



## Pulse Oximetry and End-Tidal CO<sub>2</sub> Tension Monitoring: Clinical Applications

สุชาภา ศรีภักยวรรณ

### บทนำ

ผู้ป่วยเด็กที่เข้ารับการรักษาในไอซียูส่วนใหญ่เป็นผู้ป่วยที่มีปัญหาเกี่ยวกับระบบการหายใจ การประเมินภาวะ oxygenation และ ventilation ของผู้ป่วยเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นต้องกระทำอย่างต่อเนื่อง เพื่อที่จะสามารถวินิจฉัยและให้การดูแลรักษาความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว การประเมินภาวะดังกล่าวสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งชนิด invasive เช่น การตรวจ arterial blood gases analysis และชนิด non invasive เช่น pulse oximetry และ end-tidal CO<sub>2</sub> tension (PetCO<sub>2</sub>) monitoring ในปัจจุบัน การตรวจแบบ non invasive เป็นที่นิยมมากขึ้นเนื่องจากสามารถทำได้อย่างต่อเนื่องและไม่รบกวนผู้ป่วย ประกอบกับเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพและง่ายต่อการใช้งานมากขึ้น แพทย์และพยาบาลที่มีหน้าที่ดูแลผู้ป่วยเด็กเหล่านี้จึงควรมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการ วิธีการใช้ ข้อจำกัดและการดูแลรักษาเครื่องมือดังกล่าว เพื่อที่จะได้สามารถใช้ประโยชน์จากเครื่องมือเหล่านี้ในการดูแลรักษาผู้ป่วยให้มีประสิทธิภาพและได้ประโยชน์คุ้มค่าที่สุด

บทความนี้จะกล่าวถึงหลักการและ clinical applications ของ pulse oximetry และ PetCO<sub>2</sub> monitoring

ซึ่งเป็นการตรวจที่มีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงพยาบาลทั่วไป

### Pulse oximetry

เป็นการตรวจวัดค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดงหรือค่าความเข้มข้นของ oxyhemoglobin (HbO<sub>2</sub>) ในเลือดแดง (SpO<sub>2</sub>) โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า pulse oximeter ในปัจจุบัน pulse oximeter มีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในไอซียู ห้องฉุกเฉิน ห้องผ่าตัด หอผู้ป่วยทั่วไป รวมทั้งใน sleep lab และ pulmonary function lab

#### หลักการของ pulse oximetry

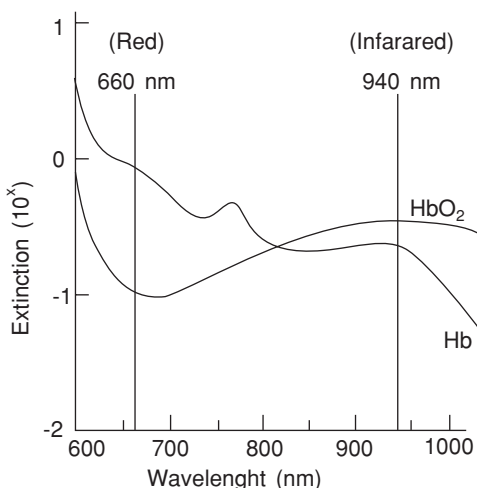
เครื่อง pulse oximeter ตรวจวัดค่าความเข้มข้นของ HbO<sub>2</sub> ในเลือดแดงโดยใช้หลักการของ spectrophotometry ร่วมกับ plethysmography

- *Spectrophotometry* เป็นเทคนิคการตรวจวัดความเข้มข้นของสารโดยการวัดปริมาณแสงที่ถูกสารนั้นๆ ดูดซับ เครื่อง pulse oximeter ส่วนใหญ่ใช้แสง infrared (ความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร) และแสง red (ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร) เป็นตัววัดความเข้มข้นของ HbO<sub>2</sub> เนื่องจาก HbO<sub>2</sub> และ deoxyhemoglobin มีความสามารถในการดูดซับแสง red แตกต่างกัน

อย่างชัดเจนและมีความสามารถในการดูดซับแสง infra-red ที่ใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 1)<sup>1</sup> แสงดังกล่าวจะถูกปล่อยออกมาจากด้านหนึ่งของ sensor (light emitting diode [LED]) ส่วนอีกด้านหนึ่งของ sensor จะเป็น photodetector ทำหน้าที่วัดความเข้มของแสง red และ infrared ภายหลังจากที่ผ่าน vascular bed แล้ว (ภาพที่ 2)<sup>1</sup> ค่า SpO<sub>2</sub> จะแปรตามค่าของ red/infrared absorbance ratio ดังแสดงในรูปที่

