่วยหายใจชนิด Inspiration[®]

Infant LS (eVent Medical Ltd, Galway, Ireland) ซึ่งประกอบด้วยการช่วยหายใจแบบ assist/control (A/C), synchronized intermittent mandatory ventilation (SIMV) หรือ pressure support (PS) เครื่องช่วยหายใจชนิดนี้สามารถปรับความดันขณะที่หายใจเข้าตามค่าปริมาตรที่ตั้งไว้จากการหายใจก่อนหน้านี้ และเพื่อไม่ให้เกิดการบาดเจ็บต่อปอดของทารก เครื่องช่วยหายใจสามารถปรับความดันขึ้นและลงได้ แต่ไม่เกิน 5 ซม.น้ำต่ำกว่าขีดจำกัดความดันสูงสุดที่ตั้งไว้ จากการปรับความดันวิธีดังกล่าว ส่งผลให้ค่า V_T ที่ส่งออกจากเครื่องช่วยหายใจมีค่าไม่คงที่ และเป็นปัญหาที่สำคัญของการช่วยหายใจแบบ PRVC ใน Maquet Servo 300[®] และ Servo-I[®] (Maquet Inc., Bridgewater, NJ, USA, formerly Siemens, Solna, Sweden) ด้วย นอกจากนี้ค่า V_T ที่วัดได้จะไม่แม่นยำเนื่องจากการวัดค่า V_T อยู่ภายในเครื่องช่วยหายใจ ไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่งใกล้ทางเดินหายใจของทารก ถึงแม้ว่า Servo-I[®] ได้ปรับปรุงให้มีการปรับชดเชยปริมาตรที่รั่วไหลจากระบบ แต่ประสิทธิภาพในการชดเชยดังกล่าวจะไม่เพียงพอ ถ้าการรั่วไหลของก๊าซในปริมาตรที่น้อยถึงปานกลางรอบท่อหลอดลมคอ จึงมีการพัฒนาอุปกรณ์ภายในเครื่องเพิ่มเติม โดยการเพิ่มตัวตรวจวัดการไหลของก๊าซเพิ่มขึ้นอีก 1 ตัวและการตรวจวัดปริมาตรที่มีผลต่อการกำหนด V_T ยังคงขึ้นกับปริมาตรที่วัดได้ที่ลิ้นหายใจออกของเครื่องช่วยหายใจเหมือนเดิม

4. volume-assured pressure support (VAPS) เช่น เครื่องช่วยหายใจของ VIP Bird Gold[®] (Viasys Medical Systems Conshohocken, PA, USA) เป็นการช่วยหายใจแบบลูกผสม (hybrid mode) ระหว่าง pressure limited กับ volume controlled เพื่อให้มั่นใจว่าทารกได้ค่า V_T ใกล้เคียงกับค่า V_T ที่ตั้งไว้มากยิ่งขึ้น โดยเริ่มต้นจากการช่วยหายใจแบบ pressure-limited และ flow cycle ถ้า V_T ที่ทารกได้รับยังน้อยกว่าค่า V_T ที่ตั้งไว้ จะเปลี่ยนการช่วยหายใจเป็นแบบ volume controlled โดยการเพิ่มระยะเวลาในการหายใจเข้า ส่งผลให้ทารกได้รับปริมาตร

ก๊าซที่สูงขึ้น แต่อาจทำให้การหายใจออกของผู้ป่วยไม่สัมพันธ์กับการทำงานของเครื่องช่วยหายใจ (expiratory asynchrony) การปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงของ V_T ขึ้นอยู่กับปริมาตรที่ผ่านลิ้นหายใจเข้าของเครื่องช่วยหายใจ ซึ่งอาจมีปัญหारेื่องทารกได้รับก๊าซปริมาตรน้อยและการรั่วไหลของก๊าซรอบท่อหลอดลมคอ อีกทั้งการช่วยหายใจแบบนี้ไม่สามารถปรับลดความดันที่ส่งให้แก่ทารกเมื่อพยาธิสภาพภายในปอดดีขึ้น ส่งผลให้เกิด V_T ที่มากเกินไปและทารกได้รับปริมาตรก๊าซมากกว่าที่ตั้งไว้ (inadvertent hyperventilation) ต่อมา Avea® ของ Viasys จึงปรับเพิ่ม volume limit ใน VAPS เพื่อหยุดการหายใจเข้าถ้าค่า V_T ที่ทารกได้รับสูงเกินค่าที่ตั้งไว้ โดยเริ่มต้นการหายใจแบบ pressure controlled เครื่องช่วยหายใจจะคำนวณการไหลของก๊าซแบบค่อยๆ ลดลงตามปริมาตรและระยะเวลาในการหายใจที่ตั้งไว้ ถ้า V_T ไม่ได้ตามที่ตั้งไว้ จะปรับการช่วยหายใจเป็นแบบ volume cycling คือ ปล่อยให้มีการไหลของก๊าซอย่างต่อเนื่องอย่างอัตโนมัติ จนได้ค่า V_T ตามเป้าหมาย

