



Respiratory Monitoring : What's New in 2004

สุชาดา ศรีภักยวรรณ

ภาวะผิดปกติทางระบบหายใจเป็นภาวะที่พบบ่อยในผู้ป่วยเด็กที่ต้องเข้ารับการรักษาในหอผู้ป่วยวิกฤต (PICU) ผู้ป่วยเหล่านี้มักต้องการการดูแลหรือ monitor อย่างใกล้ชิด การซักประวัติและตรวจร่างกายเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการวินิจฉัยความผิดปกติและประเมินผู้ป่วยภายหลังให้การรักษา ในขณะเดียวกัน การใช้เครื่องมือบางอย่างก็มีส่วนช่วยให้แพทย์หรือผู้ดูแลผู้ป่วยสามารถให้การวินิจฉัยภาวะผิดปกติและให้การรักษาได้อย่างถูกต้องรวดเร็วขึ้น เครื่องมือที่ใช้สำหรับ monitor ทางระบบหายใจที่ดีนั้น ควรเป็นเครื่องมือที่ใช้ง่าย ให้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ มีความไวและความจำเพาะในการวัดสูง อ่านผลง่าย ราคาคุ้มค่ากับประโยชน์ที่ได้รับ และก่อให้เกิดอันตรายกับผู้ป่วยน้อยที่สุด¹ ในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาเครื่องมือใหม่ๆ ขึ้นมามากมายสำหรับใช้ในการทำ respiratory monitoring ให้มีประสิทธิภาพและถูกต้องแม่นยำขึ้น แพทย์และบุคลากรทางการแพทย์จึงควรมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือเหล่านี้ เพื่อให้สามารถใช้เครื่องมือเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้ป่วย

วัตถุประสงค์ของการทำ respiratory monitoring²

1. เพื่อให้สามารถวินิจฉัยภาวะผิดปกติทางระบบหายใจที่ต้องได้รับการแก้ไขในผู้ป่วยได้อย่างถูกต้องรวดเร็ว
2. เพื่อเฝ้าระวังความผิดปกติทางระบบหายใจที่อาจเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาในผู้ป่วย
3. เพื่อประเมินผลตอบสนองของผู้ป่วยต่อการรักษาที่ได้รับ

Respiratory monitoring ใน ICU

แบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ²

1. **Oxygenation indices monitoring** ได้แก่
 - การ monitor
 - arterial blood gas indices ได้แก่ การทำ intermittent arterial blood gas analysis และ continuous intra-arterial blood gas monitoring
 - arterial oxygen saturation โดยวิธี pulse oximetry (SpO_2)
 - transcutaneous oxygen tension (PtcO_2)
 - mixed venous oxygen saturation (SvO_2)
 - tissue oxygenation

2. Ventilation indices monitoring ได้แก่ การ

monitor

- respiratory center function หรือ ventilatory drive
- respiratory muscle function : strength, endurance
- respiratory mechanics : compliance, resistance, work of breathing
- breathing pattern
- capnography : end-tidal carbon dioxide tension (PetCO₂)
- transcutaneous carbon dioxide tension (PtcCO₂)

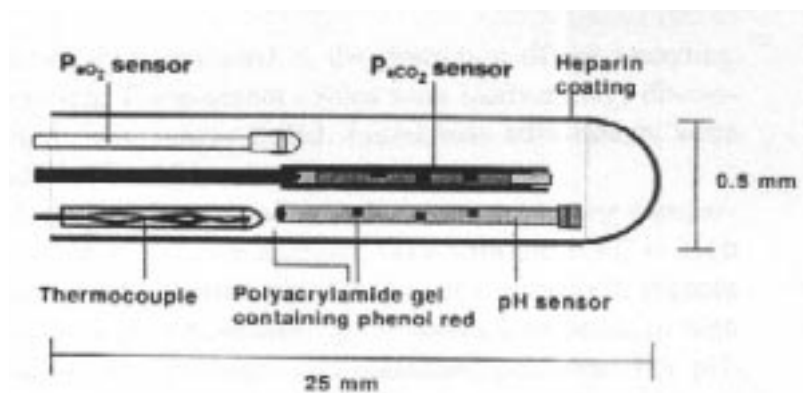
ในปัจจุบัน มีการพัฒนาเทคนิคต่างๆ ในการทำ respiratory monitoring ดังกล่าวใน PICU อย่างมากมาย ซึ่งคงจะไม่สามารถนำมากล่าวถึงในที่นี้ได้ทั้งหมด ดังนั้น จึงขอกล่าวถึงการทำให้ respiratory monitoring ที่สำคัญบางอย่างที่มีที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

