



Advances in Understanding of Mechanical Ventilation for Infant and Children

ธีรชัย อัมมโรจน์ศิริ

เครื่องช่วยหายใจ คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับรักษาผู้ป่วยที่ไม่สามารถหายใจได้เอง หรือหายใจไม่เพียงพอ เป็นเครื่องมือที่ใช้เพื่อตลอดเวลาให้แพทย์ผู้ดูแลได้มีโอกาสรักษาสำหรับการเจ็บป่วยดั้งเดิมซึ่งอาจจะเป็นโรคของระบบหายใจเองหรือเป็นโรคอื่นที่มีผลต่อการทำงานของระบบหายใจให้ฟื้นกลับคืนมาสู่ภาวะปกติได้ สำหรับประโยชน์ของเครื่องช่วยหายใจมีดังนี้

1. เพื่อลด work of breathing
2. เพื่อให้มี effective alveolar ventilation
3. เพื่อให้มี adequate arterial oxygenation

การใช้เครื่องมือเหล่านี้อาจก่อให้เกิดผลแทรกซ้อนได้ ดังนั้นการที่จะใช้เครื่องมือประเภทนี้เพื่อให้ได้ผลดี ผู้ใช้จะต้องมีความรู้ความเข้าใจถึงข้อบ่งชี้ของการใช้ การใช้ การดูแลผู้ป่วยระหว่างที่ใช้เครื่องช่วยหายใจ การแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้น ตลอดจนการพิจารณาหยุดการใช้เครื่องช่วยหายใจและวิธีการหยุดเมื่อถึงเวลาอันสมควร

Classification of mechanical ventilator

1. Positive pressure ventilator คือ เครื่องช่วยหายใจชนิดที่ให้แรงดันบวก หรือแรงดันที่สูงกว่าแรงดันของบรรยากาศและขับเอาก๊าซเข้าไปในปอดใน

การหายใจแต่ละครั้ง

2. Negative pressure ventilator คือ เครื่องช่วยหายใจชนิดที่ทำให้แรงดันรอบทรวงอกต่ำกว่าแรงดันของบรรยากาศ (แรงดันเป็นลบ) ทำให้ทรวงอกขยายตัวขึ้น อากาศหรือก๊าซรอบๆ บริเวณจมูกก็จะไหลเข้าไปตามทางเดินหายใจไปตามหลอดลมและถุงลมได้ ตัวอย่างของเครื่องมือชนิดนี้ เช่น Iron lung, chest shell เป็นต้น

โดยทั่วไป Negative pressure ventilator จะให้ลักษณะการช่วยหายใจที่ใกล้เคียงกับ normal physiology ถึงแม้ว่าผลแทรกซ้อนจาก barotrauma ที่เกิดขึ้นจากเครื่องช่วยหายใจชนิดนี้จะน้อยกว่าในเครื่องช่วยหายใจชนิดประเภทแรงดันบวก แต่ในอดีตที่ผ่านมาความนิยมในการใช้เครื่องช่วยหายใจชนิดนี้มีน้อย เนื่องจากเครื่องมือมีลักษณะใหญ่โตทำให้ไม่สะดวกในการใช้ จนกระทั่งในระยะ 2-3 ปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาเครื่องช่วยหายใจชนิดที่ให้แรงดันลบขึ้นมาใหม่ซึ่งใช้งานได้ง่ายยิ่งขึ้น ทำให้เริ่มมีการใช้มากขึ้นโดยเฉพาะในกลุ่มประเทศทางยุโรปและสหรัฐอเมริกา

สำหรับเครื่องช่วยหายใจชนิดให้แรงดันบวกได้มีการพัฒนาปรับปรุงและมีรูปแบบการช่วยหายใจที่หลากหลายและเหมาะสมกับพยาธิสภาพของผู้ป่วย นอกจากนี้

นี้ยังมีการคิดค้นวิธีการช่วยหายใจแบบใหม่ๆ มากขึ้น เช่น Pressure support ventilation (PSV), airway pressure release ventilation (APRV), high frequency ventilation (HFV) เป็นต้น

Technique of mechanical ventilation

เทคนิควิธีการช่วยหายใจเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าวข้างต้นมีให้เลือกมากมายในปัจจุบัน โดยแต่ละวิธีก็มีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปในแต่ละแห่ง ในปัจจุบันสมาคมวิชาชีพที่เกี่ยวข้องกับการดูแลรักษาโรคปอดในประเทศสหรัฐอเมริกา เช่น American College of Chest Physicians, the American Thoracic Society และ the American Association for Respiratory Care ได้ยอมรับและให้คำจำกัดความของลักษณะต่างๆ ของแต่ละเทคนิควิธีการช่วยหายใจให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งแพทย์และผู้ที่เกี่ยวข้องในการดูแลรักษาผู้ป่วยจำเป็นต้องเข้าใจในคำศัพท์ทางเทคนิคได้ตรงกันดังนี้

