

Ventilator Room

Ventilator Waveforms : Made Easy (Part 2)

ผศ.นพ.สุทัศน์ รุ่งเรืองหิรัญญา, FCCP
หน่วยโรคทางเดินหายใจและเวชบำบัดวิกฤต
ภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

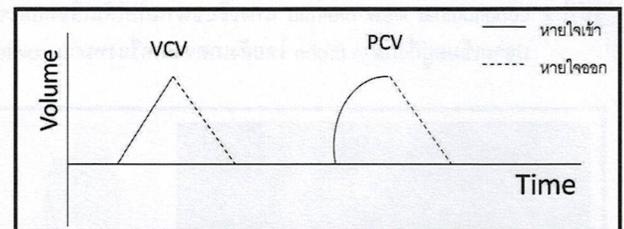
Volume-time curve

เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของอากาศที่หายใจ (แกน Y) กับเวลา (แกน X) โดยกราฟจะมีลักษณะคล้ายรูปสามเหลี่ยมที่มีด้านเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งตาม mode ของเครื่องช่วยหายใจที่ได้ตั้งไว้

กายวิภาคของกราฟ

กราฟชนิดนี้เกิดขึ้นจากการที่มีอากาศไหลจากเครื่องช่วยหายใจเข้าไปสู่ปอดของผู้ป่วย ทำให้ปริมาตรของปอดที่เดิมเป็นศูนย์ได้ขยายตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตลอดระยะเวลาของการหายใจเข้า รูปกราฟที่ปรากฏจะขึ้นอยู่กับ mode ของการช่วยหายใจที่ได้ตั้งไว้ หากเป็น volume-controlled (VCV) mode กราฟจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราคงที่จึงเห็นเป็นเส้นตรง (ในแนวเฉียง) แต่หากเป็น pressure-controlled (PCV) mode กราฟจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราการไหลของอากาศที่ไม่เท่ากัน จึงปรากฏเป็นเส้นโค้ง^๑ (รูปที่ 1) อย่างไรก็ตาม ไม่ว่าจะป็น mode ใด กราฟจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดสิ้นสุดของการหายใจเข้า ซึ่งเป็นจุดที่ปริมาตรของปอดแตะจุดสูงสุด ที่จุดเดียวกันนี้เองก็จะเป็นจุดเริ่มต้นของช่วงการหายใจออก

สำหรับช่วงหายใจออกนั้น ไม่ว่าจะเป็นการช่วยหายใจใน mode ใดก็จะเกิดขึ้นแบบ passive กล่าวคืออากาศไหลออกจากปอดโดยไม่ต้องใช้พลังงานใด แต่อาศัยแรงยืดหยุ่นของเนื้อปอด โดยปอดที่โป่งตัวโดยมีอากาศอยู่ภายในจะพยายามหดตัวดึงกลับสู่สภาพเดิม (คล้ายสปริงที่ถูกยืดออก) อากาศจะไหลออกจากปอดด้วยอัตราคงที่จนเป็นศูนย์ ดังนั้น กราฟจะมีรูปร่างเป็นเส้นตรงเฉียงลงไปสู่แกน X (รูปที่ 1)



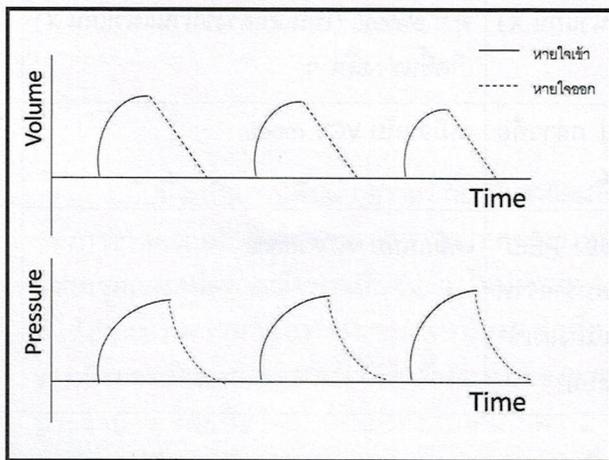
รูปที่ 1 แสดงลักษณะปกติของ volume-time curve ขณะที่ใช้การช่วยหายใจใน VCV และ PCV mode

กราฟที่เกิดขึ้นจากการช่วยหายใจในแต่ละครั้ง ไม่ว่าจะป็น mode ใดก็ตาม ควรจะมีรูปร่างหน้าตาเหมือนกันทุกรูปตราบเท่าที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง mode และ settings ของเครื่องช่วยหายใจ หากพบว่ากราฟแต่ละรูปมีรูปร่างผิดแผกแตกต่างกันไปจากเดิม ให้นึกถึงภาวะลมรั่วในระบบไว้ด้วย^๑

