

## 6

## การใช้เครื่องติดตามสถานะของผู้ป่วยในหอผู้ป่วยหนัก (Use of Monitors in the Intensive Care Unit)

ทัศนชัย บุญบุรพงค์

### เครื่องติดตามสถานะของผู้ป่วยในหอผู้ป่วยหนัก (Monitors in the ICU)

ICU หรือ intensive care unit หมายถึง หน่วยบำบัดพิเศษเพื่อดูแลผู้ป่วยที่จำเป็นต้องได้รับการดูแล (รักษาพยาบาล) อย่างใกล้ชิด ผู้ป่วยใน ICU อาจเป็นผู้ป่วยหนักหรือผู้ป่วยวิกฤตหรือไม่ก็ได้ ผู้ป่วยวิกฤต (critically ill patient) หมายถึง ผู้ป่วยที่มีหรือใกล้จะเกิดความล้มเหลวของอวัยวะระบบใดระบบหนึ่งตั้งแต่ 1 ระบบขึ้นไป ผู้ป่วยเหล่านี้จำเป็นต้องได้รับการเฝ้าระวังติดตามการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้การรักษาได้ทันทั่วถึง แต่ผู้ป่วยที่ไม่ใช่ผู้ป่วยหนักหรือผู้ป่วยวิกฤต (กล่าวคือไม่มีหรือไม่เสี่ยงต่อ organ system failure) ก็อาจจำเป็นต้องได้รับการเฝ้าระวังติดตามการเปลี่ยนแปลงสถานะการทำงานของระบบต่างๆ ได้ เพื่อป้องกันภาวะแทรกซ้อนบางอย่างที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่น ผู้ป่วย acute coronary syndrome, ผู้ป่วยหลังทำ cardiac catheterization, ผู้ป่วยได้รับยาหรือสารพิษบางอย่างซึ่งมารับการเฝ้าระวังการเกิดอาการและอาการแสดงของยาหรือสารพิษนั้น เป็นต้น

Routine monitoring ของผู้ป่วยใน ICU ควรมีอะไรบ้าง และบ่อยเพียงใด ผู้เขียนไม่เห็นด้วยกับการกำหนด routine monitoring สำหรับทุกคน แต่เห็นว่าควรพิจารณาให้เหมาะสมเป็นรายบุคคลไป แต่ routine monitoring ได้ถูกกำหนดขึ้นใน ICU หลายๆ แห่งในสหรัฐอเมริกา เช่น ผู้ป่วยทุกคนต้องเฝ้าระวัง NIBP, ECG with HR alarm, RR (impedance pneumography) with apnea alarm, temperature, และ pulse oximeter เฉพาะช่วงเวลา (เช่น ขณะนอน หรือ 2 ชั่วโมงหลังผ่าตัด) เหตุที่ต้องมี routine monitoring ก็เพราะอาจมีการฟ้องร้องเมื่อผลการรักษาไม่พึงประสงค์หรือผู้ป่วยและญาติไม่พึงพอใจแพทย์หรือพยาบาล โดยฟ้องร้องว่าเหตุใดจึงไม่เฝ้าระวังสถานะนั้นสถานะนี้ในเมื่อผู้ป่วยมีโอกาสหัวใจหยุดหรือเดินผิดจังหวะ หยุดหายใจ ความดันเลือดเปลี่ยนแปลง ฯลฯ เป็นต้น

Monitor ที่ดีที่สุดในหอผู้ป่วยหนักหรือไม่ว่าที่ใดก็ตาม คือ คนที่มีความรู้ ดังได้กล่าวในเอกสาร “ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการเฝ้าระวัง” แล้วว่า การมีเครื่อง monitor ต่ออยู่กับผู้ป่วยไม่ได้หมายความว่าผู้ป่วยได้รับการ monitor เสมอไป เครื่อง monitor จะทำงานบรรลุเป้าหมายของการเฝ้าระวังได้ก็ต่อเมื่อมีผู้ดูแลเป็นร่วมอยู่ด้วยเท่านั้น แพทย์และพยาบาลในหอผู้ป่วยหนักจึงควรมีความรู้เกี่ยวกับสิ่งที่จะเฝ้าระวัง (เลือกใช้วิธีที่เหมาะสม แปลผล

ถูกต้อง ตอบสนองถูกต้อง) และเรียนรู้การบังคับควบคุมเครื่องแต่ละเครื่องที่จะใช้ให้คุ้นเคยเสียก่อน บางเครื่องอาจต้องการการอบรมเป็นพิเศษจากบริษัทผู้ผลิตหรือผู้ขาย

ในส่วนของงานบริหาร การจัดหาและการบำรุงรักษาเครื่อง monitor เป็นภารกิจหนึ่งที่ผู้บริหารและผู้ใช้ควรมีส่วนร่วม เพื่อให้สามารถใช้เครื่อง monitor นั้นให้เป็นประโยชน์ได้เป็นเวลานาน

### การซื้อเครื่องติดตามสถานะของผู้ป่วย (Monitor)

1. คุณสมบัติของเครื่อง ควรมีคุณสมบัติต่างๆ ของ monitor ที่ดี ซึ่งได้แก่
  - 1.1 เทียบตรง (accurate) และวัดได้ถูกต้องคงเส้นคงวา (reproducible)
  - 1.2 มีความไวพอ (sensitive)
  - 1.3 ใช้งานง่าย (simple to use)
  - 1.4 สมราคา (cost-effective) โดยพิจารณาทั้งราคาเริ่มต้น ราคาชิ้นส่วนสิ้นเปลืองในการใช้ และราคาในการบำรุงรักษา
  - 1.5 ไม่ทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อน กล่าวคือมีระบบป้องกันอันตราย เช่น ไฟรั่ว, อัตราความดันสูงเกินไป
  - 1.6 ปรับให้เหมาะกับผู้ป่วยแต่ละรายได้ (tailored to a specific patient need)

ถ้ามีผลิตภัณฑ์หลายบริษัทก็ควรพิจารณาผลการศึกษาเปรียบเทียบ ซึ่งอาจขอจากบริษัทผู้ขายได้ สิ่งที่คุณเขียนอยากเตือนคืออย่าเชื่อคำอวดอ้างคุณสมบัติต่างๆ จากผู้แทนขายซึ่งไม่มีความรู้จริงเกี่ยวกับเครื่องมือที่ขายนั้น

2. ผลิตตามข้อกำหนดคุณสมบัติมาตรฐานสากล เช่น American Society for Testing and Materials (ASTM), National Fire Protection Association (NFPA), American Association for the Advancement of Medical Instrumentation (AAMI)

3. บริษัทผู้ผลิตและผู้จัดจำหน่าย มีความมั่นคงเชื่อถือได้เพียงใด เป็นผู้ชำนาญในการผลิตเครื่องมือชิ้นๆ หรือไม่ บริการหลังการขายดีเพียงใด ไม่ควรพิจารณาซื้อจากบริษัทเฉพาะกิจ และแม้ว่าบางบริษัทจะอ้างว่ามีบริการหลังการขายโดยมาบริการให้เป็นประจำ แต่บริษัทไม่ได้พัฒนาความสามารถในการซ่อมเครื่องมือชิ้นๆ ได้เอง ต้องส่งไปซ่อมที่บริษัทอื่นหรือต่างประเทศ และไม่มีเครื่องให้ใช้ทดแทนในขณะที่ทำการซ่อม ก็อาจเกิดปัญหาได้ และหากเป็นเครื่องที่จำเป็นต้องฝึกรวมบุคลากรผู้ใช้บริษัทผู้ผลิตหรือผู้ขายควรออกค่าใช้จ่ายในการฝึกรวมให้ด้วย

4. การทดลองใช้ในสถานการณ์จริง ไม่ควรซื้อถ้าไม่ให้ทดลองใช้ในสถานการณ์จริงก่อน เช่น ECG monitor อาจใช้ได้ดีใน ICU แต่เมื่อนำมาใช้ในห้องผ่าตัดกลับพบว่าถูกรบกวนด้วยเครื่องจีไฟฟ้า เป็นต้น ในกรณีที่จะซื้อเครื่องใหม่ทดแทนเครื่องเก่า ต้องพิจารณาว่าจะเข้ากับสถานการณ์ที่ใช้กันอยู่ได้เหมาะสมหรือไม่ เช่น ขนาดเหมาะสมที่จะตั้งบนแท่นเดิมหรือไม่ ข้อต่อหรือสายเคเบิลต่างๆ จะเข้ากับเครื่องที่มีใช้ๆ กันอยู่ในขณะนั้นหรือไม่ เป็นต้น ถ้ามีหลายผลิตภัณฑ์ควรทดลองใช้เปรียบเทียบกันก่อน

### การใช้และการบำรุงรักษาเครื่อง Monitor (Uses and maintenance of monitors)

การศึกษาทั้งหลายล้วนพบว่าความรู้ความสามารถของบุคลากรผู้ใช้เครื่องเป็นปัจจัยสำคัญมากต่อผลการรักษา<sup>1</sup> บุคลากรที่เกี่ยวข้องได้แก่ แพทย์, พยาบาล, clinical technician (เช่น ECG technician, EEG techni-

cian, vascular technician, respiratory therapist), และ biomedical engineer โดยต้องร่วมกันทำงานเป็นทีม ติดต่อสื่อสาร ขอและให้ข้อมูลกันและกัน แม้เจ้าหน้าที่ที่ทำความสะอาดก็เกี่ยวข้องกับผลการรักษาได้ดังเหตุการณ์จริงที่ลงในหนังสือพิมพ์ในประเทศสหรัฐอเมริกา รายงานว่าใน ICU ของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งจะมีผู้ป่วยตายทุกเช้าวันศุกร์ติดต่อกันเป็นเวลาหลายเดือน ต้นเหตุเพราะพนักงานทำความสะอาดจะมาขัดพื้นทุกเช้าวันศุกร์ โดยดึงปลั๊กไฟของระบบประคองชีวิต (life support system ซึ่งได้แก่ monitor, infusion pump, เครื่องช่วยหายใจ เป็นต้น) ออก แล้วเสียบปลั๊กเครื่องขัดพื้นแทน เมื่อขัดเสร็จจึงเสียบปลั๊กไฟของ life support system กลับเข้าดังเดิมแล้วเดินออกจากห้องไปโดยไม่ได้สนใจผู้ป่วย

ในทางปฏิบัติในประเทศไทย มักเป็นพยาบาลทำหน้าที่ใช้เครื่องและบันทึกข้อมูล รวมทั้งตัดสินใจว่าจะต้องรายงานแพทย์หรือไม่ หรือจะตามวิศวกรการแพทย์หรือช่างจากบริษัทนับได้ว่ามีบทบาทสำคัญมากกว่าแพทย์เสียอีก บางครั้งเมื่อรายงานแล้วแพทย์ไม่ทำอะไร พยาบาลผู้มีความรู้ความชำนาญก็อาจจำเป็นต้องทำอะไรบางอย่างเพื่อตอบสนองต่อการเตือนจากเครื่อง monitor ที่เกิดขึ้นนั้น เพราะทราบหากถ้าทิ้งไว้ในสภาพนั้นผู้ป่วยจะต้องเสียชีวิตแน่นอน ซึ่งก็เสี่ยงต่อการถูกหาว่าก้าวก่าย สู้อู้ หรือเป็นเหตุให้ผู้ป่วยตาย ผู้เขียนจะไม่กล่าวถึงว่าพยาบาลควรทำอย่างไรในสถานการณ์เช่นนี้ขอให้พยาบาลแต่ละท่านพิจารณาเป็นกรณีเป็นบุคคลไป แต่จะเสนอว่าทางที่ดีในการเฝ้าระวังผู้ป่วยคือ ควรมี action plan สำหรับ alarm ต่างๆ ที่ตั้งเตือนขึ้น โดยร่วมกับแพทย์ร่าง action plan ขึ้นใช้ใน ICU ของตน ว่าผู้พบเห็นจะต้องทำอะไรก่อนหลังอย่างไรบ้าง โดยมีหลักทั่วไปคือต้องตรวจสอบความปลอดภัยของผู้ป่วยก่อน แล้วจึงตอบสนองต่อค่า alarm แต่ละชนิดตามความเหมาะสมต่อไป เช่น เมื่อพบ ECG alarm และเห็นเป็นเส้นตรง ถ้าตรวจดูว่าผู้ป่วยไม่รู้สีกตัว ให้คลำ carotid pulse ถ้าคลำไม่ได้ให้ทำ CPR แทนที่จะตรวจดูว่า electrode ชั้้นใดหลุด หรือสายเคเบิลที่ต่อไปยังเครื่องสายใดหลุด หรือเมื่อใช้ automated NIBP กับผู้ป่วยที่หนาวสั่น (shivering) และพบว่า NIBP alarm และไม่รายงานค่า ก็ควรวัดเองด้วยวิธี auscultation หรือ palpation ก็จะทำทราบว่าความดันเลือดตกหรือไม่ แทนที่จะปิดเครื่องไปก่อนแล้วรออุ่นให้ผู้ป่วยอุ่นขึ้นและหายสั่นก่อนจึงวัดใหม่ได้ เป็นต้น

การเรียนรู้วิธีปรับตั้งเครื่อง monitor และการบำรุงรักษาขณะใช้ตามคู่มือผู้ใช้เครื่องที่มาพร้อมกับเครื่อง เป็นอีกภารกิจหนึ่งที่พยาบาลผู้ดูแลผู้ป่วยตลอดเวลาต้องทำได้ รวมถึงทำความสะอาดและเก็บหลังการใช้แต่ละราย