1. Positive airway pressure mode คือ การให้แรงดันบวก (positive pressure) เข้าไปในระบบการหายใจผู้ป่วยในช่วงของการหายใจเพื่อเป็นการสนับสนุนหรือเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบหายใจได้แก่

- **Positive pressure ventilation (PPV)** คือ วิธีการช่วยหายใจที่ให้แรงดันบวกเข้าไปในปอดของผู้ป่วย เพื่อให้ผู้ป่วยมีปริมาตรของลมหายใจเข้า (inspiratory tidal volume) ที่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย

- **Full ventilatory support (FVS)** คือ วิธีการช่วยหายใจที่เครื่องช่วยหายใจสามารถทำหน้าที่ทดแทนการทำงานของอวัยวะที่ช่วยในการหายใจของผู้ป่วยได้ทั้งหมดเพื่อให้มีการขับคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกายให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

- **Inverse ratio ventilation (IRV)** คือ วิธีการช่วยหายใจที่ให้แรงดันบวกโดยที่ให้ระยะเวลาที่ใช้ในการหายใจเข้า (inspiratory time) มีค่าเท่ากับ หรือ

สูงกว่าเวลาที่ใช้ในการหายใจออก (expiratory time) ของการหายใจแต่ละครั้ง

2. Volume Preset Modes คือ วิธีการช่วยหายใจที่สามารถปรับตั้ง tidal volume ที่ต้องการได้ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาของการช่วยหายใจ ซึ่งแบ่งออกเป็นวิธีการต่างๆ ได้ดังนี้

- **Control mode ventilation (CMV)** คือ เทคนิควิธีการช่วยหายใจที่เครื่องช่วยหายใจทำหน้าที่หายใจ ทำหน้าที่หายใจแทนผู้ป่วยทั้งหมด

- **Assist mode ventilation (AMV)** คือ เทคนิควิธีการช่วยหายใจที่เครื่องช่วยหายใจจะถูกกระตุ้นให้ทำงานโดยการหายใจเข้าของผู้ป่วยและอัตราการหายใจจะเป็นไปตามอัตราการหายใจของผู้ป่วยทั้งหมด

- **Assist-control mode ventilation (A/CMV)** คือ เทคนิควิธีการช่วยหายใจที่การทำงานของเครื่องช่วยหายใจจะถูกกระตุ้นโดยการหายใจเข้าของผู้ป่วยได้บางส่วนหรือทั้งหมด ขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจของผู้ป่วยและอัตราการหายใจที่กำหนดไว้จากเครื่องช่วยหายใจ ถ้าอัตราการหายใจของผู้ป่วยสูงกว่าอัตราการหายใจที่กำหนดไว้จากเครื่องช่วยหายใจ เครื่องก็จะถูกกระตุ้นการทำงานโดยผู้ป่วยเองทั้งหมด เป็นการผสมผสานระหว่าง CMV และ AMV แต่ถ้าอัตราการหายใจของผู้ป่วยต่ำกว่าอัตราการหายใจที่กำหนดไว้จากเครื่องการทำงานของเครื่องช่วยหายใจก็จะอยู่ในลักษณะ control

3. Volume variable modes คือ วิธีการช่วยหายใจที่ tidal volume จากเครื่องช่วยหายใจจะเปลี่ยนแปลงไปตาม preset ventilator limits เช่น pressure, flow หรือ time และสภาพการหายใจของผู้ป่วยเอง ซึ่งแบ่งออกเป็นวิธีการต่างๆ ดังต่อไปนี้

- **Pressure support ventilation (PSV)** หรือบางคนเรียกว่า inspiratory assist เป็นเทคนิควิธีการช่วยหายใจที่ได้มีการศึกษามาตั้งแต่ปี 1982 โดยเครื่องช่วยหายใจสามารถจ่าย gas flow เสริมเข้ามาในระบบของท่อทางเดินหายใจในขณะที่ผู้ป่วยหายใจเอง

