

การวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากชีพจรในผู้ใหญ่

บดินทร์ ขวัญนิมิตร¹

Pulse oximetry in adults

Khwannimit B.

Division of Critical Care, Department of Internal Medicine, Faculty of Medicine,

Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90110, Thailand

Songkla Med J 2006;24(3):245-252

Abstract:

The pulse oximeter is an instrument that incorporates both oximetry and plethysmography to provide continuous non-invasive monitoring of oxygen saturation in patients who require such monitoring. Oxygen saturation values obtained from pulse oximetry are part of a complete assessment of a patient's oxygenation status but are not a substitute for full arterial blood gas analysis. Pulse oximetry can be useful in early detection of arterial hypoxemia in many areas of clinical practice; however certain limitations from either technical or patient-related sources must also be considered. The principle, limitations and clinical applications of pulse oximetry are reviewed in this article.

Key words: pulse oximetry, pulse oximeter, oxygen saturation

บทคัดย่อ:

เครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากชีพจร เป็นเครื่องมือที่รวมการวัดระดับออกซิเจนและคลื่นการไหลเวียนโลหิตเข้าด้วยกัน ใช้เป็นเครื่องมือต่อเนื่องแบบไม่คุกคามในการวัดระดับความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินในเลือดแดง ซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของการประเมินระดับออกซิเจนในร่างกายแต่ไม่สามารถใช้ทดแทนการตรวจวัดออกซิเจนจากเลือดแดงได้ทั้งหมด

¹พ.บ., วว. (อายุรศาสตร์ทั่วไป), อาจารย์ หน่วยเวชบำบัดวิกฤติ ภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

รับต้นฉบับวันที่ 8 พฤศจิกายน 2548 รับลงตีพิมพ์วันที่ 11 เมษายน 2549

การวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากชีพจรสามารถประเมินภาวะขาดออกซิเจนได้อย่างรวดเร็วจึงมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายทางคลินิก อย่างไรก็ตามเครื่องมือนี้ยังมีข้อจำกัดบางประการอันเกิดจากตัวเครื่องมือหรือตัวผู้ป่วยเอง บทความนี้ได้ทบทวนหลักการข้อจำกัดและการนำไปใช้ทางคลินิกของการตรวจวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากชีพจร

คำสำคัญ: การวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากชีพจร, เครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากชีพจร, ระดับความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบิน

บทนำ

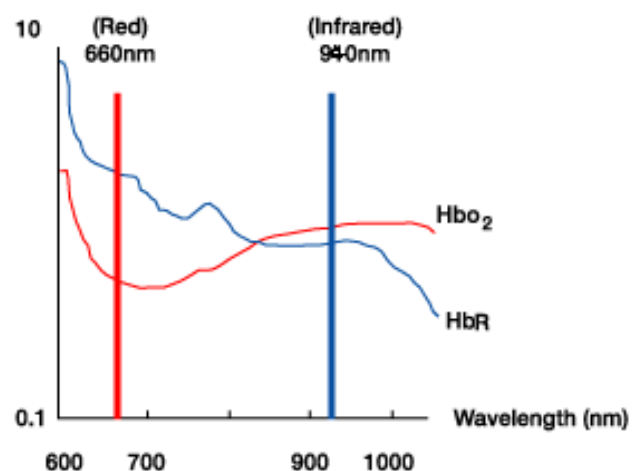
ออกซิเจนในเลือดต่ำ (hypoxemia) เป็นภาวะหนึ่งที่พบบ่อย ซึ่งต้องการการวินิจฉัยและรักษาอย่างถูกต้องเพื่อลดความพิการและอัตราการตายจากการขาดออกซิเจน การสังเกตอาการจากการตรวจร่างกายเพื่อประเมินระดับออกซิเจนในเลือดมีข้อจำกัดและมีความผิดพลาดสูง¹⁻² เพราะอาการเขียว (cyanosis) จะตรวจพบเมื่อระดับ deoxyhemoglobin สูงถึง 5 กรัมต่อดล. อีกทั้งจะสังเกตได้ยากขึ้นหากผู้ป่วยผิวคล้ำ ระดับความเข้มข้นของเม็ดเลือดแดงต่ำและมีการไหลเวียนเลือดบกพร่อง (poor tissue perfusion) เป็นต้น การตรวจวินิจฉัยก๊าซในเลือดแดง (arterial blood gas analysis) เป็นการตรวจมาตรฐานในการวินิจฉัยภาวะออกซิเจนในเลือดต่ำ แต่มีข้อจำกัดบางประการ เช่น ต้องเจาะเลือดจากหลอดเลือดแดง ค่าใช้จ่ายสูงและต้องรอผลการตรวจ จึงมีการคิดเครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากชีพจรขึ้นและมีการพัฒนาต่อเนื่องในระยะ 40 ปีมานี้ โดยมีการใช้กันอย่างแพร่หลายจนมีการเรียกกันเล่น ๆ ว่าเสมือนเป็นสัญญาณชีพที่ห้า “fifth vital sign” (collagially known as the “fifth vital sign”)³

หลักการตรวจวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากชีพจร

เครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากชีพจร (pulse oximeter) วัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินในหลอดเลือดแดง (arterial oxygen saturation) โดยอาศัยหลักการดูดซับคลื่นแสงที่ต่างกันของฮีโมโกลบินที่จับกับออกซิเจน (oxyhemoglobin, HbO₂) และฮีโมโกลบินที่ไม่จับกับออกซิเจน (deoxyhemoglobin หรือ reduced hemoglobin, HbR) HbO₂ ดูดซับคลื่นแสงช่วงความยาวคลื่น 600-750 นาโนเมตร (คลื่นแสงสีแดง) ขณะที่ HbR ดูดซับคลื่นแสงความยาวคลื่น 850-1000 นาโนเมตร (คลื่นอินฟราเรด)³⁻⁷ ดังรูปที่ 1 เครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากชีพจรประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ตัวตรวจวัด (probe) ที่มีส่วนปล่อยและรับคลื่นแสงที่มีตัวปล่อยคลื่นแสง (light-emitting diode, LED) และตัวรับสัญญาณ (photodetector)

และส่วนมอดูเลเตอร์ที่แสดงค่าและรูปคลื่นต่าง ๆ ดังรูปที่ 2 เครื่องจะปล่อยคลื่นแสง 2 ช่วงคลื่น คือ คลื่นความยาว 660 และ 940 นาโนเมตร เมื่อคลื่นแสงเดินทางผ่านเนื้อเยื่อ ตัวรับสัญญาณจะแยกความแตกต่างของคลื่นแสงช่วงที่ไม่มีเลือดไหลผ่าน (non-pulsatile flow หรือ direct current light, DC) ซึ่งเป็นการดูดซับคลื่นแสงของเนื้อเยื่อ (กระดูก กล้ามเนื้อ เนื้อเยื่ออ่อน) และเลือดในหลอดเลือดดำและแดงกับช่วงที่มีการไหลผ่านของเลือดในหลอดเลือดแดงตามการบีบตัวของหัวใจ (pulsatile flow หรือ alternating current light, AC)⁷⁻⁸ ดังรูปที่ 3 นำค่าการดูดซับคลื่นแสงในช่วงต่าง ๆ มาคำนวณเป็นอัตราส่วน (R) ของการดูดซับคลื่นแสงแล้วคำนวณเป็นความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินในช่วงที่มีเลือดไหลผ่าน (pulse oxygen saturation, SpO₂) พบว่า ที่ค่า R เท่ากับ 0.4, 1 และ 3.4 ค่า SpO₂ จะเท่ากับร้อยละ 100, 85 และ 0 ตามลำดับ⁷ ดังรูปที่ 4

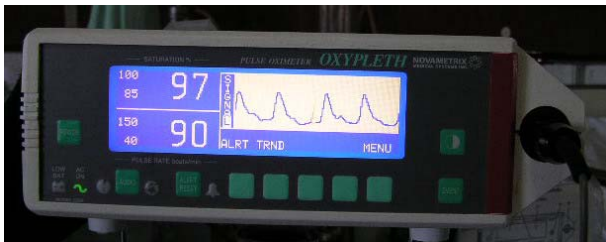
$$\text{อัตราส่วน (R)} = \frac{\text{AC660/DC660}}{\text{AC940/DC940}}$$