การบำรุงรักษาเครื่อง monitor แบบ preventive maintenance โดยช่างเครื่องมือแพทย์เป็นสิ่งจำเป็นต้องมี ผู้บริหารควรเห็นความสำคัญและจัดงบประมาณให้ ถ้าช่างของโรงพยาบาลไม่สามารถให้บริการได้ อาจต้องติดต่อซื้อบริการจากบริษัทที่ขายเครื่องหรือบริษัทที่รับงานบำรุงรักษาเครื่องมือแพทย์โดยเฉพาะ

## การใช้เครื่องติดตามสถานะของผู้ป่วยในหอผู้ป่วยหนัก

### การใช้เครื่องติดตามสถานะของระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular Monitoring)

ระบบหัวใจและหลอดเลือด หรือระบบไหลเวียนเลือด ทำหน้าที่ส่งเลือดไปเลี้ยงอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย โดยหัวใจเป็นเครื่องสูบน้ำเลือดให้ไหลตามหลอดเลือดไปเลี้ยงอวัยวะต่างๆ ซึ่งการไหลของเลือดก็เป็นไปตามหลักฟิสิกส์ธรรมดา คือ การไหลของของไหลจะเกิดขึ้นได้ต้องมีแรงดันมากพอที่จะเอาชนะความต้านทานการไหล (หรือ  $\text{flow} = \text{pressure gradient/resistance}$ ) สำหรับการไหลเวียนเลือด แรงดันก็อนุโลมว่าเป็นความดันในหลอดเลือดแดง (arterial blood pressure) ถ้าความดันในหลอดเลือดแดงต่ำกว่าค่าแรงดันวิกฤต (critical perfusion pressure) ก็จะไม่มีการไหลเวียนเลือดเกิดขึ้นในหลอดเลือดของอวัยวะนั้นๆ โดยทั่วไปถือว่าต้องได้ mean

arterial pressure มากกว่า 60-70 มม.ปรอท จึงจะเพียงพอ ตราบใดที่ความดันเลือดแดงสูงกว่า critical perfusion pressure หมายความว่าเลือดไหลได้เท่านั้น แต่ไม่ได้บ่งชี้ว่าปริมาณเลือดไหลเวียน (blood flow) มากน้อยเพียงใด ดังนั้นอาจพบว่า BP สูงมาก แต่ blood flow ไม่เพียงพอก็เป็นได้ อย่างไรก็ตามการปล่อยให้ความดันเลือดแดงสูงขึ้นมากและเร็วเกินไปอาจเกิดอันตรายคือหลอดเลือดแดงแตกได้ หรือหัวใจไม่สามารถทำงานสู้กับความต้านทานที่สูงมาก ทำให้เกิดภาวะหัวใจวายหรือหัวใจล้มเหลว (heart failure) ได้

หัวใจสูบฉีดเลือดเป็นครั้งๆ ปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกไปแต่ละครั้งเรียก stroke volume (SV) เมื่อคูณกับอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate: HR) ก็จะเป็นปริมาณเลือดทั้งหมดที่หัวใจสูบฉีดออกไปใน 1 นาที (cardiac output: CO) ซึ่งเป็นปริมาณเลือดที่จะแบ่งไปเลี้ยงทุกอวัยวะของร่างกาย โดยเลือดจะถูกแบ่ง (distribution) ไปเลี้ยงอวัยวะใดมากหรือน้อยขึ้นกับความต้านทานหลอดเลือดของแต่ละอวัยวะ (regional vascular resistance) ดังนั้นการที่แต่ละอวัยวะจะได้รับเลือดมาเลี้ยงเพียงพอจึงขึ้นกับ cardiac output ที่เพียงพอ และ distribution เป็นปกติ และการที่อวัยวะใดจะได้รับการเลี้ยงไม่เพียงพอ (inadequate tissue perfusion หรือ shock) ก็อาจเกิดจาก cardiac output ไม่เพียงพอ หรือการกระจายของเลือดไปเลี้ยงอวัยวะต่างๆ ผิดปกติ (maldistribution)

การทำงานของหัวใจ เริ่มด้วยมีคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่คอยกำหนดจังหวะและความสัมพันธ์ของการบีบตัวของหัวใจห้องบนและห้องล่าง คลื่นไฟฟ้าหัวใจจะถูกเปลี่ยนเป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจเพื่อสูบฉีดเลือดออกไปได้ ความแรงของการบีบตัวเรียก contractility หรือ inotropic state ปริมาณเลือดในห้องหัวใจก่อนบีบตัว (end-diastolic volume) เป็นสิ่งกำหนดความยาวก่อนหดตัวของ myofibril ซึ่งเรียกว่า preload ถ้า preload เหมาะสม (optimum) หัวใจจะบีบตัวได้แรงที่สุด แต่ถ้า preload น้อยหรือมากเกินไป ความแรงของการบีบตัวจะลดลง ส่วนแรงต้านทานการไหลที่เกิดขณะกล้ามเนื้อหัวใจบีบตัวแล้วเรียกว่า afterload หัวใจสามารถเพิ่มแรงบีบตัวสู้กับ afterload ที่สูงขึ้นได้ระดับหนึ่ง หลังจากที่สูงเกินไปแล้ว ถ้า afterload เพิ่มขึ้น stroke volume และ cardiac output จะลดลง

ถ้าให้เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจทำงานมากขึ้น ก็จะใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นด้วย ถ้าปล่อยให้หัวใจทำงานมากๆ แม้ในคนที่ไม่มีโรคหลอดเลือดหัวใจ ก็อาจเกิดการขาดเลือดของกล้ามเนื้อหัวใจส่วนในได้ (subendocardial ischemia) เนื่องจากความไม่สมดุลระหว่างการใช้ออกซิเจน (myocardial oxygen demand) และปริมาณออกซิเจนที่ได้รับ (myocardial oxygen supply) ผลคือ อาจเกิดความผิดปกติของคลื่นไฟฟ้าหัวใจและการบีบตัวของหัวใจ ส่วนผู้ป่วยที่เป็นโรคหลอดเลือดหัวใจ จะเกิดภาวะกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด (myocardial ischemia) หรือกล้ามเนื้อหัวใจตาย (myocardial infarction) ได้ง่ายขึ้น

จากความรู้พื้นฐานที่กล่าวมานี้ ทำให้ทราบว่า การติดตามสถานะของระบบหัวใจและหลอดเลือด ต้องติดตามค่าต่างๆ ดังนี้

1. ความดันในหลอดเลือดแดง (arterial blood pressure monitoring) ซึ่งทำได้ 2 วิธี คือ
  - 1.1 Non-invasive หรือ indirect BP monitoring
  - 1.2 Invasive หรือ direct BP monitoring
2. การทำงานของหัวใจในฐานะเครื่องสูบ (the heart as a pump) โดยพิจารณาจาก
  - 2.1 Heart rate (HR) & rhythm HR ต่ำ (มักต่ำกว่า 50/min) เมื่อคูณกับ SV ก็จะได้ CO ต่ำ แต่ HR ที่สูงเกินไป ทำให้เวลาที่ให้เลือดไหลเข้าสู่หัวใจสั้น และเวลาที่เลือดไปเลี้ยงเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจสั้นทำให้

การบีบตัวลดน้อยลง ผลคือ CO ต่ำลง ดังนั้นในคนหนึ่งๆ จึงมีช่วงของ HR ช่วงหนึ่งที่จะทำให้ CO สูงสุด เรียกว่า optimal HR HR ในช่วงที่ต่ำกว่าหรือสูงกว่า optimal HR ล้วนทำให้ CO ต่ำลงทั้งสิ้น optimal HR ในผู้ใหญ่ อยู่ในช่วง 120-140/min แต่ในเด็กอาจสูงถึง 180-200/min ได้ ส่วนจังหวะการเต้นของหัวใจนั้น ถ้าเป็นแบบ sinus rhythm จะทำให้ได้ CO เต็มที่ แต่ถ้าเป็นจังหวะที่ไม่มี atrial contraction เช่น AF, SVT, VT ก็จะได้ CO ลดลง ควรแก้ไขให้เป็น sinus rhythm สำหรับ AF ที่เป็นมานานไม่แนะนำให้แก้เพราะเสี่ยงต่อ emboli จากลิ่มเลือด ในหัวใจห้องบนถูกบีบให้กระจายไปตามกระแสเลือด นิยมควบคุม ventricular response ไว้ไม่ให้เกิน 100/min

การติดตามอัตราและจังหวะการเต้นของหัวใจ ทำได้โดย ECG, คลำ pulse, ดูจาก waveform ของ arterial line หรือ pulse oximeter

2.2 Preload หรือ end-diastolic volume (EDV) ประเมินโดยวัดขนาดห้องหัวใจจากที่เห็นใน echocardiogram หรือ cine angiography หรือใช้ end diastolic pressure (EDP) แทน EDV ในกรณีที่ทราบ compliance ของ ventricle แต่การใส่สายเข้าไปวัด EDP ก็ยังทำได้ยาก จึงนิยมใช้ filling pressure (FP) ในการบ่ง preload แทน EDP หรือ EDV โดยใช้ pulmonary capillary wedge pressure (PCWP) เพื่อบ่ง preload ของ left ventricle (LV) และใช้ central venous pressure (CVP) เพื่อบ่ง preload ของ right ventricle (RV) แต่ต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่างที่มีอิทธิพลต่อ CVP หรือ PCWP

2.3 Contractility คือ ความแรงของการบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ ตามปกติเมื่อร่างกายต้องการ CO เพิ่มขึ้นจะมีการเพิ่ม sympathetic tone เพื่อเพิ่ม contractility และแม้ sympathetic stimulation ของร่างกาย จะสูงสุดแล้วก็ยังพบว่าสามารถเพิ่ม contractility ของหัวใจให้สูงขึ้นได้อีกโดยใช้ exogenous positive inotropic drug ส่วนภาวะที่มีการกด contractility ของหัวใจได้แก่ sympathetic blockade, parasympathetic stimulation, myocardial ischemia/infarction, hypoxemia, severe acid-base disturbance, negative inotropic drug, electrolyte imbalance, myocardial disease ต่างๆ, sepsis รวมทั้งภาวะที่หัวใจไม่เคยถูกฝึกออกกำลัง ให้แข็งแรง เช่นในผู้ป่วย bed ridden หรือ chronic debilitating illness

การประเมิน contractility ทำได้โดยหาความแรงของการหดตัวต่อหน่วยเวลา (dP/dt), อัตราเร็วของการหดตัว, ejection fraction, หรือ slope ของ end-systolic pressure-volume relationship (ESPVR) line ที่ได้จากการเขียนกราฟระหว่าง ventricular pressure และ ventricular volume ซึ่งล้วนใช้ไม่ได้ในทางปฏิบัติ

2.4 Afterload ภาวะที่ afterload สูงได้แก่ increased systemic vascular resistance, valvular disease เช่น aortic stenosis, increased blood viscosity การประเมิน afterload ทำได้โดยใส่ PA catheter หา CO แล้วนำมาคำนวณ SVR

2.5 Cardiac output ดังจะได้อีกกล่าวต่อไป

2.6 การดูการทำงานของหัวใจโดยใช้คลื่นเสียง (echocardiography) ดังจะได้อีกกล่าวต่อไป

2.7 อาการแสดงของภาวะหัวใจล้มเหลว (heart failure): S3, S4 gallop, pulmonary edema

3. ภาวะดุลออกซิเจนของกล้ามเนื้อหัวใจ (myocardial oxygen balance) ประเมิน demand, supply, และ demand/supply balance ดังกล่าวแล้วในบท “ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการเฝ้าระวัง” รวมถึงการหาค่า CK-MB, LDH I/IV ratio เป็นระยะเพื่อประเมินว่ามีการตายของกล้ามเนื้อหัวใจมากน้อยเพียงใด

4. ความเพียงพอของปริมาณเลือดไหลเวียนที่ไปยังแต่ละอวัยวะ (tissue perfusion) การวินิจฉัยภาวะ

shock หรือ inadequate tissue perfusion อาศัยหลักฐานต่อไปนี้คือ

4.1 Hemodynamic evidence: SBP ต่ำกว่าเดิมมากกว่า 30% หรือต่ำกว่า 80 mm Hg, capillary filling time > 3-5 วินาที

4.2 Clinicals of impaired organ function

- Skin: cool, clammy, cyanosis, core-skin temp. diff > 2 C
- Kidney: urine < 30 mL/hr, Usp.gr. >1018, Uosm >500 mOsm/L,  $U_{Na} < 20$  mEq/L
- Lung: V/Q abnormality → hypoxemia
- Brain: impaired mentation, consciousness
- Heart: ischemic change, arrhythmia, pump failure

4.3 Biochemical evidence: lactic acidosis, gastric intramucosal pH

สรุป monitor ที่ใช้บ่อยได้แก่ ECG เพื่อติดตาม heart rate & rhythm และ ischemia, NIBP หรือ IBP, CVP, PA catheter (PCWP, CO, SVR), echocardiography, cardiac output monitoring

### เครื่องติดตามคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG Monitor)

ประโยชน์ของ ECG monitoring ได้แก่

1. ติดตาม อัตรา (heart rate) และจังหวะการเต้น (rhythm) ของหัวใจต่อเนื่องตลอดเวลา เพื่อค้นพบความผิดปกติของอัตราและจังหวะการเต้นของหัวใจ
2. วินิจฉัยภาวะ myocardial ischemia หรือ myocardial injury ที่อาจเกิดขึ้น โดย ST segment monitoring

การวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจ 12 lead จะทำให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับหัวใจครบถ้วน แต่ต้องใช้ electrode ถึง 10 ชั้น คือ แขนขารวม 4 ชั้น และบริเวณเหนือหัวใจ (precordium) ที่ตำแหน่ง V1-V6 อีก 6 ชั้น ซึ่งไม่สะดวกสำหรับการ monitor ต่อเนื่อง ECG monitor ที่ใช้ในปัจจุบันมักมี 3 electrode หรือ 5 electrode และแสดงได้ครั้งละ 1-2 lead เท่านั้น ในบางกรณีจำเป็นต้อง monitor 12 lead พร้อมกัน เช่น การวินิจฉัย post-PTCA reocclusion จากภาวะ myocardial ischemia ทำได้โดยใช้ electrode 8 ชั้น (Frank method) หรือ 5 ชั้น (EASI Method) การติด electrode มีหลักการคือ ควรติดบนบริเวณที่เป็นกระดูก การติดบนกล้ามเนื้ออาจถูกรบกวนโดยคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ, ไม่ควรรบกวนต่อการฟัง breath sound, ไม่ควรรบกวน chest X-ray ในกรณีที่ต้อง monitor 12 lead ซึ่งต้องใช้ electrode 5 หรือ 8 หรือ 10 ชั้น อาจต้องใช้ electrode และสายเคเบิลที่ไม่เห็นในภาพเอกซเรย์, ไม่ติดบริเวณที่จะผ่าตัดหรือทำหัตถการ, ไม่รบกวนการทำ defibrillation

### การติดตามความดันเลือดแดงโดยวัดทางอ้อม (Indirect or Non-invasive BP Monitoring)

วิธีการวัดความดันเลือดแดงทางอ้อม

1. **Scipione-Riva-Rocci method** โดยใช้ cuff พันภายนอก เมื่อ inflate cuff จนความดันสูงกว่า

ความดันในหลอดเลือด หลอดเลือดจะถูกกดให้แบนจนไม่มีเลือดไหลผ่าน เมื่อค่อยๆ ลดความดันใน cuff จนต่ำกว่า systolic pressure จะมีเลือดไหลผ่านได้ โดยมีวิธี

1.1 คลำชีพจร มักคลำได้เฉพาะ SBP

1.2 ใช้ stethoscope ฟัง Korotkoff's sound ซึ่งเป็น low pitch จึงควรใช้ bell ฟัง แต่เนื่องจากความโค้งเว้าของแขน ถ้าใช้ bell มัก contact ไม่ดี จึงมีผู้นิยมใช้ diaphragm

1.3 Oscillometric method ได้แก่ที่พบใน automated NIBP monitor ทั้งหมด เมื่อเลือดไหล จะทำให้ผนังหลอดเลือดสั่น (oscillation) ซึ่งการสั่นจะถูกส่งผ่านมายัง cuff ทำให้ได้ค่า SBP การสั่นสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ mean arterial pressure ส่วน DBP จะเป็นจุดที่การสั่นลดลงในทันทีทันใด

1.4 Doppler method ใช้ doppler วางบนหลอดเลือดแดงส่วนปลาย เพื่อฟังเสียงเลือดไหล SBP จะได้ยินชัด แต่ DBP อาศัยการเปลี่ยนแปลงลักษณะเสียง ซึ่งอาจฟังได้ยาก

ข้อผิดพลาดที่พบบ่อยคือ เลือกขนาด cuff ไม่ถูกต้อง เข้าใจว่าความกว้างของ cuff ควรเป็น 2/3 ของความยาวต้นแขน ซึ่งไม่ถูกต้อง เพราะความกว้างของ cuff ไม่เกี่ยวกับความยาวของอวัยวะที่จะพัน cuff เลย แต่เกี่ยวกับเส้นผ่าศูนย์กลางหรือเส้นรอบวงของอวัยวะนั้น โดยให้กว้างกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางต้นแขนหรือต้นขา 20-40% หรือคิดเทียบกับเส้นรอบวงก็จะได้ประมาณ 40% ของเส้นรอบวงแขน ที่ทำขายกันมีขนาด 12 cm สำหรับต้นแขน และ 18 cm สำหรับต้นขา ในคนอ้วนถ้าใช้ cuff ขนาดปกติอาจวัดความดันเลือดแดงได้สูงกว่าความเป็นจริง ถ้าหา cuff ที่กว้าง 40% ของ arm circumference ได้ก็ไม่มีปัญหา อาจต้องใช้ cuff ขาพันที่แขน แต่ถ้าหาไม่ได้ อาจแก้ปัญหาโดยใช้ cuff สำหรับต้นแขนที่มีอยู่พันที่ปลายแขน (forearm) แทน แล้วฟัง Korotkoff sound ที่ radial artery ส่วนความยาวของถุงลม cuff ควรพันได้รอบแขนหรือขา อย่างน้อยต้องมากกว่า 50% ของเส้นรอบวง และพันโดยวางกึ่งกลาง cuff บนบริเวณหลอดเลือดแดงที่จะวัด

ข้อผิดพลาดอีกประการหนึ่งของการวัดโดยวิธีนี้คือ ใช้ในภาวะที่ควรใช้ direct BP monitoring เพราะภาวะเหล่านี้ไม่สามารถวัด BP ได้โดยวิธี indirect ได้แก่

1. Severe hypotension เนื่องจาก flow น้อยเกินกว่าที่จะทำให้เกิด turbulent flow ให้ตรวจพบได้ ซึ่งค่า BP ต่ำสุดที่จะวัดได้ ขึ้นกับวิธีตรวจหา turbulent flow ด้วย

2. Severe vasoconstriction เนื่องจากผนังหลอดเลือดแดงที่หดตัวอย่างมาก จะทำให้หลอดเลือดแดงมีสภาพเหมือนท่อน้ำที่มีผนังแข็ง (leadpipe) ไม่สามารถถูกกดให้แฟบลงได้ จึงไม่สามารถประเมินแรงดันภายในหลอดเลือดจากค่าแรงดันที่กดภายนอกหลอดเลือดได้ภาวะนี้ได้แก่ pheochromocytoma หรือ catecholamine shock ซึ่งมี vasoconstriction รุนแรงมาก มือจะขาว ชีต เย็น คลำ peripheral pulse ไม่ได้ วัด indirect BP ไม่ได้ แต่ถ้ามี intra-arterial pressure monitoring อยู่ จะพบว่า mean arterial pressure อาจสูงถึงกว่า 200 mm Hg ได้

3. Non-pulsatile blood flow ซึ่งได้แก่การไหลเวียนเลือดที่เกิดจากเครื่องปอด-หัวใจเทียม (cardio-pulmonary bypass) เนื่องจากเลือดไหลต่อเนื่องสม่ำเสมอตลอด ไม่มีลักษณะเป็นช่วงๆ เหมือนลูกคลื่น (non-pulsatile) ดังนั้น การกดหลอดเลือดแดงให้แฟบแล้วค่อยๆ ปล่อย จึงไม่ทำให้เกิด turbulent flow เป็นช่วงๆ ให้ตรวจพบได้ตามจังหวะการเต้นของหัวใจ

**2. Photoplethysmography (เครื่อง Finapres ของ Ohmeda)** ใช้ finger cuff สวมนิ้วมือ ใช้ diode ปลดแสง infrared ผ่านนิ้วมือ แล้วประเมินปริมาตรเลือดในนิ้วมือ ซึ่งเพิ่มขึ้นและลดลงตามชีพจร photoplethysmograph จะส่งสัญญาณไปปรับความดันใน finger cuff อย่างรวดเร็วมาก เพื่อพยายามทำให้ ปริมาตรเลือดในนิ้วคองที่ หลอดเลือดจะไม่ถูกกดให้แฟบไป ความดันที่ใช้จะถูกแสดงทางจอภาพเป็น waveform คล้ายกับที่พบจาก arterial line จึงสามารถใช้เป็น continuous noninvasive BP monitoring ได้

**3. Tonometry** วาง sensor ซึ่งเป็น piezoresistive crystal pressure transducer บนผิวหนังเหนือ หลอดเลือดแดงตื้นๆ เช่น radial artery หรือ temporal artery โดยใช้แรงกดมากพอที่จะทำให้หลอดเลือด แบนลงเล็กน้อย แต่ไม่แฟบไปหมด ความดันในหลอดเลือดจะถูกส่งผ่านมายัง transducer ซึ่งจะเปลี่ยนสัญญาณ มาเป็น waveform เหมือน arterial line

### การติดตามความดันเลือดแดงโดยวัดทางตรง (Direct or Invasive BP Monitoring)

การวัดความดันในหลอดเลือดแดงโดยตรง (direct arterial BP monitoring) ทำได้โดยสอดสายสวน คาไว้ในหลอดเลือดแดง (arterial cannulation) หรือที่เรียกว่า arterial line โดยเหตุที่ต้อง สอดสายสวนทะลุ ผิวหนัง จึงได้ชื่อว่าเป็น invasive BP monitoring

ข้อบ่งชี้ของ direct BP monitoring คือ

1. ใช้ในกรณีที่ไม่สามารถใช้ indirect BP measurement ได้
2. ต้องการ continuous BP monitoring
3. ต้องการเปรียบเทียบหรือประเมินค่าที่ได้จาก indirect measurement

ส่วนข้อบ่งชี้ของ arterial line มีเพิ่มมากขึ้นจากข้อบ่งชี้ของ direct BP measurement ดังนี้ คือ

4. ต้องดูตืดจากหลอดเลือดแดงบ่อยๆ เกินวันละ 3-4 ครั้ง
5. Intra-arterial administration of drugs, e.g. thrombolytic
6. Arterial angiographic study
7. Use of intra-aortic balloon pump, cardiopulmonary bypass

ระบบวัดความดัน (pressure measurement system) ประกอบด้วย

1. สายต่อที่หล่อด้วย heparinized saline ต่อเข้ากับ arterial cannula เพื่อส่งแรงดันจากเลือดไปยัง อุปกรณ์วัดความดัน อีกปลายหนึ่งต่อกับ 3-way stopcock เพื่อไว้ดูดเลือดหรือ intermittent flush จากนั้นจึง ต่อไปยังอุปกรณ์วัดความดัน (pressure measurement device) ต่อไป สายที่ใช้ควรเป็นสายที่ไม่ยืดหยุ่นมาก (non-compliant) และระยะจาก arterial cannula ถึง 3-way stopcock ไม่ควรห่างมากนัก

2. Flush device คืออุปกรณ์ที่ใช้ไล่เลือดไม่ให้เข้ามาแข็งตัวอุดตัน arterial cannula หรือ tubing โดยใช้ heparinized saline ความเข้มข้น 1-5 U/mL ใช้ได้ 2 ลักษณะ คือ

2.1 Intermittent flush โดยฉีดทาง 3-way stopcock โดยฉีดซ้ำๆ ไม่ควรใช้ปริมาณเกินครั้งละ 0.5 mL ในเด็กเล็ก 1-2 mL ในเด็กโต 2-3 mL ในผู้ใหญ่

2.2 Continuous flush device โดยมี continuous flush valve ที่ให้ heparinized saline ไหลในอัตรา 1-2 mL/h ในทารก และ 3 mL ในเด็กและผู้ใหญ่ แต่ต้องใช้ความดันบีบ heparinized saline bag ประมาณ 300 mm Hg ถ้าผู้ใช้งานต้องการทำ intermittent flush เพิ่ม ก็ทำได้โดยการดึงหรือบีบ (ขึ้นกับแต่ละยี่ห้อ) ที่บริเวณ flush valve ซึ่งจะทำให้ flush valve เปิด และระบบต่อตรงเข้ากับ pressurized bag ที่ถูกบีบด้วยแรงดัน 300 mm Hg นั้น ถ้าดึงหรือบีบอยู่นาน ก็จะทำให้ heparinized saline เข้าไปมากได้ จึงไม่แนะนำให้เปิด flush valve นานกว่า 2-3 วินาที

3. Pressure measurement device อุปกรณ์วัดความดัน มี 2 ลักษณะ คือ

3.1 Mechanical device คือ manometer อาจเป็นแบบ mercury column หรือ aneroid

3.2 Electronic pressure measurement system ประกอบด้วย transducer ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลในรูปของความดันให้เป็นพลังงานไฟฟ้า แล้วส่งไปออกทางจอภาพ

การใช้ intra-arterial BP monitoring โดย electronic system ต้องดูแลดังนี้

1. Calibration ถ้าใช้ reusable transducer ที่มี dome และ diaphragm แนะนำให้ทำ 2-point calibration ก่อนที่จะต่อเข้ากับผู้ป่วย ส่วน solid-state disposable transducer ที่ใช้กันในปัจจุบัน มี stability มาก และได้รับการ calibrate จากโรงงานแล้ว จึงไม่จำเป็นต้องทำ 2-point calibration อีก เพราะพบความผิดพลาดได้น้อยมาก อย่างไรก็ตามถ้าสงสัยความเที่ยงตรงของ transducer ก็ต้องทำ 2-point calibration เช่นกัน

2. Zeroing ต้องทำเป็นระยะ เพราะ drifting เกิดขึ้นได้เมื่อเวลาผ่านไป แม้ว่าจะเป็น transducer สมัยใหม่ก็ตาม ใช้ phlebostatic axis (RA) เป็น zero level โดยสามารถ zeroing ได้ 2 ลักษณะ คือ

2.1 Mechanical zeroing โดยให้ transducer อยู่ในระดับเดียวกับ RA โดยอาจติด transducer ไว้ที่ตัวผู้ป่วยที่เตียง หรือที่เสาน้ำเกลือก็ได้