เพื่อที่จะช่วยลด resistance จาก circuit system และช่วยลดความเหนื่อยของ demand valve ทำให้ system pressure บรรลุถึงจุดที่ตั้งไว้เร็วขึ้น ทำให้เชื่อว่าสามารถลด work of breathing ได้ดีกว่า pressure control ventilation โดยเครื่องช่วยหายใจจะทำงานสัมพันธ์กับความต้องการของผู้ป่วยและจะเริ่มจ่าย gas flow เข้ามาใน system ผ่าน demand valve ในช่วงที่ผู้ป่วยเริ่มมีการหายใจเข้าและ gas flow นี้ยังช่วยให้ preset system pressure ถึงเร็วขึ้น และการหายใจเข้าจะหยุดเมื่อ gas flow ที่ไหลต่ำลงมากกว่า gas flow rate ที่เครื่องกำหนดไว้ (ขึ้นกับยี่ห้อและรุ่นของเครื่องช่วยหายใจ) อัตราการหายใจจะเปลี่ยนแปลงไปตามแรงกระตุ้นของผู้ป่วยและ tidal volume ที่ได้ก็จะเปลี่ยนแปลงไปตาม preset pressure และความต้องการของผู้ป่วยเอง ในเครื่องช่วยหายใจรุ่นใหม่จะมี PSV mode ซึ่งระดับของ pressure ที่สามารถ set ได้จะแตกต่างกันไปแต่ละชนิดของเครื่องเป็นหน้าที่ของผู้ใช้ต้องศึกษาคุณสมบัติของเครื่องช่วยหายใจจากคู่มือของเครื่องนั้นๆ

• Pressure control ventilation (PCV)

คือ เทคนิควิธีการช่วยหายใจที่ preset system pressure จะคงที่ตลอดระยะเวลาของการหายใจเข้าโดยเครื่องช่วยหายใจสามารถที่จะให้ gas flow เข้ามาอย่างรวดเร็วในระยะแรกและค่อยๆ ลดลง หรือที่เรียกว่า decelerating flow อัตราการหายใจจะขึ้นกับ preset

inspiratory time หากต้องการทำ inverse ratio ventilation (IRV) แพทย์มักเลือกใช้เทคนิควิธีการช่วยหายใจวิธีนี้ ซึ่งมีรายงานว่า การช่วยหายใจแบบ PC-IRV ในผู้ป่วยที่เป็น severe ARDS สามารถเพิ่มออกซิเจนในเลือดแดง ลด peak airway pressure ลดความต้องการในการใช้ PEEP ลง และเพิ่ม mean airway pressure โดยที่ไม่มีผลต่อการทำงานของระบบหมุนเวียนโลหิตและหัวใจ

• **Airway pressure release ventilation (APRV)** คือ เทคนิควิธีการช่วยหายใจที่ทำให้มีการลดลงของ airway pressure เป็นระยะๆ ผ่านทาง release valve วิธีนี้สามารถทำได้โดยเครื่องช่วยหายใจรุ่นใหม่ ยกเว้นเครื่องช่วยหายใจสำหรับเด็กเล็ก โดยอัตราการ release จะขึ้นกับ preset inspiratory time ซึ่งใช้สำหรับช่วยในการทำ IRV ด้วยโดยที่สามารถให้ I : E ratio เป็น 4 : 1 หรือ 5 : 1 ในขณะเดียวกันผู้ป่วยสามารถหายใจได้เองในระหว่างที่ใช้วิธีการช่วยหายใจชนิดนี้และเชื่อว่า APRV จะสามารถช่วยลด peak airway pressure โดยที่ oxygenation ไม่ลดลง

สำหรับลักษณะของการช่วยหายใจชนิดต่างๆ ดังได้กล่าวมาแล้ว สามารถสรุปกลไกการทำงานของเครื่องช่วยหายใจทั้ง volume preset และ volume variable ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบกลไกการทำงานของเครื่องช่วยหายใจตามลักษณะการช่วยหายใจชนิดต่างๆ

Ventilator Mode	Initiated	Limited	Cycled
Volume preset			
Control mode (CMV)	Time	Volume	Volume/Time
Assist-Control mode (A/CMV)	Pressure	Volume	Volume/Time
Intermittent mandatory (IMV)	Time	Volume	Volume/Time
Synchronized IMV (SIMV)	Pressure	Volume	Volume/Time
Volume variable			
Pressure support (PSV)	Pressure	Pressure	Flow
Pressure control (PCV)	Time	Pressure	Time
Airway pressure release (APRV)	Time	Pressure	Time