- *Photoplethysmography* เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวัด arterial pressure waveform ที่เกิดขึ้นในขณะที่หัวใจบีบตัว โดยวัดปริมาณแสงที่เดินทางผ่าน arteriole ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตาม phase การเต้นของหัวใจ กล่าวคือ arteriole จะแฟบลงในช่วง cardiac diastole และจะขยายออกในช่วง cardiac systole ดังนั้น ปริมาณแสงที่เดินทางผ่าน arteriole จึงแตกต่างกันตาม phase การเต้นของหัวใจ<sup>1</sup>

เมื่อนำหลักการของ spectrophotometry และ photoplethysmography มารวมกัน จึงทำให้สามารถวัดความเข้มข้นของ HbO<sub>2</sub> ในเลือดแดง หรือ arterial oxygen saturation ได้<sup>1</sup>



ภาพที่ 1 แสดงความสามารถในการดูดซับแสง red และ infrared ของ oxyhemoglobin (HbO<sub>2</sub>) และ reduced hemoglobin (Hb)<sup>1</sup>

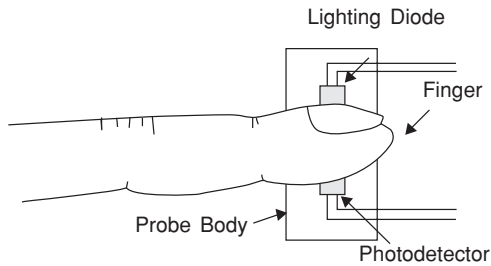
เครื่อง pulse oximeter ส่วนใหญ่วัดค่า SpO<sub>2</sub> ได้ถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงเมื่อค่า SpO<sub>2</sub> มากกว่า 70% ขึ้นไป<sup>2,4</sup> โดยมีความแม่นยำประมาณ  $\pm 3-5\%$ <sup>1</sup> อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำดังกล่าวจะลดลงมากเมื่อ SpO<sub>2</sub> ต่ำกว่า 70% โดยค่า SaO<sub>2</sub> ที่วัดได้จากเครื่อง co-oximeter จะต่างจากค่า SpO<sub>2</sub> ที่วัดได้จากเครื่อง pulse oximeter เกิน 10%<sup>3</sup>

เครื่อง pulse oximeter ที่ดีควรมีค่า response time สั้น ค่า response time หมายถึง ระยะเวลาที่เครื่อง pulse oximeter ใช้ในการอ่านค่า SpO<sub>2</sub> เครื่อง pulse oximeter ที่มีค่า response time สั้น เป็นเครื่องที่สามารถวินิจฉัยภาวะ desaturation ได้เร็ว นอกจากจะขึ้นกับเครื่องแต่ละชนิดแล้ว ค่า response time ยังขึ้นกับ hemodynamic status ของผู้ป่วยและ circulation time ระหว่างบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซ (ถุงลมในปอด) กับตำแหน่งที่ติด sensor เครื่อง pulse oximeter ที่ใช้ ear sensor จะมี response time สั้นกว่าชนิดที่ใช้ finger sensor หรือ toe sensor<sup>1</sup>

โดยทั่วไปแล้ว เครื่อง pulse oximeter แบ่งเป็น 2 ประเภทตามชนิดของ sensor ที่ใช้ดังนี้

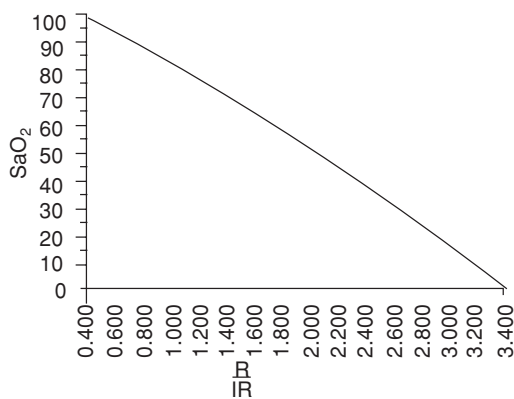
- Transmittance pulse oximeter เป็น pulse oximeter ที่วัดความเข้มข้นของ HbO<sub>2</sub> โดยวัดปริมาณแสงที่เดินทางผ่านเนื้อเยื่อของร่างกายที่มี hemoglobin อยู่ (ภาพที่ 2) เครื่อง pulse oximeter ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นชนิดนี้ ซึ่งค่า SpO<sub>2</sub> ที่วัดได้จะถูกบวกรบกวนโดย movement artifact และ poor tissue perfusion ได้ง่าย