- Continuous intra-arterial blood gas monitoring
- Pulse oximetry
- Respiratory mechanics monitoring โดยเฉพาะอย่างยิ่งการ monitor elastic property ของระบบหายใจ

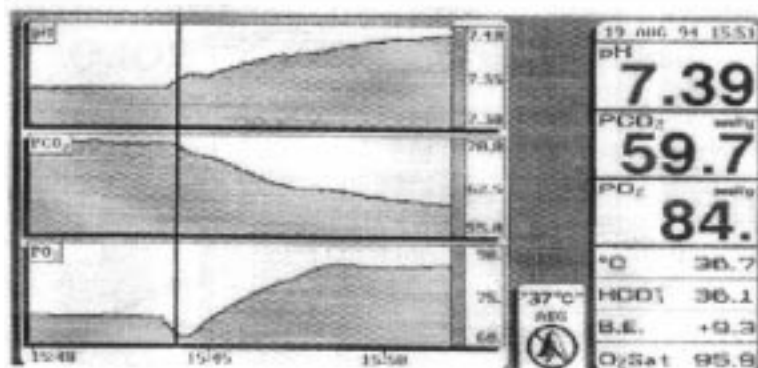
Continuous intra-arterial blood gas monitoring

เป็นการวัดค่าของก๊าซในเลือดแดงซึ่งสามารถ monitor ได้ตลอดเวลาโดยการใส่สายสวนเข้าไปในเส้นเลือดแดงเพื่อวัดค่าของ PO₂, PCO₂ และ pH มีที่ใช้ในผู้ป่วยที่ต้องการการ monitor ภาวะ oxygenation, ventilation และ pH บ่อยๆ เช่น ผู้ป่วยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจชนิด high frequency oscillator ซึ่งไม่สามารถประเมินภาวะ ventilation ของผู้ป่วยโดยการทำให้ end-tidal CO₂ monitoring และไม่สามารถประเมิน mechanics ของระบบหายใจโดยการทำให้ pressure-volume-flow monitoring ได้³ หรือผู้ป่วยที่มีภาวะ shock หรือมี metabolic acidosis ชนิดรุนแรงและต้องการการ monitor blood pH บ่อยๆ⁴ การ monitor โดยวิธีนี้จะช่วยให้แพทย์สามารถวินิจฉัยความผิดปกติและเปลี่ยนแปลงการรักษาให้เหมาะสมกับสภาวะของผู้ป่วยได้รวดเร็วกว่าการทำ intermittent arterial blood gas analysis

การทำ continuous intra-arterial blood gas monitoring ใช้หลักการของ fiberoptic chemical sensor ซึ่งเริ่มมีที่ใช้เป็นครั้งแรกทางคลินิกในปี ค.ศ. 1989 และเริ่มแพร่หลายในท้องตลาดในปี ค.ศ. 1992 (PB 3300, Puritan Bennett Corporation, Los Angeles, CA)⁵ สายสวนที่ใช้ในการวัดประกอบด้วย optic fibers 3 เส้น ตอนปลายของ optic fiber แต่ละเส้นจะมี chemical indicators ที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 1)⁶ และถูกห่อหุ้ม