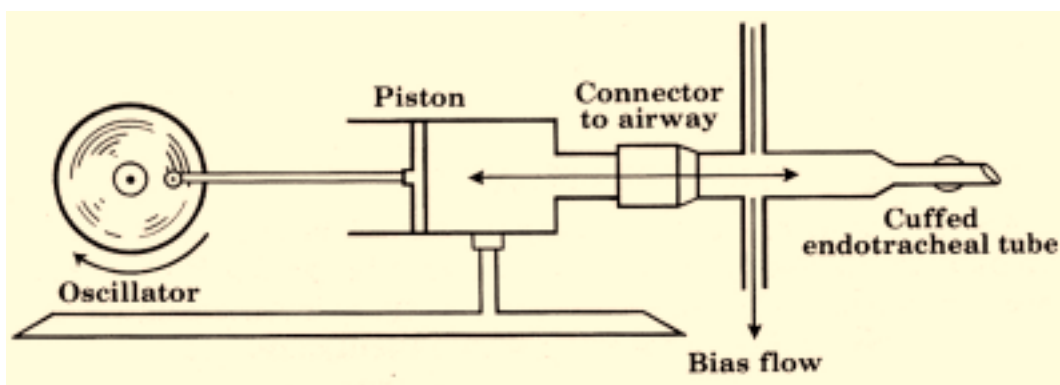
4. High frequency ventilation (HFV) คือ เทคนิควิธีการช่วยหายใจที่มีอัตราการช่วยหายใจสูงกว่าปกติถึง 4 เท่า หรือสูงกว่า 1 Hertz ($\text{Hz} = 60 \text{ cycles/min}$) และมี tidal volume ในขนาดที่น้อยกว่า tidal volume ที่ใช้ตามปกติ ($\text{TV} \leq 5 \text{ ml/kg}$) โดยทั่วไปเครื่องมือที่สามารถให้ high frequency ventilation อาจแบ่งออกตามลักษณะของเครื่องมือและอัตราการหายใจได้เป็น 3 ชนิดด้วยกัน คือ

- **High-frequency Positive Pressure Ventilation (HFPPV)** เป็นเครื่องช่วยหายใจที่สามารถให้อัตราการหายใจได้ตั้งแต่ 60-100 ครั้งต่อนาที โดยให้ tidal volume ผ่านทางสายที่มี compliance ต่ำมาก และผ่านเข้าไปใน insufflation catheter หรือ endotracheal tube วิธีนี้จะไม่เกิด gas entrainment และ inspiratory time จะกินเวลาประมาณ 20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ของ cycle ของการหายใจแต่ละครั้ง

- **High-frequency Jet Ventilator (HFJV)** เป็นเครื่องช่วยหายใจที่สามารถตั้งอัตราการหายใจได้สูงถึง 150 ครั้ง/นาที ก๊าซจะถูกส่งผ่านในลักษณะของ pulse จาก high pressure source (5-50 Psi) ผ่านไปทาง cannula ขนาดเล็กๆ โดยใช้ solenoid valves เป็นตัวทำให้เกิด cycling mechanism ระบบนี้จะทำให้เกิด gas entrainment ขึ้นรอบๆ ตัว jet

สำหรับเครื่อง HFJV ใช้ได้ดีในผู้ป่วยที่ได้รับการดมยาผ่าตัดเกี่ยวกับทางเดินหายใจ larynx และปอด เช่น ในผู้ป่วยที่ทำ bronchoscope หรือใช้ร่วมกับการผ่าตัดของ trachea ด้วย laser ข้อเสียของ HFJV คือ ระบบทำความชื้น โดยปัจจุบันยังไม่มีระบบทำความชื้นที่ดีพอ ทำให้มีรายงานถึงภาวะแทรกซ้อนจากการใช้ HFJV ที่เกิดจากความชื้นไม่พอ เช่น mucosal injury และมีเสมหะที่เหนียวมากๆ จนทำให้เกิดการอุดตันของทางเดินหายใจ

- **High-frequency oscillators (HFO)** เป็นเครื่องช่วยหายใจชนิดที่สามารถให้อัตราการหายใจได้ตั้งแต่ 5 ถึง 40 Hz แต่โดยทั่วไปมักใช้อัตราการหายใจระหว่าง 10-15 Hz ด้วย tidal volume ที่ต่ำมากๆ (ต่ำกว่า anatomical dead space) โดยใช้ piston pump mechanism (ภาพที่ 1) ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนลูกสูบที่ชักเข้าและออกอยู่ตลอดเวลาด้วยความถี่สูง ทำให้อากาศสามารถถูกอัดเข้าไปในปอดในช่วงหายใจเข้าและถูกดึงออกจากปอดหรือทางเดินหายใจในช่วงหายใจออกแต่ละครั้งได้ตลอดเวลา ช่วยให้เกิด air trapping อยู่ในปอดและเป็นการดึงเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากปอดได้ผลดียิ่งขึ้น ข้อแตกต่างระหว่าง HFV ในแต่ละชนิดได้แสดงไว้ในตารางที่ 2