รูปที่ 1 คุณสมบัติการดูดซับคลื่นแสงของ oxyhemoglobin และ deoxyhemoglobin⁴

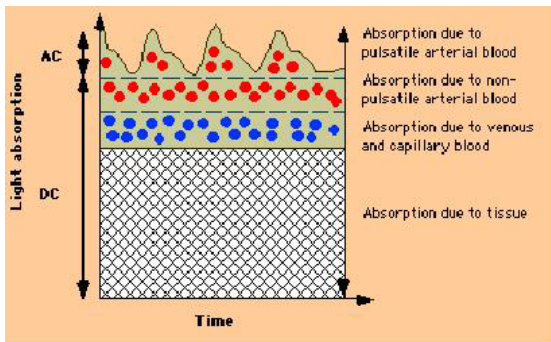


A



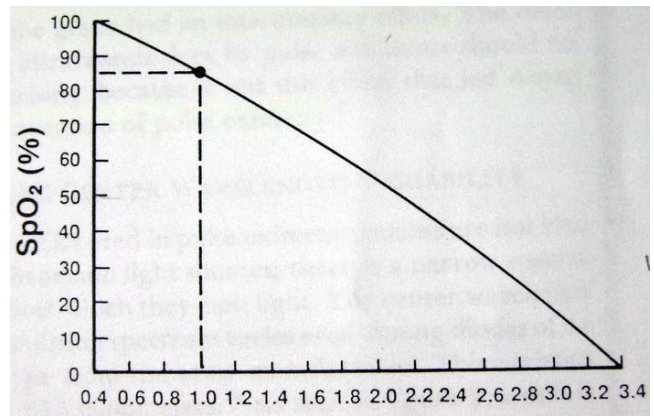
B

รูปที่ 2 ส่วนประกอบของเครื่องตรวจวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากซีฟร A. ตัวตรวจวัด (probe) B. มอนิเตอร์ที่แสดงค่าและรูปคลื่น



รูปที่ 3 การดูดซับคลื่นแสงในช่วงต่างๆ DC คือ สัญญาณคลื่นแสงช่วงที่ไม่มีเลือดไหลผ่านและ AC คือ สัญญาณคลื่นแสงช่วงที่มีการไหลผ่านของเลือดในหลอดเลือดแดงตามการบีบตัวของหัวใจ⁷

ในปัจจุบันนี้เครื่อง pulse oximeter ใช้ oximetry ร่วมกับ plethysmography จึงสามารถจับซีฟรและรูปร่างคลื่นการไหลเวียนโลหิต (plethysmography waveform) ซึ่งสามารถนำมาใช้แยกสัญญาณรบกวนและบอกความน่าเชื่อถือของข้อมูลได้ดังรูปที่ 5 รวมทั้งเครื่องสมัยใหม่สามารถลดสัญญาณรบกวน (false alarm) และมีความถูกต้องของค่าที่วัดได้มากกว่าเครื่องรุ่นเก่า⁹



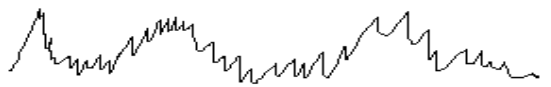
รูปที่ 4 กราฟแสดงอัตราส่วนการดูดซับคลื่นแสง (R) และค่าความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบิน (SpO_2)⁷ พบว่าที่ค่า R เท่ากับ 1 SpO_2 จะเท่ากับร้อยละ 85



A ปกติ



B การไหลเวียนเลือดลดลง



C มีสัญญาณรบกวน



D มีการเคลื่อนไหว

รูปที่ 5 รูปร่างคลื่นการไหลเวียนโลหิต (plethysmography waveform) จากเครื่อง pulse oximeter⁵⁻⁶

ค่าความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินจากการวัดโดยซีฟร (SpO_2) ของเครื่อง pulse oximeter มีข้อจำกัดเนื่องจากใช้คลื่นแสงความยาวคลื่นเพียง 2 ช่วง ดังนั้นค่าที่วัดได้จะเป็นร้อยละของ oxyhemoglobin (HbO_2) ต่อผลรวมของ oxyhemoglobin และ reduced hemoglobin (HbR) โดยไม่นำฮีโมโกลบินชนิดอื่น

ที่ไม่สามารถนำออกซิเจนมาคำนวณด้วย อาจเรียกว่า functional hemoglobin saturation^{4, 7-8}

$$SpO_2 \text{ (functional hemoglobin saturation)} = \frac{HbO_2}{HbO_2 + HbR} \times 100$$

ในขณะที่เครื่อง co-oximeter ซึ่งเป็นการตรวจมาตรฐานในการวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดง ใช้ความยาวคลื่นแสง 4 ช่วง ในการคำนวณร้อยละของ oxyhemoglobin (HbO₂) เทียบกับฮีโมโกลบินที่สำคัญ 4 ชนิดในเลือด คือ oxyhemoglobin (HbO₂), reduced hemoglobin (HbR), carboxyhemoglobin (HbCO) และ methemoglobin (METHb) ค่าที่ได้เรียก arterial oxygen saturation (SaO₂) หรือ fractional hemoglobin saturation^{4, 7-8}

$$SaO_2 \text{ (fractional hemoglobin saturation)} = \frac{HbO_2}{HbO_2 + HbR + HbCO + METHb} \times 100$$