ภาพที่ 1 แสดง cross section ของปลาย sensor ของเครื่องวัด continuous intra-arterial blood gas analysis (Neotrend[®])



ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างของข้อมูล (ค่า pH, PCO_2 และ PO_2) ที่ได้จากการทำ continuous intra-arterial blood gas monitoring ในผู้ป่วยรายหนึ่งโดยใช้ Paratrend® ค่าตัวเลขที่แสดงเป็นตัวเข็มเป็นค่าของ pH, PCO_2 และ PO_2 ในขณะนั้น ส่วน waveform ที่เห็นเป็น waveform ที่แสดงค่าของ parameters ดังกล่าวในช่วงเวลาที่ผ่านมา

ด้วย semipermeable membrane chemical indicators เหล่านี้เป็น fluorescent dyes ซึ่งจะเปลี่ยนสีตามความเข้มข้นของ H^+ , O_2 และ CO_2 ในเลือด แสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะถูกส่งผ่านไป optic fibers เหล่านี้ และถูก modified โดย chemical indicators ภายหลังทำปฏิกิริยากับ H^+ , O_2 และ CO_2 ในเลือด หลังจากนั้น สัญญาณแสงที่ถูก modified แล้วจะสะท้อนกลับไปมาอยู่ใน optic fibers และถูกแปลงเป็นค่าของ pH, PO_2 และ PCO_2 ⁷ ลักษณะ waveform ที่ได้จากการทำ continuous arterial blood gas monitoring ดังแสดงในภาพที่ 2° โดยทั่วไปแล้ว response time ของเครื่องจะประมาณ 1-3 นาทีขึ้นกับอัตราเร็วของปฏิกิริยาระหว่าง chemical indicators กับสารที่ต้องการวัดในเลือด มีหลายการศึกษาที่พบว่าค่า pH, PO_2 และ PCO_2 ที่ตรวจโดยใช้วิธีนี้ใกล้เคียงมากกับค่าที่ตรวจโดยวิธี direct arterial blood gas analysis

ข้อจำกัดของการทำ continuous intra-arterial blood gas monitoring ในผู้ป่วยเด็กคือ ต้องใช้ vascular access ขนาด 20G ในการใส่สายสวน ซึ่งทำได้ยากในทารกแรกเกิดหรือเด็กเล็ก อย่างไรก็ตาม มีรายงานการใส่สายสวนทาง femoral artery ในผู้ป่วยเด็กเล็ก

น้ำหนัก 6 กก. พบว่าใช้ได้ผลดี ในปัจจุบัน มีการพัฒนาสายสวนให้สามารถใช้ได้ในทารกแรกเกิด (Neotrend®) โดยใส่ทาง umbilical artery พบว่าได้ผลดีเช่นเดียวกัน° นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาโดยการใส่สายสวน (Paratrend®) เข้าไปในเส้นเลือดดำผ่านทาง vascular access ขนาด 20G พบว่า ค่า pH และ PCO_2 ที่วัดได้ใกล้เคียงกับในเลือดแดงและสามารถใช้ค่าดังกล่าวในการติดตามการรักษาผู้ป่วยได้⁴

ข้อจำกัดอีกข้อหนึ่งของการทำ continuous intra-arterial blood gas monitoring คือ อุปกรณ์ที่ใช้มีราคาแพง สายสวนที่ใช้ในการวัดส่วนใหญ่ค่อนข้างเปราะบางและแตกหักง่าย จึงต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง^{10, 11} แม้จะยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบ cost-effectiveness ของการทำ continuous intra-arterial blood gas monitoring กับการทำ standard intermittent arterial blood gas analysis ก็ตาม แต่ก็มีแนวโน้มที่จะเชื่อว่า การทำ continuous intra-arterial blood gas analysis มี cost-effectiveness ดีกว่า เนื่องจากช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทำ intermittent blood gas analysis และหากการ monitor ดังกล่าวช่วยให้แพทย์สามารถวางแผนการรักษาผู้ป่วยได้รวดเร็วและถูกต้องเหมาะสมขึ้นก็จะเป็นการ

