



Ventilator Room

Ventilator Waveforms : Made Easy (Part 1)

ผศ.นพ.สุทัศน์ รุ่งเรืองหิรัญญา, FCCP

หน่วยโรคทางเดินหายใจและเวชบำบัดวิกฤต

ภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บทนำ

การใช้เครื่องช่วยหายใจให้ประสบความสำเร็จนั้น ต้องส่งเสริมให้เครื่องช่วยหายใจ (เครื่อง) ทำงานสัมพันธ์กับและตัวผู้ป่วย (คน) อย่างกลมกลืนเสมือนเป็นหน่วยเดียวกัน ปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยส่งเสริมให้บรรลุเป้าหมายนี้ได้สำเร็จก็คือ การติดตามผลการใช้เครื่องช่วยหายใจด้วยกราฟชนิดต่าง ๆ ซึ่งมักจะมีติดตั้งไว้แล้วในเครื่องช่วยหายใจรุ่นใหม่ ๆ ทุกเครื่อง อย่างไรก็ตาม ในความเป็นจริงกราฟเหล่านี้กลับกลายเป็นหอกที่แทงหัวใจและสายตาของบุคลากรที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากขาดความรู้และความเข้าใจในการแปลผลและการนำไปใช้ทางคลินิกอย่างแท้จริง ในบทความนี้ ผู้เขียนได้รวบรวมหลักการในการอ่านและแปลผลกราฟเหล่านี้เท่าที่จำเป็นแบบง่าย ๆ ไว้เพื่อให้บุคลากรทุกระดับได้เข้าใจและนำไปฝึกฝนต่อยอดกันต่อไป โดยบทความนี้เป็นส่วนแรกของชุดบทความที่มีความยาว 4 ตอน

ชนิดของ ventilator waveforms

กราฟที่ใช้ในการแสดงผลการทำงานของเครื่องช่วยหายใจอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ¹ ได้แก่

- แบบ scalar หรือ curve เป็นกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (แกน X) กับตัวแปรทางกลศาสตร์อย่างใดอย่างหนึ่ง ใน 3 อย่างของระบบการหายใจ (แกน Y) ได้แก่ ปริมาตร (volume) แรงดัน (pressure) อัตราการไหลของอากาศ (flow rate) และเกิดเป็น pressure-time curve, flow-time curve และ volume-time curve ตามลำดับ
- แบบ loop เป็นกราฟรูปภาพที่เกิดจากเส้นกราฟวกย้อนกลับไปบรรจบกับจุดเริ่มต้นจนเกิดเป็นรูปคล้ายห่วงขึ้น แบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ ได้แก่ flow-volume loop และ pressure-volume loop



อนึ่ง ผู้อ่านพึงสังเกตว่า ไม่ว่าจะเป็นกราฟประเภทใดก็ตาม ตัวแปรที่เกี่ยวข้องและนำมาพล็อตเป็นกราฟนั้นก็มักซ้ำไปซ้ำมา อันที่จริงก็มีอยู่เพียง 3-4 ตัวเท่านั้น ได้แก่ ปริมาตร แรงดัน อัตราการไหลของอากาศ และเวลา ลักษณะของกราฟแต่ละชนิดที่ปรากฏขึ้นในขณะที่กำลังช่วยหายใจผู้ป่วยจะช่วยให้การวินิจฉัยสภาวะทางคลินิกและกลศาสตร์ของปอด รวมไปถึงผลแทรกซ้อนจากการใช้เครื่องช่วยหายใจในขณะนั้น ๆ ได้

ในการวิเคราะห์กราฟเหล่านี้ในทางคลินิกนั้น ผู้อ่านจะต้องพิจารณากราฟทั้งในแง่ของรูปร่างลักษณะกราฟ แต่ละตัวว่าปกติหรือไม่อย่างไร แต่บ่อยครั้งการพิจารณากราฟที่เกิดขึ้นจากการช่วยหายใจเพียงครั้งเดียว อาจไม่เพียงพอ จำเป็นต้องมองภาพรวมของกราฟที่เกิดขึ้นจากการช่วยหายใจหลาย ๆ ครั้งติดต่อกันด้วย เพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง ของกราฟเมื่อเทียบกับเวลา (trend) ด้วย (ตารางที่ 1)¹⁻⁴

ตารางที่ 1 แสดงลักษณะของ ventilator waveforms แต่ละชนิดที่เกิดขึ้นในภาวะทางคลินิกที่พบบ่อย