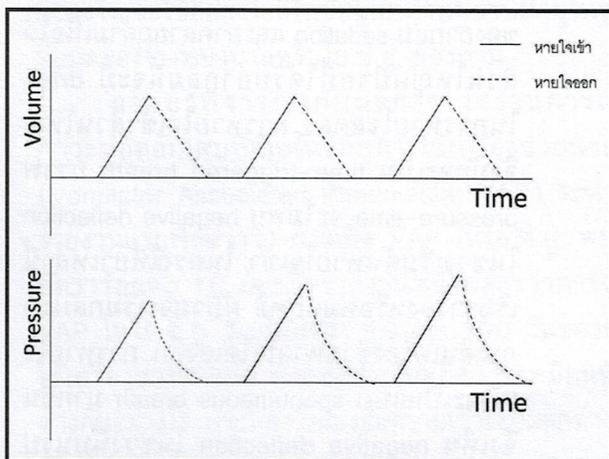
การประยุกต์ใช้ทางคลินิก

กราฟชนิดนี้อาจช่วยในการวินิจฉัยภาวะต่าง ๆ ทางคลินิกได้ ดังนี้

1. ภาวะ air trapping มีอากาศตกค้างในปอด ขณะสิ้นสุดการหายใจออก โดยกราฟจะมีลักษณะผิดไปจากปกติ โดยในกรณีที่ช่วยหายใจด้วย PCV mode จะพบว่าปริมาตรของการหายใจแต่ละครั้งจะลดลงเรื่อย ๆ ในขณะที่ Peak Inspiratory Pressure (PIP) ยังคงเดิม³ (รูปที่ 2) แต่หากช่วยหายใจด้วย VCV mode จะพบความผิดปกติในลักษณะตรงกันข้าม กล่าวคือ ปริมาตรคงเดิมทุก ๆ การหายใจ แต่ระดับของ PIP จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ (รูปที่ 3) หรืออาจพบว่าเส้นกราฟช่วงหายใจออกไม่ลงมาบรรจบ³⁻⁴

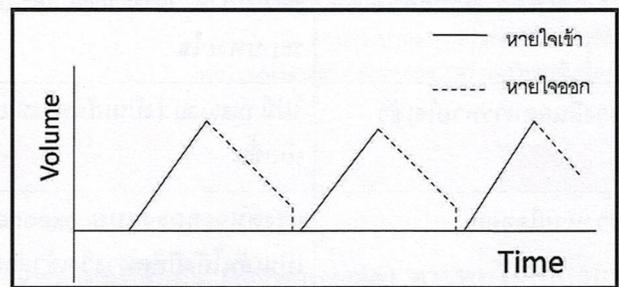


รูปที่ 2 แสดงลักษณะของกราฟ V-T และ P-T curve ในขณะที่ใช้ PCV mode และเกิดภาวะ air trapping



รูปที่ 3 แสดงลักษณะของกราฟ V-T และ P-T curve ในขณะที่ใช้ VCV mode และเกิดภาวะ air trapping

2. ภาวะลมรั่วในปอดหรือระบบการช่วยหายใจ ระบบการช่วยหายใจ ซึ่งประกอบด้วยท่อช่วยหายใจ ท่อและข้อต่อต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อระหว่างท่อช่วยหายใจและเครื่องช่วยหายใจ เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งอาจเกิดรอยรั่วขึ้นได้ ในกรณีเช่นนี้อาจสังเกตพบว่า เส้นกราฟขาของหายใจออกจะไม่บรรจบกับ baseline ที่แกน X แต่จะลอยอยู่เหนือแกน X ตลอด⁵ (รูปที่ 4) นอกจากนี้ ระดับ PIP อาจลดลงกว่าปกติ ไม่ว่าจะใช้ VCV หรือ PCV mode ก็ตาม แต่ในกรณีที่มียลมรั่วในปอด (pneumothorax) จะให้ผลตรงกันข้าม กล่าวคือ มีการเพิ่มขึ้นของทั้ง PIP และ plateau pressure (Pplat)⁷



รูปที่ 4 แสดงลักษณะของกราฟ V-T ในขณะที่เกิดภาวะ air trapping หรือเมื่อมีลมรั่วในระบบการช่วยหายใจ

Pressure-time curve

เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันของระบบการหายใจ (แกน Y) กับเวลา (แกน X) โดยกราฟจะมีลักษณะคล้ายรูปสามเหลี่ยมด้านไม่เท่าที่มีบางด้านเป็นเส้นโค้ง