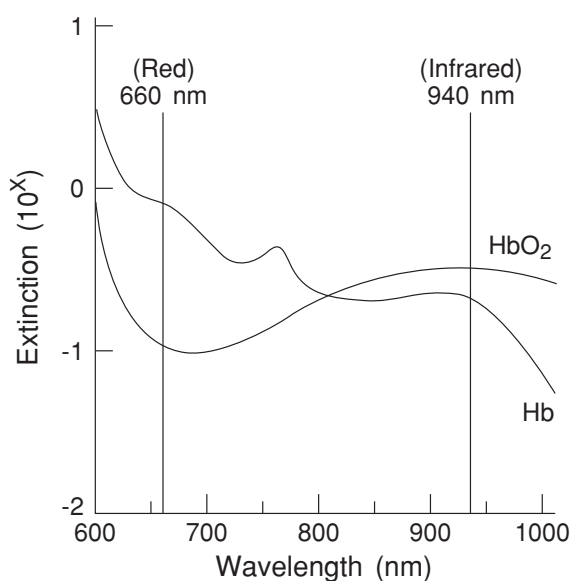
ช่วยลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ในระหว่างอยู่โรงพยาบาลได้ การเลือกประเภทของผู้ป่วยที่จะใช้วิธีการ monitor แบบนี้มีความสำคัญในการที่จะทำให้ cost-effectiveness ของการใช้เครื่องมือมีค่าสูงสุด ผู้ป่วยที่กำลังป่วยหนักหรือมีการเปลี่ยนแปลงของสมตุลกรดต่าง, oxygenation และ ventilation อย่างรวดเร็วและตลอดเวลาจะเป็นผู้ป่วยที่ได้ประโยชน์สูงสุดจากการใช้เครื่องมือเหล่านี้¹²

ความถูกต้องแม่นยำของค่าที่วัดได้ ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิของแขนขาส่วนที่ทำการวัดหรือ hemodynamic ของผู้ป่วย แต่ขึ้นกับคุณสมบัติของ sensor แต่ละชนิด^{10,11} ค่าที่ตรวจวัดได้อาจคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง โดยที่ผู้ป่วยไม่มีอาการเปลี่ยนแปลงทางคลินิก ซึ่งพบได้ในรายที่มีก้อนเลือดไปอุดตันที่บริเวณปลายสายสวน, มีการหักพับของสายสวนในขณะที่ผู้ป่วยเคลื่อนไหว, ตำแหน่งของ sensor อยู่ใน arterial line flush solution หรือ sensor ถูกรบกวนจากแสงภายนอก ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้สามารถวินิจฉัยภาวะรบกวนต่างๆ เหล่านี้ได้และมีระบบเตือนให้บุคลากรทางการแพทย์ที่ใช้เครื่องมือนี้ทราบว่า มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นที่จุดใดบ้าง^{4,8} นอกจากนี้ ความคลาดเคลื่อนของค่าที่วัดได้อาจพบได้ในกรณีที่ใช้สายสวนที่มี sensor อยู่ปลาย ซึ่งอาจทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า wall effect กล่าวคือปลายของ sensor แนบชิดกับผนังหลอดเลือด ทำให้ค่า PO_2 ที่วัดได้ต่ำกว่าความเป็นจริงเนื่องจากเป็นผลรวมระหว่าง tissue PO_2 และ PO_2 ในเลือดแดง¹³