ชนิดของกราฟ	Air Trapping (PEEPI)	ลมรั่ว (Leakage)	Flow ไม่เพียงพอ	↓ Compliance (C_{RS})	↑ Resistance (R_{aw})
Volume-Time curve	Static เส้นกราฟช่วงขาลงของการหายใจออกจะยังคงลอยอยู่เหนือระดับ baseline ของแกน ในขณะที่เริ่มมีการหายใจเข้าครั้งถัดไปเกิดขึ้น	กราฟขาลงเมื่อสิ้นสุดการหายใจออกจะไม่บรรจบ baseline หรือแกน X	-	PCV mode : ปริมาตรลดต่ำกว่าปกติ (หากมิได้ปรับเพิ่มระดับ inspiratory pressure) VCV mode : ไม่เปลี่ยนแปลง	ปริมาตรอาจลดลงหรือเท่าเดิม ส่วน slope ของกราฟจะชันน้อยลง
	Trend PCV mode : ปริมาตรอาจลดลงเรื่อย ๆ ในแต่ละการหายใจ ในขณะที่ PIP ยังคงเดิม VCV mode : ปริมาตรคงเดิมทุกการหายใจ แต่ระดับของ PIP จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ	ปริมาตรจะลดลงและมีค่าต่ำกว่าปริมาตรตอนหายใจเข้า	-	PCV mode : ปริมาตรลดต่ำกว่าเดิม เมื่อเทียบกับตอนที่ compliance ยังคงปกติ VCV mode : ไม่เปลี่ยนแปลง	ปริมาตรอาจลดลง หรือเท่าเดิม

ตารางที่ 1 แสดงลักษณะของ ventilator waveforms แต่ละชนิดที่เกิดขึ้นในภาวะทางคลินิกที่พบบ่อย (ต่อ)

ชนิดของกราฟ	Air Trapping (PEEPi)	ลมรั่ว (Leakage)	Flow ไม่เพียงพอ	↓ Compliance (C_{RS})	↑ Resistance (R_{aw})
Pressure-Time curve	Static	แรงดันในช่วงสิ้นสุดการหายใจออกจะสูงกว่าระดับ baseline ของแกน X หรือระดับของ PEEPi ที่ตั้งไว้เดิม	หากมี pneumothorax เมื่อทำ inspiratory hold maneuver จะพบว่า ทั้ง PIP & Pplat เพิ่มขึ้น	กราฟขาขึ้นในช่วงการหายใจเข้าอาจมีลักษณะคว่ำเข้าด้านใน (scooped out) หรือสะดุดเป็นช่วง ๆ คล้ายขั้นบันได (stepped rising)	เมื่อทำ inspiratory hold maneuver จะพบว่า ทั้ง PIP และ Pplat จะเพิ่มสูงขึ้น (โดยผลต่างระหว่าง PIP & Pplat ยังคงปกติ) เช่นเดียวกับความชันของกราฟช่วงหายใจเข้าก็จะชันมากขึ้น
	Trend	1. ระดับของ PIP ในขณะที่ใช้ VCV mode จะสูงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ใน การหายใจแต่ละครั้ง 2. ควรสงสัยในกรณีที่การหายใจเข้าครั้ง ถัดไปเกิดขึ้นติด ๆ กับการหายใจออกครั้งก่อนหน้า	-	-	ระดับ PIP & Pplat อาจมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นหาก compliance แย่ลงไปอีก

ตารางที่ 1 แสดงลักษณะของ ventilator waveforms แต่ละชนิดที่เกิดขึ้นในภาวะทางคลินิกที่พบบ่อย (ต่อ)

ชนิดของกราฟ		Air Trapping (PEEPi)	ลมรั่ว (Leakage)	Flow ไม่เพียงพอ	↓ Compliance (C_{RS})	↑ Resistance (R_{aw})
Flow-Time curve	Static	-	-	1. สำหรับ time-triggered breath กราฟอาจเปลี่ยนเป็นรูป sine wave แทนที่จะเป็นรูปปกติแบบ descending ramp หรือ decelerating pattern 2. สำหรับ spontaneous breath กราฟรูป sine wave จะบอกได้แค่เพียงว่าผู้ป่วยหายใจเองเท่านั้น	กราฟช่วงหายใจออกมีอัตราการไหลของอากาศตอนสูงสุด (peak flow) เพิ่มขึ้น จากนั้นความเร็วของอากาศที่ไหลออกจะลดลง จนกลับเป็นศูนย์ (แกน X) อย่างรวดเร็ว (กราฟจะชันขึ้นในช่วงหายใจออก)	กราฟมีอัตราการใช้ของอากาศที่ช้าลง และเส้นกราฟทั้งช่วงหายใจเข้าและออกก็ชันน้อยลง
	Trend	กราฟในช่วงการหายใจเข้าเริ่มต้นขึ้น ในขณะที่กราฟการหายใจออกครั้งก่อนหน้า ยังมิได้กลับไปบรรจบที่แกน X	-	-	หาก C_{RS} ยังลดลงอย่างต่อเนื่อง จะพบว่าอัตราการใช้ของอากาศสูงสุดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความชันของกราฟตอนหายใจออกจะลดลง กล่าวคือ ใช้เวลาในการหายใจออกนานขึ้น	หาก R_{aw} ยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อัตราการใช้ของอากาศในการหายใจแต่ละครั้งก็จะยิ่งลดลง ความชันของเส้นกราฟก็จะลดลงเช่นกัน ส่งผลให้ระยะเวลาการหายใจออกเพิ่มขึ้นจนอาจเกิด PEEPi ขึ้นได้