5. volume guarantee (VG) ในเครื่องช่วยหายใจชนิด Dräger Babylog 8000 plus® และ Dräger Babylog VN 500 (Dräger Medical, Lübeck, Germany) ใช้ร่วมกับการช่วยหายใจแบบที่เป็นมาตรฐาน เช่น A/C, SIMV หรือ PS เป็นต้น เครื่องช่วยหายใจแบบ VG อาศัยหลักการทำงาน “pressure limited, volume targeted, time หรือ flow cycled” แพทย์ผู้ให้การรักษาจะตั้งค่า V_T และขีดจำกัดของความดันในปอดของ PIP โดยความดันที่ทารกได้รับจริง (working pressure) จะผ่านตัวประมวลผลจุลภาคเปรียบเทียบกับปริมาตรของการหายใจออกก่อนหน้านี้ โดยปรับความดันที่ทารกได้รับจริงขึ้นหรือลงเพื่อให้ได้ตาม V_T ที่ตั้งไว้ กล่าวคือเมื่อค่า V_T ที่วัดตรงลิ้นหายใจออกของเครื่องช่วยหายใจมีค่าน้อยกว่าค่า V_T ที่ตั้งไว้จะค่อยๆ ปรับเพิ่มความดันที่ทารกได้รับจริงให้สูงขึ้นเพื่อให้ได้ V_T ตามที่ต้องการในทางตรงข้ามเมื่อ V_T ที่วัดในตำแหน่งของลิ้นหายใจออกในเครื่องช่วยหายใจมีค่าสูงกว่าค่า V_T ที่ตั้งไว้จะปรับความดันที่ทารกได้รับจริงให้ลดต่ำลงทันทีเพื่อลดการบาดเจ็บของปอดจากปริมาตรที่สูงเกินไป¹⁹

สำหรับเครื่องช่วยหายใจแบบ VG จะใช้ปริมาตรของทั้งการหายใจเข้าและออกเป็นตัวกำหนดความดันที่ทารกได้รับจริงโดยเฉพาะช่วงหายใจออก ค่า V_T ที่วัดได้จะมีค่าใกล้เคียงกับค่า V_T ของทารกที่ได้รับ ถึงแม้ว่าจะมีการรั่วของก๊าซรอบท่อหลอดลมคอชนิดไม่มีถุงลมรอบล้นม แต่ถ้ามมีการรั่วของก๊าซรอบท่อหลอดลมคอบอกกว่าร้อยละ 40 ไม่ควรใช้เครื่องช่วยหายใจแบบ VG เพราะจะทำให้การวัด V_T ของทารกต่ำกว่าความเป็นจริงมากเกินไป ถ้าปริมาตรของการหายใจออกก่อนหน้านี้มีน้อยกว่า V_T ที่ตั้งไว้ เครื่องช่วยหายใจจะปรับความดันเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ไม่เกินครั้งละ 3 ซม.น้ำ ในการช่วยหายใจครั้งถัดไป เพื่อหลีกเลี่ยงปริมาตรและการสั่นของระบบ (oscillation of the system) มากเกินไป (ศัพท์ทางวิศวกรรมเรียกว่า dampening) แต่ถ้าปริมาตรของการหายใจเข้าเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 30 ตัวประมวลผลจุลภาคจะเปิดลิ้นหายใจออกของเครื่องช่วยหายใจเพื่อปล่อยก๊าซที่เกินดังกล่าว จึงทำให้เกิดการปรับลดความดันที่ทารกได้รับจริงทุกๆ ขณะของการหายใจเรียกว่า การนำทารกออกจากเครื่องช่วยหายใจด้วยตัวเอง (self-weaning) ตามความหยุนของปอดที่ดีขึ้นโดยไม่ต้องปรับเครื่องช่วยหายใจตามผลก๊าซในเลือดหรือจากการสังเกตการเคลื่อนไหวของผนังทรวงอกว่าทารกจะได้รับ V_T เพียงพอหรือไม่