Pulse oximetry

การ monitor arterial oxygen saturation (SpO_2) โดยใช้ pulse oximetry เป็นการ monitor แบบ non-invasive ที่ใช้ในผู้ป่วยทั้งในและนอก ICU มานานแล้ว เครื่อง pulse oximeter ที่ใช้กันโดยทั่วไปเป็นชนิด transmittance pulse oximeter คือวัดความเข้มข้นของ oxyhemoglobin ($Hb-O_2$) โดยวัดปริมาณแสงที่เดินทางผ่าน body tissue ที่มี hemoglobin อยู่ เครื่อง pulse oximeter

อาศัยหลักการของ spectrophotometry ในการวัดค่าความเข้มข้นของ oxyhemoglobin ($Hb-O_2$) ในเลือด และใช้หลักการของ photoplethysmography ในการแยกแยะระหว่างเลือดแดงและเลือดดำ¹⁴ เครื่อง pulse oximeter ส่วนใหญ่ใช้แสง infrared (ความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร) และแสง red (ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร) เป็นตัววัดความเข้มข้นของ $Hb-O_2$ เนื่องจาก $Hb-O_2$ และ deoxyhemoglobin มีความสามารถในการดูดซับแสง red แตกต่างกันอย่างชัดเจนและมีความสามารถในการดูดซับแสง infrared ที่ใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 3)¹⁴ การใช้แสงเพียงแค่ 2 ความยาวคลื่นในการตรวจวัดความเข้มข้นของ $Hb-O_2$ ทำให้มีปัญหาในการประเมินค่า arterial oxygen saturation ในผู้ป่วยที่มีภาวะ dyshemoglobinemias เช่น ผู้ป่วยที่มี carboxyhemoglobin (CO-Hb) จาก carbon monoxide poisoning จะวัดค่า SpO_2 ได้สูงกว่าความเป็นจริง เนื่องจาก CO-Hb มีความสามารถในการดูดซับแสงใกล้เคียงกับ $Hb-O_2$ ¹⁴ ในทางตรงข้ามผู้ป่วยที่มีภาวะ methemoglobinemia อาจวัดค่า SpO_2 ได้สูงหรือต่ำกว่าความเป็นจริง เนื่องจาก methemo-



ภาพที่ 3 แสดงความสามารถในการดูดซับแสงของ oxyhemoglobin ($Hb-O_2$) และ reduced hemoglobin (Hb)

globin (met-Hb) มีความสามารถในการดูดซับแสง red และ infrared ได้พอๆกันและจะให้ค่า SpO_2 ประมาณ 80-85% เสมอ¹⁴

ค่า SpO_2 ที่วัดโดยใช้ conventional pulse oximeter อาจคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงได้จากหลายสาเหตุปัจจัยที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนดังกล่าวได้แก่ movement artifact, poor tissue perfusion จากภาวะ low cardiac output หรือผิวหนังบริเวณที่วัดเย็นเกินไป, ภาวะ dyshemoglobinemia, ถูกรบกวนจากแสงภายนอก, intravascular dye, nail polish, สีผิว, ค่า pH และระดับฮีโมโกลบินในเลือด^{9, 12, 14, 15} นอกจากนี้ ค่า SpO_2 ที่ต่ำกว่า 70% จะมีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงมากขึ้น ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากการ calibrate เครื่องในช่วง SpO_2 ที่ต่ำขนาดนี้ ทำไม่ได้ในอาสาสมัครปกติเนื่องจากไม่สามารถทำให้อาสาสมัครดังกล่าว มีค่า SpO_2 ต่ำลงถึง 70% ดังนั้น ค่า SpO_2 ที่เครื่องอ่านได้ในช่วงที่ต่ำกว่า 70% จึงเป็นค่าที่ได้จากการ extrapolation calibration graph ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง red/infrared absorption ratio กับค่า SpO_2 จึงอาจทำให้มีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงได้ พบว่า ที่ arterial oxygen saturation ที่ต่ำกว่า 70% ค่า SpO_2 ที่วัดได้จากเครื่อง pulse oximeter จะต่างจากที่วัดได้จากเครื่อง co-oximeter เกิน 10%^{12, 16}