ขั้นตอนในการแปลผล ventilator waveforms อย่างง่าย

เนื่องจากรายละเอียดในการอ่านและแปลผล ventilator waveforms มีมากมายดังจะได้กล่าวต่อไป ผู้เขียนจึงใคร่ขอเสนอแนวทางในการแปลผล ventilator waveforms แบบเป็นขั้นตอนง่าย ๆ ที่รวบรวมจากครูบาอาจารย์และจากประสบการณ์ของผู้เขียนเอง ดังนี้ 3 ขั้นตอนต่อไปนี้

1. เริ่มด้วยการอ่าน Pressure-Time curve ก่อนเป็นอันดับแรก
 - หาระดับของ PEEP หรือ CPAP โดยพิจารณาจากระดับ baseline ของเส้นกราฟ
 - พิจารณาว่าเป็น time-triggered breath (การหายใจที่เครื่องเป็นตัวริเริ่มให้กำเนิดขึ้น) หรือ spontaneous breath (การหายใจที่ตัวผู้ป่วยเองเป็นผู้ริเริ่มขึ้นโดยมีเครื่องเป็นตัวช่วย) โดยพิจารณาจาก negative deflection ที่ตอนเริ่มต้นการหายใจเข้า หากพบลักษณะดังกล่าวก็บ่งชี้ว่าเป็น trigger จากผู้ป่วย
 - เป็น VCV หรือ PCV mode
2. จากนั้นจึงเริ่มอ่าน Flow-time curve
 - เป็น flow pattern ชนิดใด
 - มี PEEPi หรือไม่
3. พิจารณาว่าผู้ป่วยหายใจสัมพันธ์กับเครื่องช่วยหายใจ (synchrony) หรือไม่ หากไม่สัมพันธ์กันก็ต้องพิจารณาหาสาเหตุ เช่น

- มี PEEPi โดยพิจารณาจาก flow-time curve, volume-time curve หรือ pressure-volume loop นอกจากนี้ อาจพิจารณาทำ expiratory hold maneuver ด้วย
- มีภาวะลมรั่วในระบบ (leakage) โดยอาศัย flow-time curve, volume-time curve หรือ pressure-volume loop
- Inspiratory flow rate ไม่เพียงพอ โดยใช้ pressure-time curve และ flow-time curve ช่วยในการวินิจฉัย
- มี R_{aw} สูง โดยพิจารณาจาก pressure-time curve โดยทำ inspiratory hold maneuver ร่วมด้วยเพื่อดูระดับของ PIP & Pplat, pressure-volume loop, และ flow-time curve
- มี C_{RS} ต่ำ โดยพิจารณาจาก pressure-time curve โดยทำ inspiratory hold maneuver เพื่อวัดระดับของ PIP & Pplat และอาจใช้ flow-time curve ร่วมด้วย

ในฉบับหน้า ผู้อ่านจะได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ volume-time curve, pressure-time curve, flow-time curve และ loops ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. Dean RH, Richard DB. Mechanical ventilation. In: Dean RH, ed. Respiratory Care: Principles of Practice. W.B. Saunders USA 2002; 782-809.
2. Holt TBO. Ventilator monitoring: Understanding the essentials of waveform analysis. AARC Times 1999; 7 : 7-12.
3. Ouellet P. Waveform and Loop Analysis in Mechanical Ventilation. Solna, Sweden: Siemens-Elcoma; 1997.
4. Waugh J, Deshpande V, Harwood R. Rapid Interpretation of Ventilator Waveforms. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall; 1999.
5. Pilbeam S. Mechanical Ventilation: Physiological and Clinical Applications. 2nd ed. St Louis: Mosby; 1998.
6. A Nahum. Use of pressure and flow waveforms to monitor mechanically ventilated patients. Yearbook of Intensive Care and Emergency Medicine 1995, 89-114.
7. Rittner F, Döring M. Curves and Loops in Mechanical Ventilation. Telford, Pa : Draeger Medical; 1996.
8. Jurban A, Tobin MJ. Use of flow-volume curves in detecting secretions in ventilator dependent patients. Am J Respir Crit Care Med 1994; 150:766-9.
9. Haas C. Volume-pressure curves during mechanical ventilation. AARC Times. 2000;24:64-68.