2.2 Electrical zeroing โดยเปิด stopcock ที่ระดับ RA ไม่ว่าตัว transducer จะอยู่ระดับใดก็ตาม วิธีนี้สะดวกในการใช้ทางคลินิก โดยสามารถจัดวางตำแหน่ง transducer ไว้ที่ใดก็ตามที่ดูแลสะดวก แต่ไม่สามารถใช้ได้กับทุกเครื่อง เนื่องจากในเครื่องบางชนิดถ้า transducer ตรวจวัดความดันได้ก็จะไม่สามารถปรับค่า zero ได้

หลัง zeroing ถ้าตำแหน่งของ transducer เปลี่ยนไปจาก reference level ความดันที่วัดได้ก็จะเปลี่ยนไปเท่ากับความสูงของระดับน้ำระหว่าง transducer และ reference level จึงควร zero ใหม่ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยน ตำแหน่งของ transducer มิฉะนั้นแล้วผู้ใช้จะต้องคอยนำค่าความสูงของระดับน้ำระหว่าง transducer กับ reference level โดยเทียบเป็นหน่วย mm Hg แล้วนำมาบวกเข้ากับค่าที่อ่านได้ในกรณีที่ transducer อยู่สูงกว่า reference level หรือนำค่านั้นมาลบออกจากค่าที่อ่านได้ในกรณีที่ transducer ต่ำกว่า reference level ซึ่งยุ่งยากกว่ามาก

3. Fast flush test เพื่อทำ dynamic calibration ควรทำเป็นระยะ ปรับให้มีคลื่นหลังจาก plateau 2-3 คลื่น

### การติดตามความดันหลอดเลือดดำส่วนกลาง (Central Venous Pressure Monitoring)

CVP คือ ความดันเลือดในหลอดเลือดดำใหญ่ก่อนที่จะลงสู่ right atrium (RA) เปลี่ยนแปลงตามความดันเลือดใน RA ตลอดเวลาเนื่องจากไม่มีลิ้นกั้น จึงถือว่าเท่ากับ right atrial pressure (RAP) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้สิ่งต่างๆ ดังนี้

1. เป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนด right ventricular filling pressure (RVFP) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดว่ามี venous return ไหลเข้าสู่ right ventricle (RV) มากน้อยเพียงใด โดย  $RVFP = RAP - RVDP$  ในภาวะปกติ RV diastolic pressure จะมีค่าต่ำมาก ใกล้ 0 RAP ก็จะเป็น RVFP ถ้า RAP ต่ำ RV venous return ก็ต่ำ แต่ในภาวะที่ RVDP สูง (เช่น RV dysfunction, RV outflow obstruction, pericardial tamponade) แม้ RAP สูงก็อาจได้ค่า RVFP จริงต่ำ เป็นผลให้ RV venous return ต่ำ และ RV output ต่ำด้วย ภาวะเหล่านี้ต้องทำให้ RAP สูงกว่าปกติจึงจะมีเลือดไหลลงสู่ RV ได้

2. เป็นค่าที่บ่ง RVEDP ในระยะท้ายของ diastolic phase ก่อนที่ RV จะหดตัวและ tricuspid valve จะปิด จึงเท่ากับว่า RAP เป็นสิ่งบ่งบอก RV preload ได้

ในทางปฏิบัติ เราไม่นิยมใส่ catheter ให้ปลายอยู่ใน RA เนื่องจากทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนได้ง่าย เช่น cardiac arrhythmias และ perforation of atrium และโดยเหตุที่ CVP มีความสัมพันธ์กับ RAP อย่างใกล้ชิดดังกล่าวแล้ว เราจึงนิยมใช้ค่า CVP แทน RAP

**ค่าปกติของ CVP หรือ RAP เป็นเท่าไร** ต้องทราบว่าหัวใจจะพยายามรักษาค่า RAP ที่ฐานของ tricuspid valve ให้เป็น 0 mm Hg เพื่อช่วยให้เลือดไหลกลับสู่ RA ได้สะดวก แต่ความจริงแล้ว ความดันใน RA มีการขึ้นลงในแต่ละ cycle เพราะ atrium และ ventricle มีการ contraction และ relaxation ค่า RAP อาจเป็นลบก็ได้ เนื่องจากอิทธิพลของ intraventricular หรือ intrapleural pressure มักไม่ต่ำกว่า -4 ถึง -5 mmHg ค่าที่ต่ำมาก พบในกรณีที่หัวใจบีบและคลายตัวแรงมาก โดยเฉพาะเมื่อร่วมกับ hypovolemia และ negative intrapleural pressure ขณะมี atrial contraction RAP อาจสูงถึง 10-15 mmHg ถ้าสูงกว่า 15-20 mmHg มักเกิดจาก right ventricular failure หรือ volume overload ค่าที่ถือกันว่าเป็นค่าปกติของ RAP คือ 0-8 mmHg

ค่าปกติของ CVP จะสูงกว่า RAP เล็กน้อย ในทางปฏิบัติค่าที่วัดได้ขึ้นกับตำแหน่งของปลายสายว่าอยู่ที่ใด ห่างจาก RA ออกไปมากน้อยเพียงใดด้วย ค่าปกติของ CVP จากตำราต่างๆ จึงแตกต่างกันได้มากมาย เช่น 2-7, 3-10, 6-10, 8-12 cmH<sub>2</sub>O เป็นต้น ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อ CVP ดังกล่าวแล้ว ที่เปลี่ยนไปได้ในแต่ละภาวะที่วัด ในคนๆ เดียวกัน วัด CVP ในภาวะที่ต่างกันก็จะได้ค่าไม่เท่ากัน เช่น ขณะพักวัด CVP ได้ค่าหนึ่ง หลังจากออกกำลังกาย หัวใจเต้นแรงขึ้นและหายใจแรงขึ้น ค่า CVP ก็ต่ำลงได้ เป็นต้น การบอกค่า CVP ของผู้ป่วยคนใดปกติหรือไม่ จึงไม่ใช่ดูแต่ absolute value เพียงอย่างเดียว เช่น ผู้ป่วย COPD ที่มี pulmonary vascular resistance สูง ทำให้ afterload ของ RV สูง ถ้านำมาวัด CVP ในภาวะที่เขาอยู่ตามปกติธรรมดาไม่มี exacerbation ก็อาจได้ค่า CVP 18 cmH<sub>2</sub>O ได้ ก็ถือว่าเป็นค่า CVP ปกติของผู้ป่วยรายนี้ เรียกว่าเป็น compensated normal value หมายความว่าเพื่อให้มี RV preload ที่เหมาะสม ผู้ป่วยรายนี้ต้องการ RAP หรือ CVP ประมาณ 18 cmH<sub>2</sub>O ถ้าพยายามรักษาไว้ที่ค่าเท่ากับค่าปกติที่เขียนไว้ในตำรา ก็จะไม่เพียงพอสำหรับผู้ป่วยรายนี้ ดังนั้นการประเมินค่า CVP ปกติของผู้ป่วยแต่ละคน จึงสำคัญกว่าการยึดค่าปกติตามตำรา

อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยของ CVP ที่ถือกันว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ มักใช้ช่วง 0-12 cm H<sub>2</sub>O แต่ต้องระลึกไว้ว่า ค่าที่วัดได้ในช่วงตั้งแต่ ลบ 2-3 cm H<sub>2</sub>O ถึง บวก 15-20 cm H<sub>2</sub>O ก็ถือว่าปกติได้

ค่า CVP ที่ปกติ ก็ไม่ได้บ่งว่าผู้ป่วยปกติเสมอไป และค่า CVP ที่ไม่ปกติ ก็ไม่ได้บ่งว่าผู้ป่วยผิดปกติเสมอไป เมื่อพบว่าค่า CVP ของผู้ป่วยรายใดผิดไปจากค่าปกติ ให้ตรวจสอบความผิดพลาดทางเทคนิคของเครื่องมือและการวัด ถ้าไม่พบ ก็ให้หาว่ามีปัจจัยอะไรบางอย่างที่เป็นสาเหตุหรือไม่ ถ้ามี จะต้องแก้ไขหรือแก้ไขได้หรือไม่ แก้ไขได้ก็แก้ไขไป ถ้าแก้ไขไม่ได้ก็ยอมรับว่าค่า CVP ปกติของผู้ป่วยรายนั้นต้องเป็นเท่านั้น

### CVP บอกอะไรได้บ้าง

1. Blood volume (BV) แม้ BV จะเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อ CVP ก็จริง แต่ไม่ใช่ปัจจัยเดียว และปัจจัยอื่นๆ ก็มีการปรับตัวเองเพื่อรักษาระดับ CVP อยู่ตลอดเวลา CVP จะบ่งชี้ BV ได้ก็ต่อเมื่อทราบว่าปัจจัยอื่นๆ คงที่ ซึ่งในความเป็นจริงไม่สามารถทราบได้และไม่มีทางคงที่ได้ด้วย ถ้าเราเพิ่ม BV เข้าไป หัวใจจะบีบตัวมากขึ้นเพื่อป้อน venous return ที่มากขึ้นนั้นออกไปจนหมด ในทางตรงข้ามถ้ามีการเสียเลือดก็จะมี venoconstriction เพื่อรักษาระดับ CVP ซึ่งเป็น filling pressure ของหัวใจให้คงที่อยู่ก่อน เพื่อที่ cardiac output จะได้ไม่ลดลงจนกว่า venoconstriction นั้นจะไม่สามารถรักษาระดับ CVP ไว้ได้ CVP จึงต่ำลง เป็นผลให้ ventricular filling pressure ลดลง venous return ลดลง cardiac output ลดลง และ BP ลดลงด้วย ดังนั้นใน acute blood loss จึงไม่ควรเข้าใจว่า CVP จะลดลงเร็วกว่าการเกิด hypotension สรุปคือ การดูค่า CVP เดี่ยวๆ ในแต่ละขณะไม่สามารถบอก BV ได้ ค่า CVP ที่ปกติ ต่ำ หรือสูง ก็อาจพบได้ในภาวะที่ blood volume สูง ปกติ หรือต่ำก็ได้

|                 |   |
|-----------------|---|
| <b>CVP ปกติ</b> | 1. Normovolemia<br>2. Hypovolemia ที่มี venoconstriction หรือ depressed ventricular function<br>3. Hypervolemia ที่มี hyperdynamic heart function<br><b>กล่าวคือ CVP ปกติ ไม่ได้หมายความว่า blood volume เพียงพอ</b>                            |
| <b>CVP ต่ำ</b>  | 1. Absolute or relative hypovolemia (vasodilatation)<br>2. Hypervolemia หรือ normovolemia ที่มี hyperdynamic heart function หรือ negative intrathoracic pressure<br><b>กล่าวคือ CVP ต่ำ ไม่ได้หมายความว่า BV ต่ำและต้องให้ volume เข้าไปอีก</b> |
| <b>CVP สูง</b>  | 1. Hypervolemia<br>2. Normovolemia หรือ hypovolemia ที่มี depressed right ventricular function หรือ obstruction เช่น pericardial tamponade, tricuspid or pulmonic stenosis<br><b>กล่าวคือ CVP สูง ไม่ได้หมายความว่า blood volume มากเกินไป</b>  |

2. Venous return จากที่กล่าวมาแล้ว สรุปได้ว่า ค่า CVP สูงหรือต่ำ มิได้บ่งชี้ว่า VR<sub>RV</sub> มากหรือน้อยได้เสมอไป อาจมีภาวะที่ CVP ไม่สูง แต่ VRRV มาก หรือมีภาวะที่ CVP สูง แต่ VR<sub>RV</sub> ต่ำ ก็เป็นไปได้ทั้งสิ้น

3. Optimum preload RV preload คือ RVEDV การจะใช้ CVP แทน มีข้อคำนึงต่อไปนี้

- การจะใช้ RVEDP แทน RVEDV ได้ก็ต่อเมื่อทราบ RV compliance (=RVEDV/RVEDP) ในภาวะที่ RV compliance ต่ำลง (เช่น RV ischemia/infarction) ค่า RVEDP ที่จะทำได้ optimum RVEDV ก็ย่อมสูงขึ้น เป็นต้น

- การจะใช้ RAP แทน RVEDP ต้องคำนึงถึง tricuspid valve function ถ้ามี tricuspid stenosis, pulmonic regurgitation จะทำให้ RAP ไม่สามารถแทน RVEDP ได้ ส่วน intrathoracic หรือ intrapleural pressure นั้น มีผลต่อความดันใน RA มากกว่าใน RV เนื่องจากผนัง RV หนากว่า

- ค่า CVP จะต่างจาก RAP น้อยเพียงใด ขึ้นกับตำแหน่งปลายสาย

สรุปว่า CVP อาจใช้บ่งชี้ RV preload ได้ในภาวะที่ RV compliance ปกติ ไม่มีความผิดปกติของ tricuspid valve ไม่มีความผิดปกติของ intrapleural pressure มาก และตำแหน่งปลายสายวัด CVP ถูกที่

ในคนปกติ RAP (CVP) จะมีความสัมพันธ์กับ LAP (PCWP) เป็นเชิงเส้นตรง โดยที่ mean RAP จะต่ำกว่า LAP ประมาณ 3-7 mmHg (เฉลี่ยประมาณ 5 mmHg) จึงสามารถใช้ CVP แทน PCWP ในการประเมิน LV preload ยกเว้นในภาวะที่ทำให้ right side pressure และ left side pressure ไม่เปลี่ยนแปลงไปด้วยกัน (ภาวะที่เรียกว่า right-left discrepancy) จำเป็นต้องใส่ pulmonary artery catheter เพื่อประเมิน PCWP ภาวะเหล่านี้ได้แก่