ผลการศึกษาทางคลินิกของเครื่องช่วยหายใจแบบปริมาตร

1. การช่วยหายใจแบบ volume targeted

ในปี พ.ศ. 2548 ศึกษาเครื่องช่วยหายใจแบบ volume targeted เปรียบเทียบกับ pressure limited ในทารกแรกเกิด²⁰ พบว่า

1.1 ระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจแบบ volume targeted สั้นกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 2.93 วันเมื่อเทียบกับเครื่องช่วยหายใจแบบ pressure limited และเมื่อศึกษาเฉพาะการช่วยหายใจแบบ volume guarantee เทียบกับ pressure limited พบว่าระยะเวลาเฉลี่ยของการใช้เครื่องช่วยหายใจสั้น

กว่าเครื่องช่วยหายใจแบบ pressure limited 3.5 วัน

1.2. การเกิดภาวะลมรั่วในโพรงเยื่อหุ้มปอด (pneumothorax) ในกลุ่มที่ใช้ volume targeted ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ relative risk (RR) เท่ากับ 0.23 (0.07-0.76), number needed to treat (NNT) เท่ากับ 9

1.3. การเกิดภาวะเลือดออกในช่องเยื่อหุ้มสมอง อย่างรุนแรง (intraventricular hemorrhage ระดับ 3,4) ในกลุ่มที่ใช้ volume targeted ลดลง คือ RR เท่ากับ 0.32 (0.11-0.9), NNT เท่ากับ 6

1.4. มีแนวโน้มที่จะเกิดโรคเรื้อรังของปอด (BPD) น้อยกว่า ในกลุ่มที่ใช้ volume targeted คือ RR เท่ากับ 0.34 (0.11-1.05), NNT เท่ากับ 7

1.5. ทารกที่ได้รับการรักษาด้วยเครื่องช่วยหายใจ ทั้ง 2 ชนิด มีอัตราการเสียชีวิตไม่แตกต่างกัน

ต่อมาในปี พ.ศ. 2550 ศึกษาเครื่องช่วยหายใจแบบ volume targeted ชนิดต่างๆ กับปอดเทียม²¹ โดยตั้งค่า ความหย่นและแรงต้านทานในปอดเทียมให้ใกล้เคียงกับการเกิดภาวะ RDS ในทารก พบว่าปริมาตรที่วัดได้จากปอดเทียมต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ในเครื่องช่วยหายใจ คือ Draeger® และ SLE® ปริมาตรเริ่มต้นลดลงร้อยละ 10 Stephanie® ปริมาตรเริ่มต้นลดลงร้อยละ 25 และ VIP Bird® ปริมาตรเริ่มต้นลดลงถึงร้อยละ 50 แต่หลังจากการช่วยหายใจครั้งแรกปริมาตรก๊าซที่วัดได้จากเครื่องช่วยหายใจในแต่ละครั้ง จะมีค่าปริมาตรก๊าซที่ใกล้เคียงกัน หรือคงที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับเครื่องช่วยหายใจ ทั้ง 4 ชนิด กล่าวคือ ค่า coefficient of variation น้อยที่สุด

2. การช่วยหายใจแบบ volume-controlled

ในปี พ.ศ. 2549 ศึกษาเปรียบเทียบกับเครื่องช่วยหายใจแบบ TCPL²² ด้วยเครื่องช่วยหายใจชนิด VIP Bird gold® ในทารกเกิดก่อนกำหนดอายุครรภ์ 24-31 สัปดาห์รวม 109 ราย ตั้งแต่น้ำหนัก 600-1,500 กรัม (very low birth weight; VLBW) ที่มีการหายใจลำบากจากการขาดสารลดแรงตึงผิว (respiratory distress syndrome; RDS) โดยให้ปริมาตรในช่องหายใจออกเท่ากับ 4-6 มล./กก. ทั้ง 2 กลุ่ม