ในปัจจุบัน มีการพัฒนาเครื่อง pulse oximeter ให้สามารถวัดค่า SpO_2 ได้ถูกต้องแม่นยำขึ้นดังนี้

1. ใช้หลักการของ Masimo signal extraction technology (Masimo SET) เพื่อลด movement artifact เช่น เครื่องของ Masimo Corporation (Irvine, CA) ที่สามารถแยกวิเคราะห์ค่า SpO_2 ที่วัดได้แต่ละค่า โดยใช้หลักการของ discrete saturation transform¹⁷ และเลือกรายงานเฉพาะค่า SpO_2 ที่สูงที่สุด ค่า SpO_2 และ heart rate ที่วัดโดยใช้ Masimo SET มีค่าสูงกว่าและมี variation น้อยกว่าที่วัดโดยใช้ conventional pulse oximeter เครื่อง Masimo SET ก่อให้เกิด false alarm

น้อยกว่าและมีประโยชน์มากกว่า conventional pulse oximeter โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ป่วยเด็กเล็กที่มีการเคลื่อนไหวของแขนขาบ่อยๆ และในผู้ป่วยที่มี poor tissue perfusion^{18, 19, 20}

2. Reflectance oximetry วัดความเข้มข้นของ Hb-O₂ โดยการวัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจาก body tissue ที่มี hemoglobin แทนการวัดปริมาณแสงที่เดินทางผ่านเนื้อเยื่ออย่าง conventional pulse oximetry หรือ transmittance pulse oximetry วิธีนี้ทำให้สามารถติดตั้ง sensor ที่ใช้วัด SpO_2 ไว้ที่ส่วนใดของร่างกายก็ได้ที่สามารถให้ arterial pulsation ชัดเจน ทำให้สามารถวัดค่า SpO_2 ได้แม่นยำมากขึ้นในผู้ป่วยที่มี cardiac output ต่ำหรือมี poor tissue perfusion และยังถูกรบกวนจาก movement artifact น้อยกว่า conventional pulse oximeter ด้วย^{7, 9, 19} ตำแหน่งที่สามารถวาง sensor ของเครื่อง pulse oximeter ชนิดนี้ได้ เช่น ที่หน้าผาก (ภาพที่ 4) ซึ่งเชื่อว่าเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้หัวใจมากกว่าที่ปลายนิ้วมือหรือนิ้วเท้า จึงให้ค่า SpO_2 ที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่า²¹ ก่อให้เกิด false alarm จาก movement artifact น้อยกว่า²² นอกจากนี้ที่หน้าผากแล้ว ยังสามารถวาง sensor ที่บริเวณอื่นๆ ได้อีกเช่น ที่หลังส่วนบนหรือผนังทรวงอก มีการศึกษาในทารกแรกเกิดที่มีปัญหา shock พบว่า การ monitor SpO_2 โดยใช้ sensor ของ reflectance pulse oximeter ติดไว้ที่ upper chest หรือผนังหน้าท้อง สามารถให้ค่า SpO_2 ที่ใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุด แม้ว่าผู้ป่วยจะมีปัญหา poor tissue perfusion อย่างมาก²³

มีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ sensor ของเครื่อง reflectance pulse oximeter ติดไว้ที่หลอดอาหารเพื่อวัด SpO_2 ในขณะทำ cardiothoracic surgery พบว่าใช้ได้ดีเช่นเดียวกัน การวาง sensor ไว้ในหลอดอาหารอาจมีที่ใช้ในผู้ป่วยที่มี severe burn ของผิวหนังมากจนกระทั่งไม่สามารถหาที่ที่จะวาง sensor ของเครื่อง pulse oximeter ได้^{24, 25} นอกจากนี้ที่หลอดอาหารแล้วยังสามารถวาง sensor ไว้ที่ trachea ได้โดยติด sen-