1. ภาวะที่ไม่มี pericardium ในภาวะหลังผ่าตัดหัวใจในรายที่ไม่ได้ปิด pericardium หรือใน congenital absence of pericardium แม้ว่าจะมี LV failure ก็ไม่สามารถทำให้ RVEDP และ RAP สูงขึ้นได้ จึงอาจพบ pulmonary edema โดยที่ CVP ไม่สูง แต่ถ้าวัด PCWP จะพบว่าสูง

2. ภาวะที่ RV ทำงานผิดปกติโดยลำพัง เช่น pulmonary hypertension, pulmonary embolism, isolated RV infarction กรณีเหล่านี้ CVP จะสูงโดยที่ PCWP ไม่สูง

3. ภาวะที่ LV compliance ต่ำลง ทำให้ LVEDP ที่สูงขึ้นมีผลต่อ right-sided pressure น้อยกว่าปกติ PCWP อาจสูงมากจนอาจเกิด pulmonary edema แล้วโดยที่ CVP ไม่สูงหรือสูงไม่มาก ภาวะเหล่านี้ได้แก่ acute myocardial infarction, mitral and aortic valve disease, severe hypertension

Optimum preload อยู่ที่ PCWP ประมาณ 15 มม.ปรอท หรือ CVP ประมาณ 15 ซม.น้ำ แต่ในความเป็นจริง ค่า PCWP หรือ CVP ที่ใช้บ่ง optimal preload ในผู้ป่วยแต่ละคนไม่เท่ากันได้ ถ้าจะพิจารณาเป็นรายๆ ไป ให้สังเกตได้จากการที่เมื่อทดลองให้ volume เพิ่ม เพื่อให้ PCWP หรือ CVP สูงกว่าค่าที่คิดว่า optimum นี้ขึ้นไป ก็ไม่ทำให้ cardiac output เพิ่มขึ้นได้อีก ในผู้ป่วย acute myocardial infarction ค่า LV compliance ต่ำลง ค่า PCWP ที่บ่ง optimum preload มักอยู่ที่ 20-22 มม.ปรอท และภาวะนี้ไม่สามารถใช้ CVP แทนได้

4. Cardiac pump function โดยเหตุที่ RV pump function เป็นปัจจัยสำคัญที่จะรักษาระดับ RAP ให้คงที่ไว้ CVP จึงมีความสัมพันธ์กับ RV pump function มากกว่าอย่างอื่น ถ้า RV ยังคงบีบเลือดออกไปได้ CVP ก็ยังคงต่ำอยู่ได้ แต่ถ้า RV ไม่สามารถบีบเลือดออกไปได้ดีพอ CVP ก็จะสูงขึ้น ในทำนองเดียวกันกับที่ PCWP บ่งบอก LV pump function ได้ดีกว่าอย่างอื่นที่กล่าวมา ในผู้ป่วยที่ไม่มีภาวะ right-left discrepancy ก็ใช้ CVP แทน PCWP ในการประเมิน LV pump function ได้ ซึ่งเป็นที่ใช้สำคัญของ CVP คือ fluid challenge test

ที่ใช้ของ CVP ในทางคลินิก จากที่ทราบมาว่า CVP ไม่สามารถบอก blood volume หรือ venous return ได้ และไม่สามารถบอก cardiac preload ในหัวใจที่ไม่ปกติ จึงทำให้ที่ใช้ของ CVP มีอยู่เพียงอย่างเดียว คือ ใช้เป็นแนวทางการให้สารน้ำโดย fluid challenge test ในผู้ป่วยที่ไม่มี right-left discrepancy ดังกล่าวแล้ว

### ปัญหาและข้อผิดพลาดที่พบบ่อยในการเฝ้าระวัง CVP และใช้ central line คือ

1. เข้าใจว่า central line เป็นทางที่ใช้ให้สารน้ำหรือเลือดได้อย่างรวดเร็ว ที่จริงแล้ว central line ไม่สามารถให้ได้สารน้ำได้เร็วกว่า peripheral line ที่มีขนาดเท่ากัน และไม่ควรให้สารน้ำหรือเลือดเร็วๆ เข้าทาง central line เนื่องจากการให้ volume เร็วๆ เข้าไปทาง central line อาจทำให้หัวใจโป่งพองออกในช่วงที่ fluid ถูกดันเข้าไป ผลคือ preload สูงเกินไป ทำให้หัวใจบีบตัวแย่งในชวงนั้น ส่วนการให้ทาง peripheral line จะมี buffer effect ไม่ทำให้ความดันที่หัวใจสูงขึ้นทีเดียวมาก หรือสูงเป็นช่วงๆ ตามการ push fluid เข้าไป นอกจากนั้น สารน้ำที่มีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้อง (ซึ่งมักจะติดแอร์) เมื่อถูก push เข้าสู่หัวใจโดยตรง จะทำให้เกิด cardiac hypothermia และรบกวนการทำงานของหัวใจได้ แต่ถ้าให้ทาง peripheral line เมื่อไหลมาถึงหัวใจก็มักจะมีอุณหภูมิเท่าหรือใกล้เคียงเท่ากับอุณหภูมิร่างกายแล้ว

2. ใช้ water column manometer ไม่เป็น คือ ไม่ยกสายขึ้นสูงและเปิดน้ำให้ขึ้นไปสูงๆ ไกล่เต็มสายที่จะวัดก่อน แล้วจึงเปิด 3-way ไปทาง central line เพื่อให้ น้ำลดลงมาจนค้างอยู่

3. ไม่ทราบ zero level หรือ reference level อยู่ที่ใด คำตอบคือ right atrium จุดที่ใช้ในทางปฏิบัติคือ จุดที่อยู่กึ่งกลาง AP diameter ที่ตำแหน่ง right sternal border ของ 4<sup>th</sup> intercostal space เรียกว่า phlebostatic axis ระดับที่อยู่ในแนวราบของ phlebostatic axis เรียก phlebostatic level ถือเป็น zero level ของ CVP หรือ RAP ใช้ได้ไม่ว่าผู้ป่วยจะอยู่ในท่าใด นอนหงาย นอนตะแคงซ้าย หรือตะแคงขวา นอนราบ หรือหัวสูง หรือนั่ง ก็ใช้ phlebostatic level ได้ทั้งสิ้น การวัด CVP ไม่จำเป็นต้องให้ผู้ป่วยอยู่ในท่านอนหงายราบ

4. ปัญหาในการวัด ถามว่า CVP ขึ้นๆ ลงๆ ตามการหายใจ จะดูค่าตอนน้ำขึ้นหรือน้ำลงดี? คำตอบคือ ให้ดูค่าความดันในขณะ end-expiration หลายๆ cycle แล้วเฉลี่ยเอา ถ้าผู้ป่วยหายใจเองก็จะเหมือนกับดูค่าสูง แต่ถ้าใช้ positive pressure ventilation อยู่ก็จะเหมือนกับดูที่ค่าต่ำ ถ้าผู้ป่วยหายใจเร็วมาก การวัดโดยวิธี water column manometer อาจไม่แน่นอน เพราะความดันถึงสมดุลได้ยาก

5. วัด CVP โดยปลดเครื่องช่วยหายใจจากผู้ป่วย เพราะเข้าใจผิดว่า การใช้เครื่องช่วยหายใจมีผลให้ CVP สูงกว่าค่าที่เป็นจริง ผู้ที่คิดเช่นนี้แสดงว่าไม่มีความรู้เกี่ยวกับ CVP ที่แท้จริง ที่ถูกแล้วการวัด CVP ต้องไม่ปลดเครื่องช่วยหายใจ ไม่ต้องหยุด PEEP ไม่ต้องยุ่งเกี่ยวกับเครื่องช่วยหายใจใดๆ ทั้งสิ้น เหตุผลคือ

1. เนื่องจากเราไม่ได้ใช้ประโยชน์จาก CVP ที่ absolute value แต่ใช้ serial change ของ CVP ดังนั้นไม่ว่าจะมีปัจจัยอะไรที่มีผลต่อ CVP อยู่ด้วยก็ไม่สำคัญ ตราบใดที่ปัจจัยเหล่านั้นคงที่อยู่เสมอในการวัด CVP แต่ละครั้ง ดังนั้น จึงไม่จำเป็นที่จะปลดเครื่องช่วยหายใจ

2. ที่กลัวว่า positive intrathoracic pressure (ITP) จะทำให้ค่า CVP สูงกว่าที่เป็นจริงนั้น การปลดเครื่องช่วยหายใจ ยิ่งทำให้ค่า ITP ผิดไปมากยิ่งขึ้น ไม่รู้ทิศทาง และไม่คงที่ในการวัดแต่ละครั้งด้วย ผู้ป่วยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจอยู่ ถ้าปลดจากเครื่องย่อมไม่หายใจสบายๆ เหมือนคนปกติ ถ้าไม่หยุดหายใจแน่ก็ต้องหายใจเหนื่อยหอบ ผู้ป่วยที่หยุดหายใจก็มี ITP ต่างจากผู้ป่วยที่หายใจเองปกติซึ่ง ITP จะเป็นลบมากกว่าผู้ป่วยที่หยุดหายใจ ค่า ITP จึงไม่เท่ากับคนปกติอยู่ดี ส่วนผู้ป่วยที่หายใจเหนื่อยหอบ pleural pressure มี fluctuation มาก เป็นลบและบวกต่างกันได้ถึงหลายสิบเซนติเมตรน้ำ ผลมากกว่าที่เกิดในกรณีช่วยหายใจดีๆ สม่าเสมอเป็นอันมาก CVP อาจต่ำหรือสูงกว่าความเป็นจริง มากหรือน้อยเพียงใดก็ยากที่จะทำนายในผู้ป่วยแต่ละราย นอกจากนี้ในการปลดเครื่องเพื่อวัด CVP แต่ละครั้ง ผู้ป่วยไม่มีทางหอบเท่ากันทำให้ปัจจัยที่ว่าผลนี้ไม่เคยคงเส้นคงวา การจะเปรียบเทียบ

ค่า CVP ที่วัดได้ครั้งนี้นักกับครั้งก่อน จึงทำไม่ได้

3. การปลดเครื่องฯ นอกจากจะมีผลต่อ ITP มากกว่าแล้ว ยังมีผลต่อปัจจัยที่มีผลต่อ CVP ทุกปัจจัย กล่าวคือ

- มีการเปลี่ยนแปลงของ sympathetic tone ทำให้ venoconstriction มากขึ้น
- Pulmonary vascular resistance สูงขึ้นฉับพลันจาก pulmonary vasoconstriction ที่เกิดจาก alveolar hypoxia และ hypercarbia
- Ventricular function อาจดีขึ้นหรือแย่ลงก็ได้จากเหตุต่างๆ ได้แก่ sympathetic stimulation, hypoxemia, hypercarbia, acidosis

ที่สำคัญคือผลเหล่านี้ ไม่เหมือนกันในทุกคน ต่างกันแม้ในคนเดียวกันในแต่ละเวลา และไม่สามารถทำนายความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงได้

4. การปลดเครื่องช่วยหายใจ เป็นการทำให้ผู้ป่วยเสี่ยงตายมากขึ้น

- ผู้ป่วยที่ใช้  $F_{I}O_2$  สูง หรือใช้ PEEP ร่วมด้วย เมื่อปลดเครื่องช่วยหายใจ จะเกิด hypoxemia ได้ในทันที เป็นผลให้เกิด cardiac arrest ได้
- ในผู้ป่วยที่ใช้ PEEP >15 cmH<sub>2</sub>O มีรายงานว่า การลด PEEP ลงทันที ทำให้เกิด bradycardia และ asystole ได้ แม้จะยังไม่มี hypoxemia ก็ตาม เชื่อว่าเป็น vagal reflex

จากเหตุผลที่กล่าวมานี้ สรุปได้สั้นๆ ว่า การปลดเครื่องช่วยหายใจเพื่อวัด CVP เป็นการกระทำที่ไม่มีประโยชน์ ทำให้ยิ่งวัดได้ค่าผิดไป และทำให้ผู้ป่วยเสี่ยงตายมากขึ้น

6. การดูว่า ค่า CVP ที่วัดได้ เชื่อถือได้จริง ให้อาศัยหลักฐานต่อไปนี้

6.1 Bed side evaluation

1. Free flow from aspiration คือ ดูดเลือดกลับได้ free ไม่หยุดเป็นช่วงๆ ซึ่งอาจบ่งว่า ปลายไม่ได้อยู่ใน central vein หรือมี blood clot เป็น flap valve
2. Rapid falling water column ระดับน้ำตกลงมาเร็ว บ่งว่าความต้านทานน้อย
3. Fluctuation with respiration บ่ง intrathoracic placement
4. No fluctuation with heart beat บ่งว่าไม่อยู่ใน right ventricle
5. Small oscillation at top of the water column คือ เห็นคลื่นพริ้วของ right atrial pressure

ควรประเมินตั้งแต่แรกทำ และตรวจสอบตามนี้ทุกวัน การดูว่าน้ำเกลือไหลเข้าได้คืออย่างเดียว ไม่เพียงพอสำหรับการประเมินความเชื่อถือได้ของ central line

6.2 ต่อ transducer ดู pressure tracing ว่าเป็น CVP หรือ RAP waveform

6.3 X-ray หรือ fluoroscopy ดูตำแหน่งปลายสาย ไม่ควรต่ำจากเส้นที่ลากระหว่าง head of clavicle เกิน 2 ซม. หรือไม่ควรต่ำกว่า carina และไม่ควรรออยู่เกิน medial third ของ clavicle