ในระยะเฉียบพลัน ทารกที่ได้รับการช่วยหายใจแบบ A/C เมื่อทารกมีอาการแสดงของระบบหายใจขึ้นคือ ใช้ PIP น้อยกว่า 16 ซม.น้ำ และความเข้มข้นออกซิเจนในการหายใจเข้า (fractional inspired oxygen; FiO₂) น้อยกว่า 0.3 จะเปลี่ยนการช่วยหายใจเป็นแบบ SIMV เมื่อสามารถนำทารกออกจากเครื่องช่วยหายใจ จะให้การช่วยหายใจแบบ continuous positive airway pressure (CPAP) ด้วยความดัน 4-6 ซม.น้ำ ผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลาที่สามารถลดค่า mean airway pressure (MAP) น้อยกว่า 8 ซม.น้ำ ในทารกที่ใช้เครื่องช่วยหายใจแบบ volume-controlled เฉลี่ย (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด) คือ 79.8 (38.5-121) ชั่วโมง เปรียบเทียบกับทารกที่ใช้เครื่องช่วยหายใจแบบ TCPL เฉลี่ย (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด) คือ 80.5 (23-138) ชั่วโมง (p = 0.79) เช่นเดียวกับระยะเวลาที่สามารถลดค่า alveolar-arterial oxygen gradient (AaDO₂) น้อยกว่า 100 มม.ปรอท ในทารกที่ใช้เครื่องช่วยหายใจแบบ volume-controlled เฉลี่ย (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด) คือ 24 (18.5-29) ชั่วโมง เปรียบเทียบกับทารกที่ใช้เครื่องช่วยหายใจแบบ TCPL เฉลี่ย (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด) คือ 39 (25-53) ชั่วโมง (p = 0.08) สรุปไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อวิเคราะห์เฉพาะทารกแรกเกิดน้ำหนักน้อยกว่า 1,000 กรัม (extremely low birth weight; ELBW) พบว่าทารกที่ใช้เครื่องช่วยหายใจแบบ volume-controlled ใช้ระยะเวลาในการทำให้ MAP น้อยกว่า 8 ซม.น้ำ หรือ AaDO₂ น้อยกว่า 100 มม.ปรอท เร็วกว่า TCPL อย่างมีนัยสำคัญ (p = 0.03) ส่วนระยะเวลาในการใช้เครื่องช่วยหายใจไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

3. การช่วยหายใจแบบ volume limited

ในปี พ.ศ. 2552 ศึกษาการช่วยหายใจแบบ TTV²³ ในทารกเกิดก่อนกำหนดอายุน้อยกว่า 1 สัปดาห์ มีรยางานของน้ำหนักแรกเกิดและอายุครรภ์ (ต่ำสุด-สูงสุด) คือ 970 (596-1850) กรัมและ 27 (25-36) สัปดาห์ตามลำดับ ศึกษาแรงที่ใช้ในการช่วยหายใจ (work of breathing; WOB) เมื่อทารกได้รับปริมาตรก๊าซ คือ 4, 5, และ 6 มล./กก. ที่ใช้เครื่องช่วยหายใจชนิด SLE

5000[®] พบว่าค่า WOB ที่วัดผ่าน transdiaphragmatic pressure-time product (PTPi) ในทารกที่ได้รับปริมาตร 6 มล./กก. จะมีค่า WOB น้อยกว่าทารกที่ได้รับปริมาตร 5 และ 4 มล./กก. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4. การช่วยหายใจแบบ PRVC

ในปี พ.ศ. 2548 ทำการศึกษาแบบ randomized controlled trial (RCT)²⁴ ในทารกน้ำหนักแรกเกิด 500-1,249 กรัม เปรียบเทียบกับการช่วยหายใจแบบ SIMV ภายใน 6 ชม.แรกหลังเกิด ไม่พบความแตกต่างของอัตราการตาย ระยะเวลาในการใช้เครื่องช่วยหายใจและผลการทดสอบระบบประสาทและพัฒนาการเมื่อทารกอายุ 6-18 เดือนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5. การช่วยหายใจแบบ VAPS ยังไม่มีผลการศึกษาที่ตีพิมพ์

สรุป

ผลการศึกษาของเครื่องช่วยหายใจแบบปริมาตรทารกจะได้รับ V_T ที่คงที่มากขึ้น สามารถปรับลดความดันเองได้เมื่อความหย่นปอดดีขึ้น ระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจ ภาวะเลือดออกในช่องเยื่อหุ้มสมองอย่างรุนแรง และอัตราการเกิดภาวะลมรั่วในโพรงเยื่อหุ้มปอดลดลง แต่อัตราการเกิด BPD ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจจำเป็นต้องอาศัยการศึกษาแบบ randomized controlled trial ที่มีจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นเพื่อประเมินผลระยะยาวในการใช้เครื่องช่วยหายใจแบบปริมาตร

เอกสารอ้างอิง

1. Greenough A, Premkumar M, Patel D. Ventilatory strategies for the extremely premature infant. *Paediatr Anaesth* 2008;18:371-7.
2. Greenspan JS, Shaffer TH, Fox WW, et al. Assisted ventilation: physiologic implications and complications. In: Polin RA, Fox WW, Abman SH, editors. *Fetal and neonatal physiology*. 3rd ed: Philadelphia: Saunders; 2004;p961-78.
3. Grover A, Field D. Volume-targeted ventilation in the neonate: time to change? *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2008;93:F7-13.