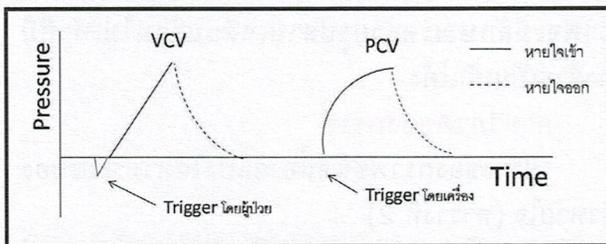
กายวิภาคของกราฟ

รูปร่างของกราฟชนิดนี้อาจแบ่งได้ตามระยะของการหายใจ (ตารางที่ 2)

ในช่วงสิ้นสุดการหายใจเข้านั้น ตามปกติเป็นช่วงที่ expiratory valve ของเครื่องช่วยหายใจที่เคยปิดอยู่กำลังจะเปิดออก แต่หากเรายืดระยะเวลาในการปิด expiratory valve นี้ไว้ให้นานขึ้นกว่าปกติอีกเล็กน้อย เช่น 0.3-1 วินาที (inspiratory hold maneuver) จะทำให้ช่วงเวลานั้นไม่มีทั้งลมไหลเข้าและลมไหลออกจากระบบ⁵⁻⁶ แรงดันของระบบการหายใจจะปรับตัวลดลงเนื่องจากแรงดันที่เกิดขึ้น ณ ขณะนั้นเหลือแค่เพียงแรงดันที่ใช้ขยายปอดและผนังทรวงอกเท่านั้น แรงดัน ณ จุดนี้ เราเรียกว่า plateau pressure หรือ Pplat

ตารางที่ 2 แสดงรูปร่างของกราฟ pressure-time curve ตามระยะของการช่วยหายใจ¹⁻⁵

ระยะของการช่วยหายใจ	VCV mode	PCV mode
ช่วงเริ่มต้นหายใจเข้า (initiation of breaths)	หากพบ negative deflection ของกราฟ ในช่วงนี้ แสดงว่าเป็นการหายใจที่เกิดจากการ trigger ของผู้ป่วยเอง แต่หากไม่พบ ก็แสดงว่าเป็นการช่วยหายใจตามจังหวะของเครื่อง (time-triggered breath)	เหมือนกับ VCV mode
ช่วงหายใจเข้า	มีการเพิ่มขึ้นของแรงดันด้วยอัตราที่คงจึงเห็นกราฟเป็นเส้นตรง (รูปที่ 5) ส่วน slope ของกราฟนี้จะชันมากน้อยขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย เช่น อัตราการไหลของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศ resistance และ compliance ของระบบหายใจ	มีการเพิ่มขึ้นของแรงดันแบบ exponential กล่าวคือ เพิ่มอย่างรวดเร็วในช่วงแรก จากนั้น slope จะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงช่วงต่อไปที่เป็น plateau
ช่วงสิ้นสุดการหายใจเข้า	ไม่มี plateau (เป็นเส้นตรงขนานแนวแกน X) เกิดขึ้น	จะมี plateau (เป็นเส้นตรงขนานแนวแกน X) เกิดขึ้นช่วงสั้น ๆ
ช่วงหายใจออก	แรงดันจะลดลงแบบ exponential กล่าวคือ เป็นเส้นโค้งมีทิศทางวิ่งเข้าสู่แกน X	เหมือนกับ VCV mode
ช่วง baseline ที่คั่น ระหว่างแต่ละ breath	ช่วงนี้ต้องเป็นเส้นตรงที่แนวระดับของ PEEP ที่ตั้งไว้ และต้องขนานแกน X หากพบว่ากราฟช่วงนี้ไม่อยู่ในแนวระนาบ แต่กลับเฉียงลงเข้าหาแกน X ให้นำนี้ถึงภาวะลมรั่วในระบบ	เหมือนกับ VCV mode



รูปที่ 5 แสดงลักษณะปกติของ pressure-time curve ขณะที่ใช้การช่วยหายใจใน VCV และ PCV mode

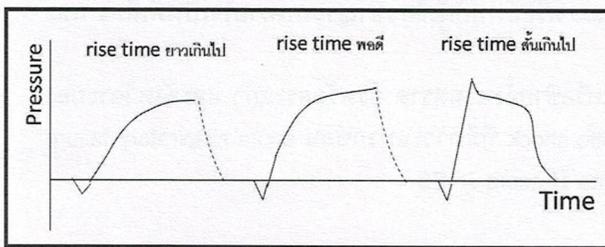
การประยุกต์ใช้ทางคลินิก

กราฟชนิดนี้อาจช่วยในการวินิจฉัยภาวะต่าง ๆ และดูแลรักษาผู้ป่วยทางคลินิกได้หลายอย่าง ดังนี้

1. ใช้ในการบอกชนิดของการหายใจว่าเป็น time-triggered breath (การหายใจที่เครื่องเป็นตัวริเริ่มให้กำเนิดขึ้น) หรือ spontaneous breath