- Reflectance oximeter เป็น pulse oximeter ที่วัดความเข้มข้นของ HbO<sub>2</sub> โดยวัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจาก body tissue ที่มี hemoglobin (ภาพที่ 4)<sup>6</sup> วิธีนี้ทำให้สามารถวาง sensor ที่ใช้วัด SpO<sub>2</sub> ไว้ที่ส่วนใดของร่างกายก็ได้ที่สามารถให้มี perfusion ดีให้ arterial pulsation ชัดเจนและมีการเคลื่อนไหวของอวัยวะส่วนนั้นน้อยที่สุด ทำให้สามารถวัดค่า SpO<sub>2</sub> ได้แม่นยำมากขึ้นแม้ในผู้ป่วยที่มี cardiac output ต่ำหรือมี



ภาพที่ 2 แสดง sensor ชนิด finger probe ของ pulse oximeter ปลายด้านหนึ่งของ sensor (light emitting diode) จะทำหน้าที่ปล่อยแสง red และ infra-red ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งทำหน้าที่เป็น photodetector<sup>1</sup>

poor tissue perfusion และยังถูกรบกวนจาก movement artifact น้อยกว่าด้วย อย่างไรก็ตาม สัญญาณที่ได้จาก reflectance pulse oximeter จะอ่อนกว่า สัญญาณที่ได้จาก transmittance pulse oximeter<sup>2,5</sup> ในปัจจุบัน เริ่มมีการนำ pulse oximeter ชนิดนี้เข้ามาจำหน่ายในประเทศไทยมากขึ้น แต่ sensor มีราคาแพงกว่าชนิด transmittance pulse oximeter มากและมีขนาดใหญ่ ใช้ได้เฉพาะในผู้ป่วยที่มีน้ำหนักมากกว่า 40 กิโลกรัมขึ้นไป



ภาพที่ 3 Calibration graph ของเครื่อง pulse oximeter เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า SaO<sub>2</sub> และ absorbance ratio ระหว่างแสง red และ infra-red (R/IR ratio) ที่ได้จากการตรวจในอาสาสมัครปกติ<sup>1</sup>

### Clinical applications ของ pulse oximeter

• การเลือกชนิดของ sensor sensor ที่ใช้กับ pulse oximeter มี 2 ชนิด คือชนิด transmittance และ reflectance sensor ชนิด transmittance มีหลายรูปแบบ เช่น ชนิด finger probe สำหรับใช้นิ้วที่นิ้วมือ, ear probe สำหรับหูที่ตึงหู หรือชนิด adhesive สำหรับพันที่นิ้วหรือเท้า นอกจากนี้ ยังมีชนิด disposable และ reusable การใช้ reusable sensor ควรมีการทำความสะอาดตามวิธีที่แนะนำไว้สำหรับ sensor ชนิดนั้นๆ ก่อนที่จะนำไปใช้กับผู้ป่วยคนอื่นๆต่อไป การนำ disposable sensor มาใช้เป็น reusable sensor อาจทำให้ค่า SpO<sub>2</sub> ที่วัดได้คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงเมื่อใช้ไปนานๆ<sup>7</sup> sensor แต่ละชนิดมีอายุการใช้งานแตกต่างกัน ผู้ใช้ควรศึกษาหาข้อมูลเพิ่มเติมจากบริษัทผู้ผลิต

ปัจจัยที่ควรคำนึงถึงในการเลือกชนิดของ sensor ได้แก่<sup>6</sup>

- น้ำหนักของผู้ป่วย ควรเลือกใช้ขนาดของ sensor ตามน้ำหนักหรือขนาดของผู้ป่วย (neonatal, pediatric หรือ adult size) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง sensor ชนิด adhesive ทั้งนี้เพื่อให้ตำแหน่งของ LED และ photodetector อยู่ตรงข้ามกันพอดี ซึ่งจะทำให้ photodetector สามารถรับสัญญาณที่ผ่าน vascular bed ของผู้ป่วยได้มากที่สุด มี interference จากแสงสว่างรอบๆน้อยที่สุด<sup>6</sup> (ภาพที่ 2) และมี penumbra effect (photodetector รับแสงที่มาจาก LED โดยตรงโดยไม่ผ่าน vascular bed เลย ทำให้ค่า SpO<sub>2</sub> ที่วัดได้สูงหรือต่ำกว่าความเป็นจริง) น้อยที่สุด<sup>7</sup>