4. Riley C, Pilcher J. Volume-guaranteed ventilation. *Neonatal Netw* 2003;22:17-22.
5. Sinha SK, Donn SM. Newer forms of conventional ventilation for preterm newborns. *Acta Paediatr* 2008;97:1338-43.
6. Slutsky AS. Ventilator-induced lung injury: from barotrauma to biotrauma. *Respir Care* 2005;50:646-59.
7. Spitzer AR. Positive-pressure ventilation: the use of mechanical ventilation in the treatment of neonatal lung disease-general principles of care. In: Spitzer AR, editor. *Intensive care of the fetus & neonate*. 2nd ed. Philadelphia: Elsevier Mosby; 2005; p623-54.
8. Hernandez LA, Peevy KJ, Moise AA, et al. Chest wall restriction limits high airway pressure-induced lung injury in young rabbits. *J Appl Physiol* 1989; 66:2364-8.
9. Greenough A, Patel DS. Neonatal ventilation techniques - which is best for prematurely born infants? *Arch Med Sci* 2008;4:116-21.
10. Greenough A, Sharma A. What is new in ventilation strategies for the neonate? *Eur J Pediatr* 2007;166: 991-6.
11. Keszler M. Volume guarantee and ventilator-induced lung injury: Goldilock's rules apply. *Pediatr Pulmonol* 2006;41:364-6.
12. Thome UH, Ambalavanan N. Permissive hypercapnia to decrease lung injury in ventilated preterm neonates. *Semin Fetal Neonatal Med* 2009;14:21-7.
13. Carlo WA, Ambalavanan N, Chatburn RL. Classification of mechanical ventilation devices. In: Donn SM, Sinha SK, editors. *Manual of neonatal respiratory care*. 2nd ed. Philadelphia: MosbyElsevier; 2006; p.74-80.
14. Sinha SK, Donn SM. Volume-controlled ventilation. In: Goldsmith JP, Karotkin EH, editors. *Assisted ventilation of the neonate*. 4th ed. Philadelphia: W.B. Saunders; 2003;p.171-82.
15. Claure N, Bancalari E. Methods and evidence on volume-targeted ventilation in preterm infants. *Curr Opin Pediatr* 2008;20:125-31.
16. Hummler H, Schulze A. New and alternative modes of mechanical ventilation in neonates. *Semin Fetal Neonatal Med* 2009;14:42-8.
17. Keszler M. Volume-targeted ventilation. *Early Hum Dev* 2006;82:811-8.
18. Keszler M. State of the art in conventional mechanical

- ventilation. *J Perinatol* 2009;29:262-75.
19. Keszler M, Abubakar KM. Volume guarantee ventilation. *Clin Perinatol* 2007;34:107-16, vii.
 20. Singh J, Sinha SK, Clarke P, et al. Mechanical ventilation of very low birth weight infants: is volume or pressure a better target variable? *J Pediatr* 2006;149:308-13.
 21. McCallion N, Davis PG, Morley CJ. Volume-targeted versus pressure-limited ventilation in the neonate. *Cochrane Database Syst Rev* [serial on the Internet]. 2005; Available from: <http://www.mrw.interscience.wiley.com/cochrane/clsysrev/articles/CD003666/frame.html>.
 22. D'Angio CT, Chess PR, Kovacs SJ, et al. Pressure-regulated volume control ventilation vs synchronized intermittent mandatory ventilation for very low-birth-weight infants: a randomized controlled trial. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2005;159:868-75.
 23. Sharma A, Milner AD, Greenough A. Performance of neonatal ventilators in volume targeted ventilation mode. *Acta Paediatr* 2007;96:176-80.
 24. Patel DS, Sharma A, Prendergast M, et al. Work of breathing and different levels of volume-targeted ventilation. *Pediatrics* 2009;123:e679-84.