### การติดตามสถานะของผู้ป่วยโดย Pulmonary Artery Catheter

การสอดสายสวนเข้าไปใน pulmonary artery เพื่อใช้ประโยชน์ต่างๆ ดังนี้

1. วัดความดันใน pulmonary circulation ได้แก่ PA pressure, PCWP
2. ดูด mixed venous blood เพื่อหา blood gas
3. หา cardiac output

การใส่ PA catheter เพื่อประเมิน PCWP ใช้ในกรณีที่ไม่สามารถใช้ CVP แทน PCWP ได้ ดังได้กล่าวมาแล้ว แต่ก็ต้องคำนึงถึงปัจจัยที่จะทำให้ ค่า PCWP ใช้ประเมิน LV preload แทน LVDEV ได้ด้วย กล่าวคือ จะใช้ LVEDP แทน LVEDV ได้ก็ต่อเมื่อไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงของ LV compliance และ juxtacardiac pressure (intrapleural pressure, cardiac tamponade) การจะใช้ LAP แทน LVEDP ได้ก็ต่อเมื่อ mitral valve function ปกติ และไม่มี aortic regurgitation ซึ่งจะทำให้ mitral valve ปิดก่อนกำหนด ความสัมพันธ์ระหว่าง pulmonary venous pressure และ LAP จะผิดปกติไปในกรณีที่มีการกดหรืออุดกั้น pulmonary vein เช่นจาก mediastinal fibrosis, atrial myxoma, thoracic tumor หรืออิทธิพลจาก intrathoracic (intrapleural) pressure ที่สูงหรือต่ำเกินไป ส่วนการจะใช้ pulmonary capillary wedge pressure (PCWP) แทน pulmonary venous pressure ได้ ก็ต่อเมื่อเป็นการวัดที่เกิดขึ้นใน PA ที่อยู่ใน zone 3 ตามการแบ่งของ West (คือ เป็นบริเวณที่มีความดันใน PA > PV > Palv) ดังนั้น จึงไม่อาจใช้ PAOP แทน PVP หรือ LAP ได้ในกรณีที่ปลาย catheter อยู่สูงกว่าระดับ pulmonary artery หรือกรณีที่ alveolar pressure มีค่าสูง เช่น ใช้ PEEP ระดับสูง (เช่น >10-15 mmHg) หรือในกรณีที่ pulmonary venous pressure ต่ำมาก เช่นจาก severe hypovolemia, sepsis นอกจากพิจารณาปัจจัยเหล่านี้แล้ว ยังมีสิ่งบ่งชี้ที่บ่งชี้ว่าใช้ PCWP แทน LVEDP ได้ คือ PA waveform ขณะ that balloon inflate อยู่ พบมี a wave และ v wave ของ LAP, PCWP ที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า mean PA pressure, ดูดเลือดผ่าน distal port ของ PA catheter ขณะ that balloon inflate อยู่ได้ และ PaO<sub>2</sub> ของเลือดที่ดูดได้สูงกว่า PaO<sub>2</sub> ของ arterial blood, หาความสัมพันธ์ระหว่าง PCWP กับ LVEDV ที่ประเมินโดย radionuclide angiography

### เครื่องตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียง (Echocardiography)

ที่ใช้กันในปัจจุบันยังคงเป็นเป็นเครื่องวัดหรือประเมินเป็นครั้งๆ ยังไม่สามารถเรียกได้ว่าเป็น monitor แต่เป็นอุปกรณ์ที่มีประโยชน์มากในการประเมินสถานะของหัวใจ โดยสามารถใช้ประเมินสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ความดัน (pressure) ต่างๆ ได้แก่ RAP, CVP, PAP, LAP, LVEDP
2. พื้นที่หน้าตัดของลิ้นหัวใจ (valve area) และความแตกต่างของความดันแต่ละข้างของลิ้นหัวใจ
3. ปริมาณการไหลของเลือด (volumetric blood flow) ได้แก่
  - 3.1 Stroke volume และ cardiac output
  - 3.2 Shunt flow (volume)
  - 3.3 Regurgitant flow (volume)
4. หน้าที่การทำงานของหัวใจห้องล่าง (ventricular function)

4.1 Systolic function โดยประเมินจาก wall motion และ ejection fraction (EF)

4.2 Diastolic function โดยดูการคลายตัวที่ผิดปกติ ซึ่งสามารถแบ่งระดับความรุนแรงเป็น 4 grade

### การใช้เครื่องติดตามสถานะของระบบหายใจ (Respiratory Monitoring)

ผู้ป่วยที่มีโรคหรือภาวะที่ทำให้เกิดภาวะหายใจล้มเหลว (respiratory failure) ได้ จำเป็นต้องได้รับการรักษาพยาบาลขั้นต้นเหตุ ร่วมกับการบำบัดทางระบบหายใจ (respiratory care) เพื่อป้องกันภาวะหายใจล้มเหลว

การบำบัดทางระบบหายใจ ประกอบด้วย

1. การดูแลทางเดินหายใจ (airway care) เพื่อให้ทางเดินหายใจโล่งตลอดเวลา
2. การรักษาอนามัยของหลอดลม (bronchial hygiene therapy) เพื่อป้องกันการคั่งค้างของเสมหะ และป้องกันภาวะถุงลมปอดแฟบ (atelectasis)
3. การบำบัดด้วยออกซิเจน (oxygen therapy) เพื่อเพิ่มแรงดันในการแพร่ผ่านของออกซิเจนระหว่างถุงลมปอดและเลือดที่มารับการฟอก
4. การปรับความดันในทางเดินหายใจ (airway pressure therapy) เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของก๊าซเข้าและออกจากปอดเพื่อให้การแลกเปลี่ยนก๊าซเกิดขึ้นได้ดีและลดงานที่ผู้ป่วยต้องใช้ในการหายใจ ซึ่งนิยมทำโดยใช้เครื่องช่วยหายใจ (mechanical ventilator)

โดยจะใช้วิธีการใดบ้าง อย่างเข้มงวดเพียงใด ขึ้นกับความรุนแรงของพยาธิสภาพและพยาธิสรีรวิทยาที่พบ และที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดระยะเวลาที่รักษา

แต่แม้ว่าจะพยายามป้องกันเต็มที่ ภาวะหายใจล้มเหลว (ซึ่งวินิจฉัยโดยค่า  $\text{PaO}_2 < 60$  มม.ปรอท หรือ  $\text{PaCO}_2 > 50$  มม.ปรอท) ก็อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งทำให้ต้องใช้เครื่องช่วยหายใจ การเฝ้าระวังผู้ป่วยเพื่อวินิจฉัยภาวะใกล้จะหายใจล้มเหลว (impending respiratory failure) ทำให้เราสามารถใช้อุปกรณ์ช่วยหายใจได้เร็วกว่าที่จะปล่อยให้ผู้ป่วยเกิด hypoxemia หรือ hypercapnia หรือถึงขั้น air hunger หรือหยุดหายใจ

ถ้าใช้เครื่องช่วยหายใจอย่างถูกต้องเหมาะสม จะสามารถทำให้หายจาก hypoxemia และ hypercapnia และผู้ป่วยหายใจสบายขึ้นจากการที่กล้ามเนื้อหายใจได้รับการช่วยทำงาน แต่ถ้าช่วยหายใจไม่ถูกต้องหรือไม่เหมาะสม ค่า  $\text{PaO}_2$  และ  $\text{PaCO}_2$  ก็จะไม่ได้ดีเท่าที่ควรจะเป็น และกล้ามเนื้อหายใจอาจต้องทำงานมากขึ้นเหมือนมีเครื่องถ่วงการหายใจอยู่ก็เป็นได้ นอกจากนี้ยังทำให้เสี่ยงต่อภาวะแทรกซ้อนเช่น อันตรายเป็นต่อปอดจากการใช้ปริมาตรมากเกินไป (pulmonary volutrauma) หรือความดันมากเกินไป (pulmonary barotrauma) หรือการทำงานของระบบไหลเวียนเลือด เป็นต้น จึงจำเป็นต้องป้องกันภาวะแทรกซ้อนเหล่านี้ โดยอาจยอมให้ค่า  $\text{PaO}_2$  ต่ำและ  $\text{PaCO}_2$  สูงผิดปกติ (permissive hypercapnia) ได้ในระดับที่ไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อชีวิตผู้ป่วย ถ้าทำดังนี้แล้วยังไม่สามารถได้ค่า  $\text{PaO}_2$  และ  $\text{PaCO}_2$  ที่จะดำรงชีวิตผู้ป่วยได้ ก็ต้องใช้ artificial gas exchange หรือ lung transplantation

จากความรู้พื้นฐานที่กล่าวมานี้ ทำให้เราทราบว่าผู้ป่วยโรคระบบหายใจควรได้รับการเฝ้าระวังหรือติดตามสถานะต่างๆ ต่อไปนี้

1. การเปลี่ยนแปลงของพยาธิสภาพของปอด โดยดูจากภาพเอกซเรย์ปอด (chest X-ray) หรือการการตรวจร่างกายระบบหายใจ ซึ่งต้องทำเป็นระยะ

2. การทำงานของปอด และกำลังสำรอง (pulmonary function and reserve) ซึ่งเท่ากับประเมินพยาธิสรีรวิทยา ว่าปอดทำงานผิดปกติอย่างไร และมากน้อยเพียงใด โดยประเมินหน้าที่ทั้ง 2 ประการคือ

2.1 Gas exchange (oxygenation) function & reserve การแลกเปลี่ยนก๊าซผ่าน alveolar-capillary membrane เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นตามแรงดันโดยไม่ต้องใช้พลังงานใด (passive process) ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนก๊าซดูได้ง่ายๆ ว่าใช้  $F_{iO_2}$  เท่าไรแล้วได้  $PaO_2$  เท่าไร ผู้ป่วยที่ใช้  $F_{iO_2} \geq 0.5$  แล้วค่า  $PaO_2$  ยัง < 60 มม.ปรอท ถือว่าความผิดปกติรุนแรงมากเทียบเท่ากับมีเลือดที่ไม่ได้รับการแลกเปลี่ยนก๊าซ (shunt) มากกว่า 20% เป็นข้อบ่งชี้ของการใช้เครื่องช่วยหายใจเพื่อช่วยลด shunt ค่าต่างๆ ที่ใช้ประเมินได้แก่  $PaO_2/F_{iO_2}$  (P/F ratio), alveolar-arterial oxygen difference (A-a gradient หรือ A-aDO<sub>2</sub>),  $PaO_2/P_{A}O_2$  (a/A ratio), หรือคำนวณ % shunt จาก iso-shunt diagram หรือจากสูตร  $[Q_s/Q_t = (C_{cO_2} - C_{aO_2}) / (C_{cO_2} - C_{vO_2})]$  ก็ล้วนใช้หลักการเปรียบเทียบ  $F_{iO_2}$  และ  $PaO_2$  และทุกค่าต้องทราบ  $PaO_2$  ทั้งสิ้น บางค่าต้องคำนวณ  $P_{A}O_2$  และบางค่าต้องใส่ pulmonary artery catheter เพื่อหา mixed venous blood gas แล้วจึงนำมาคำนวณ ซึ่งมักไม่ได้ใช้ในทางปฏิบัติ แม้การเจาะ arterial blood gas (ABG) เพื่อหา  $PaO_2$  ก็ยังไม่ค่อยได้ปฏิบัติกัน การใช้ pulse oximeter เพื่อหา  $SpO_2$  ซึ่งใช้แทน  $SaO_2$  แล้วเทียบกลับเป็น  $PaO_2$  มีประโยชน์เฉพาะช่วงที่  $PaO_2$  ต่ำ และต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้ความสัมพันธ์ ระหว่าง  $SpO_2$ ,  $SaO_2$  และ  $PaO_2$  ผิดปกติไป

2.2 Ventilatory function & reserve คือความสามารถในการหายใจเอาก๊าซเข้าและออกจากปอด ประเมินจากหัวข้อต่างๆ ดังนี้

2.2.1 Ventilatory status คือ ผลรวมของการระบายอากาศ ซึ่งแปรผกผันกับค่า  $PaCO_2$  ดังนั้นจึงใช้ค่า  $PaCO_2$  บ่ง ventilatory status ถ้าค่า  $PaCO_2$  สูงขึ้นๆ โดยไม่ได้เกิดจากความพยายามชดเชยภาวะ metabolic alkalosis ถือว่า ventilatory reserve ต่ำลง ถ้า  $PaCO_2 > 50$  มม.ปรอท โดยพบร่วมกับ respiratory acidosis บ่งว่า reserve หมด หรือ ventilatory failure

ค่า  $PaCO_2$  หาได้จาก ABG เท่านั้น ไม่มีการตรวจอื่นใดบอกได้ ส่วน end-tidal  $CO_2$  monitor อาจใช้แทน  $PaCO_2$  ได้ระดับหนึ่ง ดังจะได้อธิบายต่อไป

2.2.2 Ventilatory mechanics ได้แก่ปริมาตรและความจุต่างๆ ของปอด เช่น tidal volume, vital capacity, FRC รวมถึงความต้านทานการขยายปอด ซึ่งได้แก่ compliance และ resistance