- ระยะเวลาที่ต้องการ monitor เช่น ต้องการ monitor แบบ long term หรือ spot check เครื่อง pulse oximeter บางชนิด เช่น Nellcor<sup>®</sup> จะกำหนดระยะเวลาสูงสุดของการใช้ sensor ในแต่ละตำแหน่งของร่างกาย เช่น ถ้าเป็น reusable sensor โดยทั่วไปแล้ว ควรเปลี่ยนตำแหน่งที่ติด sensor ทุก 4-8 ชั่วโมง ในขณะที่ถ้าเป็น sensor ที่ใช้สำหรับ spot check ไม่



ภาพที่ 4 แสดง forehead sensor (Max-fast<sup>®</sup>) ซึ่งติดอยู่ที่หน้าผากของผู้ป่วย<sup>6</sup>

ควรติดไว้ที่ตำแหน่งเดิมนานเกิน 20 นาที เป็นต้น ผู้ใช้ควรศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับเรื่องนี้จากบริษัทผู้ผลิต pulse oximeter นั้นๆ<sup>9</sup>

- Activity ของผู้ป่วย ผู้ป่วยที่มีการเคลื่อนไหวบ่อยๆ เช่น เด็กเล็กที่ร้องกวนหรืออยู่ไม่นิ่งอาจต้องเลือกใช้ sensor ชนิด reflectance หรือ sensor ที่มี software กำจัดตัวกวนที่เกิดจาก movement artifact ได้

- Infection control concern เช่น ในกรณีที่ไม่ต้องการให้มีการแพร่กระจายของเชื้อระหว่างผู้ป่วย ควรเลือกใช้ sensor ชนิด disposal หรือทำความสะอาด sensor ให้ดีก่อนที่จะใช้ sensor นั้นกับผู้ป่วยอีกคนหนึ่ง

• การเลือกตำแหน่งที่จะติด sensor ควรเป็นตำแหน่งที่มี perfusion ดี มี motion น้อย ไม่ควรติด sensor บริเวณนิ้วของแขนขาข้างที่ใส่วัด blood pressure, ใส่ arterial line หรือมี IV fluid หรือบริเวณที่บวม มี venous obstruction เป็นต้น เนื่องจากอาจให้ค่า SpO<sub>2</sub> ที่คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง ผู้ป่วยที่ใช้ยาทาเล็บ (โดยเฉพาะอย่างยิ่งสีน้ำตาล น้ำเงินหรือเขียว) ควรล้างออกก่อนที่จะติด sensor บริเวณนั้น<sup>9</sup>

• การอ่านค่า SpO<sub>2</sub> ควรพิจารณารูปร่างของ pulse หรือ bar waveform ที่เกิดขึ้นและค่าของ heart rate ที่วัดได้ร่วมด้วย ค่า SpO<sub>2</sub> ที่เชื่อถือได้ควรเป็นค่า SpO<sub>2</sub> ที่วัดได้ในขณะที่มี pulse หรือ bar waveform เกิดขึ้นอย่างชัดเจนและมีรูปร่างสม่ำเสมอ และค่า heart

rate ที่อ่านได้ในขณะนั้นแตกต่างจากค่า heart rate จริงของผู้ป่วยในเวลาเดียวกันไม่เกิน 10/นาที<sup>9</sup>

#### ข้อจำกัดของ pulse oximeter<sup>9</sup>

- Probe motion artifact
- Hemoglobinopathies
- Intravascular dyes
- Probe exposure to ambient lighting
- Low tissue perfusion at probe site
- Skin pigmentation
- Nail polish
- Electrical interference

ในปัจจุบัน มีเครื่อง pulse oximeter ที่สามารถลดสัญญาณรบกวนจาก artifact ต่างๆ ได้เช่น เครื่อง Masimo SET<sup>®</sup> (Masimo Corporation, Irvine, CA) ซึ่งใช้หลักการของ signal extraction technology ที่จะกำหนดคุณสมบัติที่แน่นอนของ arterial pulse waveform ที่เครื่องจะยอมรับว่าเป็น waveform ที่ยอมรับได้สำหรับการอ่านค่า SpO<sub>2</sub> เมื่อใดก็ตามที่ waveform มีคุณสมบัติผิดไปจากที่เครื่องกำหนดไว้ เครื่องก็จะไม่อ่านค่า SpO<sub>2</sub> นั้นๆ หรือเครื่อง Nellcor OXISMA<sup>®</sup> (Mallinckrodt Nellcor Puritan Bennett, Pleasanton, CA) ที่มี software ลด movement artifact บรรจุไว้ในตัวเครื่อง อย่างไรก็ตาม แม้ว่าเครื่องเหล่านี้จะช่วยให้การเกิด movement artifact ลดลงก็ตาม ความไวของเครื่องในการวัด SpO<sub>2</sub> ก็อาจจะลดลงด้วยเช่นกัน<sup>1,2,4,10</sup>