(การหายใจที่ตัวผู้ป่วยเองเป็นผู้ริเริ่มขึ้นโดยมีเครื่องเป็นตัวช่วย) ดังนั้น กราฟชนิดนี้จึงสามารถใช้ช่วยในการติดตามและประเมินผลของยากลุ่ม sedation และยาคลายกล้ามเนื้อได้ ส่วนใหญ่ผู้ป่วยที่ได้รับยากลุ่มนี้จะมี drive ในการหายใจลดลง การหายใจเข้าส่วนใหญ่จึงมักจะเป็น time-triggered breath กราฟ pressure-time จะไม่พบ negative deflection ในช่วงเริ่มต้นหายใจเข้า ในกรณีที่ยาเหล่านี้เริ่มจางลงหรือหมดฤทธิ์ ผู้ป่วยจะเริ่มกลับมากระตุ้นเครื่องช่วยหายใจได้เองอีก การหายใจเข้าจะเป็นแบบ spontaneous breath มากขึ้น จึงเห็น negative deflection ในช่วงนี้บนรูปกราฟเพิ่มขึ้นกว่าเดิม²⁻³

2. ใช้ในการปรับอัตราการไหลของอากาศให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ป่วย ทั้งนี้ กราฟเหล่านี้ควรมีรูปร่างเหมือน ๆ กันทุกตัว トラบเท่าที่ยังใช้ mode และ settings เดิม หากกราฟบางตัวมีรูปร่างผิดปกติไปจากเดิม ย่อมบ่งชี้ว่าอัตราการไหลของอากาศที่ตั้งไว้ ณ ขณะนั้นอาจไม่เพียงพอ⁴⁻⁷ เนื่องจาก inspiratory effort จากตัวผู้ป่วยเองนั้นมักมีค่าสูงกว่าเครื่องและระบบการทำงานของเครื่องได้ ในกรณีเช่นนี้สามารถแก้ไขได้ง่าย ๆ โดยปรับเพิ่มอัตราการไหลของอากาศขึ้น (ตารางที่ 1)
3. ใช้ในการปรับ pressure rise time ให้เหมาะสม เมื่อใช้ PCV mode โดยอาจพิจารณาจากความชันของรูปกราฟในช่วงหายใจเข้า⁶⁻⁷ (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 แสดงผลของการปรับ pressure rise time ต่อลักษณะของรูปกราฟ pressure-time curve ขณะที่ใช้การช่วยหายใจใน PCV mode

4. ใช้คำนวณ lung compliance โดยตั้งเครื่องไว้ใน VCV mode เลือกรูปแบบการไหลของอากาศแบบ square wave ให้อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 60 ลิตรต่อนาที และกำหนดระยะเวลาหยุดหายใจหลังหายใจเข้าเสร็จสิ้น

(inspiratory pause) ไว้ราว 0.3-1.0 วินาที เราจะสามารถวัดระดับของ Pplat ได้ จากนั้นนำค่า Pplat มาคำนวณหา lung compliance ด้วยสูตรต่อไปนี้

$$C' = \frac{\Delta v \text{ หรือ } v_T \text{ ที่วัดได้}}{P_{\text{plat}} - \text{PEEP ที่ตั้งไว้}}$$

5. ใช้ประเมินว่ามี auto PEEP (PEEPi) เกิดขึ้นหรือไม่ โดยปกติเมื่อสิ้นสุดการหายใจออกจะมีแรงดันหลงเหลืออยู่ในปอดเท่ากับระดับของ PEEP ที่ตั้งไว้เท่านั้น จากนั้นจึงเริ่มมีการหายใจเข้าครั้งถัดไป แต่ในรายที่มี PEEPi อยู่ นั้นจะมีอากาศตกค้างภายในปอดมากกว่าปกติ ทำให้แรงดันในช่วงสิ้นสุดการหายใจออกสูงกว่าระดับของ PEEP ที่ได้ตั้งไว้ก่อนหน้านี้ แม้ในช่วงที่การหายใจเข้าครั้งถัดไปกำลังจะเริ่มดันขึ้นก็ตาม ดังนั้น จะพบว่ารูปกราฟในช่วงขาลงของการหายใจออกขณะที่มี PEEPi จะสิ้นสุดลงในขณะที่เส้นกราฟยังคงลอยอยู่เหนือระดับ baseline ของแกน X (ระดับของ PEEP) นอกจากนี้ เมื่อสังเกตระดับของ PIP ในขณะที่ใช้ VCV mode จะเห็นว่า ระดับ PIP สูงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ³⁻⁶ (รูปที่ 3)

ในฉบับหน้า ผู้อ่านจะได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ flow-time curve และ loops ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

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