ภาพที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการทำงานของลูกสูบขณะที่ชักเข้า-ออกเพื่อดันเอาก๊าซเข้าสู่ตัวผู้ป่วย ในขณะที่ลูกสูบถอยออกปริมาณของก๊าซขนาดที่เท่ากันก็จะถูกดึงออกมาและมี Bias flow ซึ่งจะเป็นตัวนำเอาอากาศและออกซิเจนเข้าไปในตัวผู้ป่วย ซึ่งช่วยในการขับเอาคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากตัวผู้ป่วย

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบถึงลักษณะของเครื่องช่วยหายใจชนิดที่ให้ HFPPV, HFJV และ HFO

	HFPPV	HFJV	HFO
Flow generator	High pressure Gas source	High pressure Gas source	Piston pump
Respiratory delivery system	Pneumatic valve	jet cannula	Continuous fresh
Expiratory phase	Passive	passive	Active
Commonly used frequency (breaths/min)	60-100	60-150	300-2,400

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติของเครื่องช่วยหายใจชนิดความถี่สูงแบบต่างๆ

	HFPPV	HFJV	HFO
Rate	60-150/min	≤ 600/min	≤ 1,200/min
VT	3-5 mL/kg	2-5 mL/kg	1-3 mL/kg
Technical application	Conventional ventilator	Special ventilator	Special ventilator
F_IO₂	0.21-1.0	0.21-1.0	0.21-1.0
PEEP	0-20	0-20	0-20
Expiration	Passive	Passive	Active
Gas movement	Bulk flow	Bulk flow	Diffusion

สำหรับคุณสมบัติของเครื่องช่วยหายใจชนิดความถี่สูงที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีคุณสมบัติตามรายละเอียดในตารางที่ 3

กลไกของการแลกเปลี่ยนออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ใน HFV เชื่อว่าเกิดจากกลไก 2 ประการ คือ molecular diffusion และ convection of flow โดยก๊าซจะ diffuse จากบริเวณที่มี partial pressure สูงไปยังบริเวณที่มี partial pressure ที่ต่ำกว่า เช่น ออกซิเจนจะ diffuse จากส่วนต้นของทางเดินหายใจเข้าไปในส่วนปลายของทางเดินหายใจหรือถุงลม ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะ diffuse จากถุงลมออกมายังส่วนต้นของทางเดินหายใจ ส่วน convection ของ flow จากบริเวณที่มี pressure gradient ต่างกัน เช่น บริเวณส่วนต้นของ trachea ไปยัง bifurcation และไปยังถุงลมก็เป็นอีกกลไกหนึ่งที่น่าก๊าซเข้าไปยังส่วนปลายของถุงลม นอกจากนี้การสั่นสะเทือนที่เกิดจากการเต้นของหัวใจส่งผ่านไป

ยังเนื้อเยื่อของปอดยังช่วยให้มีการ mixing ของก๊าซในระหว่างการหายใจเข้าและออกได้ดีขึ้น

สำหรับการประยุกต์ใช้ทางคลินิกของ HFV ในปัจจุบันข้อบ่งชี้ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า HFV สามารถช่วยผู้ป่วยได้ดีกว่า conventional ventilator คือผู้ป่วยที่มี bronchopleural fistula ส่วนโรคหรือพยาธิสภาพอื่น เช่น RDS, ARDS หรือ respiratory failure จากสาเหตุต่างๆ นั้นมีรายงานซึ่งแสดงถึงความสำเร็จของการใช้เครื่อง HFOV ในผู้ป่วยที่เป็น severe ARDS และประสบความสำเร็จเป็นอย่างดีเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ conventional ventilator อย่างไรก็ตามปัญหาที่จะต้องพิจารณาสำหรับการใช้เครื่องมือในกลุ่มนี้ได้แก่ ความคุ้นเคยของผู้ใช้ การให้ยาในกลุ่ม sedatives หรือ neuromuscular blocking agents การดูแลสมหะ หรือ nursing care อื่นๆ เป็นต้น

สำหรับปัญหาของการใช้เครื่องช่วยหายใจโดย