2.2.3 Neuromuscular capability เป็นความสามารถของระบบประสาทและกล้ามเนื้อในการทำให้ทรวงอกขยายเพื่อนำก๊าซเข้าปอด โดยประเมินจาก ventilatory drive (rate and rhythm, hypercapnic augmentation of P0.1), respiratory muscle strength (NIF), ไม่มีอาการแสดงของ respiratory muscle fatigue (ventilatory discoordination, VT/VC ratio, PI/Pimax, IEQ, rib cage-abdominal motion, maximal compartmental amplitude to tidal volume ratio, breath-to-breath variation of rib cage to tidal volume ratio)

2.2.4 Ventilatory demand คือความต้องการการระบายอากาศ ซึ่งประเมินจาก minute ventilation for normocapnia ( $V_{E40}$ ), VD/VT, P0.1, mean inspiratory flow (VT/Tin)

2.2.5 Ventilatory reserve คือความสามารถในการเพิ่มการหายใจได้มากขึ้นเพียงใด ประเมินจาก MVV, RR, และ RSBI

การติดตามสภาวะการทำงานและกำลังสำรองของปอดนี้ใช้เป็นแนวทางในการเลือกวิธีการบำบัดทางระบบหายใจ วินิจฉัยภาวะใกล้จะหายใจล้มเหลวเพื่อจะได้เริ่มใช้เครื่องช่วยหายใจ รวมทั้งพิจารณาว่าข้อบ่งชี้การหยุดช่วยหายใจ

3. การทำงานของเครื่องช่วยหายใจ ว่าช่วยหายใจได้เหมาะสมตามทฤษฎีหรือไม่ การตอบสนองของผู้ป่วยเป็นอย่างไร เสี่ยงต่อภาวะแทรกซ้อนของการใช้เครื่องช่วยหายใจมากน้อยเพียงใด

4. เซลล์ต่างๆ ได้รับออกซิเจนเพียงพอหรือไม่ (tissue oxygenation state) สภาวะออกซิเจนของเซลล์เป็นผลงานร่วมของทั้งระบบการไหลเวียนเลือด และระบบหายใจ การใช้เครื่องช่วยหายใจเพื่อพยายามเพิ่ม PaO<sub>2</sub> อาจทำให้ CO ลดลงจนทำให้ tissue oxygenation แย่ลงได้ หากไม่ติดตามสภาวะออกซิเจนของเซลล์ก็ไม่สามารถให้การรักษาที่ถูกต้องได้

### มาตรฐานการดูแลผู้ป่วยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจ

สมาคมเวชบำบัดวิกฤตของสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดมาตรฐานการดูแลผู้ป่วยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจ<sup>2</sup> โดยต้องมีนักบำบัดทางระบบหายใจ (respiratory therapist) ประจำ ICU, มีพยาบาลอย่างน้อยในอัตรา 1:2, มีแพทย์เฉพาะทางเวชบำบัดวิกฤตซึ่งมาได้ภายใน 30 นาทีตลอด 24 ชั่วโมง ส่วนการเฝ้าระวังต้องติดตาม vital signs อย่างน้อยทุก 1 ชม. ในรายที่สภาวะการหายใจและการไหลเวียนเลือดไม่คงที่ (cardiopulmonary instability) ต้องติดตามสภาวะการไหลเวียนเลือด (circulation), สภาวะออกซิเจน (oxygenation), และระบายอากาศจากปอด (ventilation) อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ซึ่งข้อกำหนดนี้ทำได้สะดวกโดยการใช้ ECG, pulse oximetry, และ capnography

นอกจากเฝ้าระวังผู้ป่วยแล้ว การทำงานของเครื่องช่วยหายใจก็ต้องได้รับการเฝ้าระวังด้วย ได้แก่

- ความผิดปกติของเครื่องและวงจรหายใจ เช่น power failure, O<sub>2</sub> failure, circuit disconnect, tube displacement, airway obstruction, F<sub>I</sub>O<sub>2</sub>
- ผู้ป่วยได้รับการช่วยตามค่าต่างๆ ที่เราตั้งไว้หรือไม่ เช่น tidal volume ที่หายใจออก (exhaled tidal volume) ซึ่งถือเป็น tidal volume ที่ได้รับจริง ไม่เท่ากับ tidal volume ที่ตั้ง (set tidal volume)
- ค่าที่เป็นผลลัพธ์ หรือการตอบสนองของผู้ป่วยเป็นอย่างไร
- ได้ผลตามวัตถุประสงค์หรือไม่
- เสี่ยงอันตรายหรือไม่ เช่น ติดตาม peak alveolar pressure เพื่อไม่ให้สูงเกินค่าอันตราย ซึ่งได้แก่ 35-40 ซม.น้ำ โดยต้องทราบว่า peak alveolar pressure ไม่สามารถประเมินได้จาก peak airway pressure แต่ต้องใช้ plateau airway pressure

### เครื่องติดตามความอิ่มตัวของฮีโมโกลบินโดยวัดจากชีพจร (Pulse Oximeter)

Oximetry คือ การวัด oxy-hemoglobin โดยใช้หลักการที่ว่า oxygenated blood และ deoxygenated blood ดูดแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน เมื่อให้แสงความยาวคลื่นต่างๆ กันผ่านเลือด เลือดที่มี oxy-Hb

มากน้อยต่างกันจะดูดซับคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ ไว้มากน้อยต่างกัน สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณ oxy-Hb เป็นร้อยละเมื่อเทียบกับ Hb ที่ไม่มี oxygen เรียกได้ว่าเป็นการหา hemoglobin saturation of oxygen นั้นเอง

Co-oximeter ในเครื่องวิเคราะห์ blood gas ใช้แสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ กัน 4 ความยาวคลื่น จึงสามารถคำนวณร้อยละของ oxy-Hb เมื่อเทียบกับ Hb ที่สำคัญ 4 อย่างในเลือด ค่าที่ได้เรียก arterial oxygen saturation หรือ SaO<sub>2</sub>

Non-pulse ear oximetry เป็นการวัด oxy-Hb ใน arterialized capillary blood ใช้แสงถึง 8 ความยาวคลื่นเพราะต้องแยกการดูดแสงของ venous blood, skin, cartilage, bone, และเนื้อเยื่ออื่นๆ response time ช้ากว่า pulse oximetry และต้องให้มี vasodilatation อย่างมากจึงทำให้ capillary blood คล้าย arterial blood มิฉะนั้นจะวัดได้ต่ำกว่าความเป็นจริง เพราะมีส่วนของ venous blood จำนวนมาก นอกจากนี้ยังถูกรบกวนโดยสีผิว ความถูกต้องน่าเชื่อถือไม่ดัดนัก ปัจจุบันไม่ผลิตแล้ว

Pulse oximeter ใช้ oximetry ร่วมกับ plethysmography จึงสามารถจับชีพจร (pulse wave) และวัดเฉพาะช่วงที่ชีพจรเต้น ซึ่งถือว่าเป็น arterial blood จึงเชื่อถือได้มากกว่า non-pulse oximetry เรียกค่าที่วัดได้ว่า pulse oxygen saturation หรือ SpO<sub>2</sub> แต่ข้อจำกัดคือใช้แสงเพียง 2 ความยาวคลื่นทำให้ค่าที่วัดได้ เป็นร้อยละของ oxy-Hb เมื่อเทียบกับ (oxy-Hb + reduced Hb) เท่านั้น โดยไม่คำนึงถึง Hb ชนิดอื่นที่ไม่ได้นำออกซิเจน จึงอาจเรียกว่า functional Hb saturation ถ้าในร่างกายมี Hb ชนิดอื่นเช่น met-hemoglobin, carboxy-hemoglobin มากจะทำให้ค่า SpO<sub>2</sub> ไม่ตรงกับ SaO<sub>2</sub> เนื่องจาก SaO<sub>2</sub> เป็นร้อยละของ oxy-Hb เมื่อเทียบกับ (oxy-Hb + reduced Hb + met-Hb + CO-Hb) ซึ่งเรียกว่าเป็น fractional Hb saturation

Probe ของ pulse oximetry อาจหนีบที่นิ้ว หรือติ่งหู แต่ปัจจุบันมี sensor ที่ใช้เทคนิค light reflectance และ light transmission จึงไม่ต้องการการหนีบไว้ระหว่างเนื้อเยื่อ สามารถใช้วางบนผิวหนัง เช่น sternum, หน้าผาก, หรือจมูก ได้

ความเชื่อถือได้ พบว่าค่า SpO<sub>2</sub> ที่วัดได้ในช่วง 80-100% มีความผิดพลาด +2% ในช่วง 70-80% มีความผิดพลาด ± 3-5% ในช่วง < 70% saturation ไม่ควรเชื่อถือ

### ปัจจัยที่ทำให้ความแม่นยำของ pulse oximeter เปลี่ยนไป มีดังนี้

#### 1. ความผิดปกติของ Hb

1.1 Carboxy-Hb ทำให้ false high เนื่องจาก CO-Hb ดูดแสงที่มีความยาวคลื่นใกล้เคียงกับ oxy-Hb มากกว่า เครื่องจึงรายงานว่ามี SpO<sub>2</sub> สูง

1.2 Met-Hb ดูดแสงได้ดีทั้ง 2 ความยาวคลื่น ทำให้เครื่องรับรู้ว่ามี oxy-Hb และ reduced Hb พอๆ กัน ค่า absorbance ratio จะใกล้ 1 มากขึ้น เครื่องจึงมีแนวโน้มจะรายงานค่า SpO<sub>2</sub> ออกมาใกล้ๆ 85% ดังนั้นถ้า SaO<sub>2</sub> จริงสูงกว่า 85% ก็เท่ากับว่าค่าที่ได้เป็น false low แต่ถ้า จริงต่ำกว่า 85% ก็เท่ากับว่าค่าที่ได้เป็น false high

1.3 Hb-F จะมี SpO<sub>2</sub> 92% ที่ PaO<sub>2</sub> 13 Kpa (100 mmHg)

#### 2. สารดูดแสงในเลือด

2.1 สารสีที่ฉีดเข้าหลอดเลือด เช่น methylene blue, indocyanine green, indigo-carmine ดูดแสงที่ 660 nm ทำให้ได้ค่า false low

2.2 Bilirubin ในผู้ป่วย jaundice มีรายงานว่าจะวัดได้ต่ำกว่าจริง แต่ก็มีรายงานว่าสัมพันธ์กับค่าที่วัดโดย co-oximeter ดี

3. สารดูดแสงที่อยู่ผิวหนังหรือภายนอก ตามทฤษฎีแล้วไม่น่ามีผล เพราะไม่ใช่องค์ประกอบที่เดินตามชีพจร แต่ถ้าสารเหล่านี้ดูดแสงไว้มาก เหลือแสงผ่านไปยัง pulsatile element น้อย ก็ทำให้วัดได้ไม่แน่นอน

3.1 สีผิว ไม่มีผลใน pulse oximeter แต่ก็มีรายงานว่าผู้ป่วยผิวดำมาก จะได้ false high

3.2 ยาทาเล็บสีต่างๆ ดำ ฟา เขียว ยังบอกไม่ได้แน่ว่ารบกวนเพียงใด และทำให้ได้ค่าสูงหรือต่ำกว่าจริง

4. แสงภายนอกที่ผ่านเข้ามา เช่น fluorescent light, Xenon arc surgical light ทำให้ false low

5. การเคลื่อนไหว สั่นสะเทือน รบกวนต่อการค้นหา pulse wave อาจทำให้วัดไม่ได้

6. ชีพจรไม่แรงพอ เช่นในกรณี hypotension, shock, hypothermia, hypovolemia, vasoconstriction ในภาวะเหล่านี้มักจะวัดไม่ได้ แต่ถ้าเครื่องวัดและรายงานค่า SpO<sub>2</sub> ได้ ก็ไม่ควรเชื่อถือ

7. เครื่อง pulse oximeter จากแต่ละบริษัท มีวิธีการกำจัด artifact และการวิเคราะห์สัญญาณไม่เหมือนกัน ทำให้ค่าที่ได้จากเครื่องของแต่ละบริษัทอาจแตกต่างกันได้บ้าง

8. Probe ที่แน่นเกินไป อาจเกิดจากนิ้วใหญ่เกินไป ทำให้หลอดเลือดถูกกด อาจทำให้ค่าผิดไป

### ที่ใช้ของ pulse oximeter ได้แก่

1. ใช้แทน SaO<sub>2</sub> เพื่อบ่งบอกภาวะ hypoxemia ในภาวะที่ oxyhemoglobin dissociation curve ปกติ PaO<sub>2</sub> 80 มม.ปรอท จะเทียบกับ SaO<sub>2</sub> 94%, PaO<sub>2</sub> 60 มม.ปรอท จะเทียบกับ SaO<sub>2</sub> 90%, PaO<sub>2</sub> 40 มม.ปรอท จะเทียบกับ SaO<sub>2</sub> 75% ดังนั้นถ้า SpO<sub>2</sub> < 90% ถือว่า hypoxemia ค่อนข้างมากแล้ว ประโยชน์คือใช้วินิจฉัยภาวะ hypoxemia (desaturation) ในขณะนอนหลับ, ดมยาสลบ, ดูดเสมหะ, หยุดใช้เครื่องช่วยหายใจ, หรือใช้เป็นแนวทางในการปรับลด F<sub>I</sub>O<sub>2</sub> ในกรณีที่ไม่มี PaO<sub>2</sub>

ต้องระลึกไว้ว่า SpO<sub>2</sub> ไม่สามารถบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของ PaO<sub>2</sub> ได้ดีในช่วงที่ PaO<sub>2</sub> ปกติหรือสูง จึงไม่อาจแทน PaO<sub>2</sub> จาก arterial blood gas ได้ เช่น ผู้ป่วยได้รับ O<sub>2</sub> therapy ด้วย F<sub>I</sub>O<sub>2</sub> 0.4 ถ้าปอดปกติควรได้ PaO<sub>2</sub> 200 มม.ปรอท ซึ่งก็จะได้ค่า SpO<sub>2</sub> 100% ถ้าปอดเป็น pneumonia ไม่ว่าค่า PaO<sub>2</sub> จะเป็น 100, 120, 140, หรือ 180 มม.ปรอท ก็จะพบว่า SpO<sub>2</sub> แสดงค่า 100% เท่ากัน จึงไม่สามารถบอกได้ว่าพยาธิสภาพ รุนแรงเพียงใด

2. ใช้นับอัตราเร็วและจังหวะของชีพจร

3. การนำ pulse oximeter มาประเมิน local perfusion ของแขนขาในกรณีที่มี vascular injury หรือขึ้น tourniquet หรือในการทำ Allen's test แม้จะวัดได้ มี pulse wave ขึ้น ก็ไม่ได้หมายความว่า local perfusion เพียงพอ เพราะ pulse oximeter สามารถ detect pulse signal ได้ด้วย flow เพียง 4-8% ของปกติเท่านั้น ต่างกับ PtcO<sub>2</sub> ซึ่งไวต่อการลดลงของ local perfusion มาก

## เครื่องติดตามความดันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในลมหายใจออก ( $P_{ET}CO_2$ )

การวัดความดันของ  $CO_2$  เรียก capnometry ถ้าวัดต่อเนื่องกันไปแล้วเขียนเป็นกราฟเรียก capno-graphy รูปกราฟที่ได้เรียกว่า capnogram รูปร่างของ capnogram ที่ผิดปกติไปจะบ่งภาวะความผิดปกติในการหายใจ หลายอย่างที่จะได้กล่าวต่อไป ค่า  $PCO_2$  ที่จุดสุดท้ายของลมหายใจออก เรียก end-tidal  $PCO_2$  ( $P_{ET}CO_2$ ) ซึ่งมีค่าเท่ากับ alveolar  $PCO_2$  ( $P_ACO_2$ ) และโดยเหตุที่ diffusion ของ  $CO_2$  ดีมากจนทำให้ค่า  $PaCO_2$  และ  $P_ACO_2$  แตกต่างกันน้อยมาก จึงสามารถใช้  $P_{ET}CO_2$  เพื่อบ่งชี้  $PaCO_2$  ได้

### ที่ใช้ของ capnographic monitoring ได้แก่

1. ใช้ติดตามภาวะการระบายอากาศของปอด (pulmonary ventilation) โดยบอกได้ว่า ไม่มี ventilation หรือ hypoventilation หรือ hyperventilation กล่าวคือใช้  $P_{ET}CO_2$  เพื่อบ่งค่า  $PaCO_2$  แต่ในผู้ป่วยที่มีความผิดปกติของปอด ความแตกต่างระหว่าง  $PaCO_2$  และ  $P_ACO_2$  มากขึ้น ทำให้  $P_{ET}CO_2$  สัมพันธ์กับ  $PaCO_2$  น้อยลง ต้องหมั่นตรวจสอบความสัมพันธ์โดยเจาะ arterial blood gas เทียบ แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าต้องการดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ  $PaCO_2$  ก็ยังสามารถดูจากการเปลี่ยนแปลงของ  $P_{ET}CO_2$  ได้
2. ใช้ติดตามความผิดปกติของอัตราการหายใจ และจังหวะการหายใจ
3. ใช้วินิจฉัยภาวะการอุดตันในทางเดินหายใจ (airway obstruction)
4. ใช้ประเมินตำแหน่งของท่อทางเดินหายใจ (endotracheal tube) เช่น ใส่เข้าหลอดอาหาร หรือการเลื่อนหลอดออกมาจากหลอดลม
5. ใช้ประเมินปริมาณเลือดที่ไปยังปอด เช่น วินิจฉัยภาวะ low cardiac output, pulmonary embolism หรือใช้ประเมินประสิทธิภาพในการกดหน้าอกในการช่วยฟื้นชีวิต (CPR)

## เอกซเรย์ปอด (Chest X-ray)

การเอกซเรย์ปอดเป็นระยะ เป็นการติดตามการเปลี่ยนแปลงพยาธิสภาพของปอดและทรวงอก พยาบาลผู้ดูแลผู้ป่วยใน ICU มีส่วนอย่างมากในการช่วยให้ภาพเอกซเรย์ปอดมีคุณภาพและง่ายต่อการวินิจฉัยได้ถูกต้อง การติด ECG electrode ควรหลีกเลี่ยงไม่ให้กระดุมที่เป็นโลหะหรือ clip ที่หนีบปรากฏใน lung field ก่อนถ่ายควรช่วยดูการจัดท่าของผู้ป่วยว่าตรงดีหรือไม่ คอก้มหรือหงายเกินไปหรือไม่ เพราะทำให้ท่อทางเดินหายใจเลื่อนขึ้นหรือลงได้ถึง 2 ซม. และจัดอย่าให้มีสิ่งบดบังภาพเอกซเรย์ปอด (เช่นวงจรถ่ายของเครื่องช่วยหายใจ, ท่อนำออกซิเจน, สาย ECG electrode, สาย pulse oximeter เป็นต้น) ผู้เขียนใช้คุณภาพของภาพเอกซเรย์ปอดนี้ประเมินคุณภาพของพยาบาลผู้ดูแลผู้ป่วยใน ICU เสมอ

## การใช้เครื่องติดตามสถานะของระบบอื่นๆ

### 1. การใช้เครื่องติดตามสถานะของระบบประสาท (Neurologic Monitoring)

1.1 Glasgow Coma Scale แพทย์หรือพยาบาลต้องเป็นผู้ประเมินเองในแต่ละครั้ง การบันทึกเป็น flow chart จะช่วยให้เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย

1.2 Intracranial pressure (ICP) monitoring ปัจจุบันมีวิธีการติดตามค่า ICP 2 วิธี วิธีหนึ่งคือสอดสายสวนเข้าไปใน ventricle, subarachnoid space, epidural space, หรือ subdural space แล้วต่อกับ

transducer ภายนอก อีกวิธีหนึ่งคือใช้ transducer เล็กๆ สอดเข้าไปในเนื้อสมอง, lateral ventricle, หรือใน epidural หรือ subarachnoid space เลย ที่มีใช้กันในปัจจุบันมักเป็นวิธีแรก การวัดทำในลักษณะเดียวกับ CVP หรือ arterial line คือ อาจใช้วิธี fluid-column manometer หรือต่อเข้ากับ transducer แล้วส่งสัญญาณแสดงออกทางจอ monitor

เป้าหมายสำคัญของการเฝ้าระวัง ICP คือ เพื่อพยายามรักษาระดับ cerebral perfusion pressure (CPP) ซึ่งมีค่าเท่ากับ mean arterial pressure ลบด้วย ICP ถ้า ICP สูงมากจะทำให้ CPP ลดลง ถ้า CPP ลดต่ำกว่า critical cerebral perfusion pressure ก็จะไม่มีการไหลเวียนเลือดไปเลี้ยงสมองได้ ดังนั้นจึงควรพิจารณาร่วมกับ BP ด้วย

1.3 Electroencephalography (EEG), evoked potential (EP), และ bispectral index (BIS) monitoring เป็นการติดตามคลื่นไฟฟ้าสมอง ซึ่งต้องการเครื่องมือและผู้ใช้ผู้ชำนาญเฉพาะ สามารถประเมินการทำงานของสมอง

## 2. อุณหภูมิของผู้ป่วย (Temperature Monitoring)

อุณหภูมิร่างกาย แบ่งง่ายๆ เป็น 2 ประเภทคือ อุณหภูมิแกนกลาง (core temperature) และอุณหภูมิพื้นผิว (surface temperature) ถ้า tissue perfusion ดี เลือดจากภายในร่างกายจะถูกนำไปยังผิวหนังและนำความร้อนไปด้วย ทำให้อุณหภูมิผิวหนังคนเราไม่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและอุณหภูมิแกนกลางในคนปกติมักไม่เกิน 2°C ถ้าแตกต่างกันมากบ่งว่า peripheral perfusion ไม่ดี

ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิ มีดังนี้

1. Core temperature วัดได้จาก distal esophagus, nasopharynx, tympanic membrane, และจาก pulmonary artery catheter ทั้ง 4 ตำแหน่งนี้ใช้ได้เหมือนกัน ค่าที่ได้จะต่างกันไม่เกิน 0.1°C
2. Surface temperature วัดบริเวณผิวหนัง นิยมใช้ตำแหน่งนี้วัดที่เท้า
3. Intermediate site ได้แก่ อมใต้ลิ้น, เสียบทวาร, หนีบรักแร้, ในกระเพาะปัสสาวะ, ในรูหู ถ้าวัดถูกวิธีสามารถใช้แทน core temperature ได้

อุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิ มีดังนี้

1. Mercury thermometer
2. Thermocouples เป็น bimetal junction
3. Thermistors เป็น thermoresistive device
4. Infrared thermometers

บางชนิดสะดวกที่จะใช้วัดเป็นครั้งๆ ไป แต่ไม่สะดวกที่จะใช้ติดตามต่อเนื่อง อุปกรณ์ใดๆ ก็มีความแม่นยำไม่ต่างกันมาก สำคัญที่ตำแหน่งที่วัดและวิธีการวัดมากกว่า

## 3. การประเมินความรุนแรงของการเจ็บป่วย (Severity Scoring System)

การประเมิน severity scoring เช่น APACHE II scoring system ตั้งแต่แรกเริ่ม และติดตามเป็นระยะ เพื่อใช้ในการทำนายผลการรักษา พิจารณาระดับของ monitor ที่จะต้องใช้ และพิจารณาการย้ายผู้ป่วยออกจาก ICU

### เครื่องติดตามสถานะของผู้ป่วยในระหว่างการเคลื่อนย้ายขนส่ง (Monitoring during Transport)

ผู้ป่วยในหอผู้ป่วยหนัก อาจจำเป็นต้องได้รับการเคลื่อนย้ายขนส่งไปยังหน่วยตรวจพิเศษ ห้องผ่าตัดหรือห้องบำบัดพิเศษ หรือไปยังโรงพยาบาลอื่นเพื่อรับการรักษาต่อ ผู้ป่วยควรได้รับการเฝ้าระวังและการรักษาเหมือนขณะที่ไม่ได้เคลื่อนย้าย มิฉะนั้นอาการอาจเลวลงและอาจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้

เครื่องติดตามสถานะของผู้ป่วยในระหว่างการเคลื่อนย้ายขนส่ง มีปัญหาที่ต่างจากขณะที่ผู้ป่วยได้รับการดูแลในหอผู้ป่วยหนักดังนี้คือ

1. แหล่งพลังงาน จำเป็นต้องมีแบตเตอรี่เพื่อใช้ในขณะเดินทาง
2. ขนาดต้องเล็กกระทัดรัด กิณที่น้อย น้ำหนักเบา ถ้าเป็นไปได้ควรติดตามสถานะของผู้ป่วยได้ทุกอย่างที่ต้องการในเครื่องเดียวกัน
3. ใช้งานได้ดีในภาวะที่มีการสั่นสะเทือน หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง หรืออยู่บนเครื่องบินซึ่งมีการปรับความดันบรรยากาศให้ต่างไปจากบนพื้นโลก เป็นต้น
4. เหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้ให้การรักษาพยาบาลที่ไปกับผู้ป่วย เพราะการเฝ้าระวังที่ซับซ้อนเกินกว่าระดับความรู้ความสามารถของผู้ที่ดูแลผู้ป่วยไปในช่วงทางยอมไม่มีประโยชน์ เนื่องจากผู้ดูแลไม่ทราบว่าจะแปลผลหรือตอบสนองต่อผลการเฝ้าระวังที่ได้อย่างไรบ้าง การมี tele-monitor และระบบการติดต่อสื่อสารระหว่างโรงพยาบาลและรถเข็นหรือรถพยาบาลที่กำลังเดินทางอาจแก้ปัญหานี้ลงได้ระดับหนึ่ง

Transport monitor ที่นิยมใช้ในปัจจุบันเป็นแบบ modular ใช้ module เดียวกับ bedside monitor แต่เสียบเข้ากับจอ monitor ขนาดเล็กกระทัดรัด มี battery สามารถติดตามค่าต่างๆ ได้ครบ เช่น ECG, NIBP หรือ IBP, pulse oximeter, respiratory rate, temperature บางโรงพยาบาลอาจมี tele-monitor ก็สามารถใช้ได้สะดวกในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยระยะทางใกล้ๆ ภายในโรงพยาบาล แต่ถ้าไม่มี transport monitor ก็สามารถใช้วิธีการง่ายๆ ได้แก่ precordial หรือ esophageal stethoscope, BP cuff โดยติด stethoscope และพันให้ตึงอยู่กับที่, arterial line ก็สามารถต่อเข้ากับเครื่องวัดความดันธรรมดา (aneroid หรือ mercury manometer) ได้

#### เอกสารอ้างอิง

1. Weston LA, Eichhorn JH. Monitoring standards. In: Tobin MJ, editor. Principles and practice of intensive care monitoring. New York: McGraw-Hill; 1998. p.1415-24.
2. Society of Critical Care Medicine Task Force on Guidelines. Guidelines for standards of care for patients with acute respiratory failure on mechanical ventilatory support. Crit Care Med 1991;19:275-8.