ค่า SpO₂ ที่วัดได้จาก pulse oximeter ของแต่ละบริษัทที่ผลิตออกจำหน่ายจะต้องเปรียบเทียบความถูกต้องกับค่า SaO₂ จาก co-oximeter ให้ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันน้อยกว่าร้อยละ 1±2 (mean±SD) เมื่อค่า SaO₂ มากกว่าร้อยละ 90^{6, 10} หรือมีความคลาดเคลื่อนได้ร้อยละ 2 เมื่อ SpO₂ ที่วัดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 70-100¹¹⁻¹² อย่างไรก็ตามค่า SpO₂ จะมีความถูกต้องน้อยกว่า SaO₂ น้อยกว่าร้อยละ 80^{3, 6, 8} จากการศึกษาในผู้ป่วยหนักที่เข้ารับการรักษาในหออภิบาล (ICU) พบความแตกต่างระหว่าง SpO₂ และ SaO₂ มีค่อนข้างมากอยู่ที่ร้อยละ 12 ถึง 18 และ SpO₂ มีแนวโน้มที่จะมีค่าต่ำลงมากกว่าเมื่อ SaO₂ น้อยกว่าร้อยละ 80⁶

ตัวตรวจวัด (probe) ของ pulse oximeter ส่วนใหญ่จะใช้หนังที่นิ้วหรือตี่หู ปัจจุบันมีการพัฒนาใช้เทคนิค light reflectance ซึ่งตัวรับสัญญาณคลื่นแสงจะอยู่ด้านเดียวกับตัวปล่อยคลื่นแสง จึงไม่ต้องหนีบระหว่างเนื้อเยื่อ โดยสามารถวางบนผิวหนังบริเวณหน้าอก หน้าผากและสามารถใช้ในเด็กแรกคลอดได้ แต่มีข้อจำกัดในกรณีที่ผู้ป่วยมีการเคลื่อนไหวมากหรือมีภาวะเนื้อเยื่ออ่อนและผิวหนังบวมน้ำมาก⁸

ปัจจัยที่มีผลต่อความเที่ยงตรงของ pulse oximetry

มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อความเที่ยงตรงของค่า SpO₂ ที่วัดจาก pulse oximetry ดังตารางที่ 1 ดังนั้นแพทย์และพยาบาลต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและนำไปใช้กับผู้ป่วยอย่างเหมาะสม

1. ปัจจัยทางเทคนิค

1.1 ตัวตรวจวัดกับการสัมผัสจุดวัด เช่น ในเด็กหรือผู้ป่วยที่เคลื่อนไหวมากทำให้ตัวตรวจวัดเคลื่อนที่หรือกรณีนิ้วใหญ่เกินไปทำให้หลอดเลือดถูกกดมาก ค่าที่วัดได้จะคลาดเคลื่อนไป

1.2 การเคลื่อนไหว การสั่น เช่น ผู้ป่วยสั่น ชัก ระหว่างเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในรถหรือเฮลิคอปเตอร์ ทำให้สัญญาณที่วัดได้ไม่ชัด ค่าไม่ถูกต้อง เป็นสาเหตุของการอ่านค่าผิดพลาดที่พบบ่อย ปัจจุบันมีการพัฒนา pulse oximeter ที่ลดสัญญาณรบกวนจากการสั่นไหวลง ทำให้ค่าที่วัดมีความเที่ยงตรงมากขึ้น¹³⁻¹⁴

1.3 เครื่องของแต่ละบริษัทผู้ผลิตมีการกำจัดสัญญาณรบกวนและการวิเคราะห์สัญญาณไม่เหมือนกัน ค่าที่ได้อาจแตกต่างกัน¹⁶ จึงควรศึกษาให้ถี่ก่อนใช้และเลือกซื้อให้เหมาะสมกับการดูแลผู้ป่วยในสถานพยาบาลต่างๆ กัน

1.4 แสงจากภายนอก เช่น แสง fluorescent, daylight, xenon และอินฟราเรด ทำให้ค่าที่วัดได้ต่ำกว่าความจริง⁸ ควรป้องกันโดยการปกปิดตัวตรวจวัดจากแสงดังกล่าว เช่น ไฟในห้องผ่าตัด อย่างไรก็ตามพบว่าปัจจัยนี้มีผลน้อยต่อเครื่อง pulse oximeter ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน¹⁷

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของการอ่านค่า SpO₂ จาก pulse oximetry^{3, 15}

| Poor signal detection | |
|----------------------------------------|---------------------------------|
| Probe malposition | Hypotension |
| Hypothermia | Motion |
| Vasoconstriction | |
| Falsely lowered SpO ₂ | Falsely raised SpO ₂ |
| Nail polish | Elevated carboxyhemoglobin |
| Very dark skin | Elevated methemoglobin |
| Ambient light | |
| Methylene blue | |
| Indigo carmine | |
| Indocyanine green | |
| Severe anemia (hematocrit <10%) | |
| Lipid infusion or elevated serum lipid | |
| Venous pulsation at involved area | |

1.5 ผลของคลื่นแม่เหล็ก ทำให้เกิดการไหม้ระดับ 2 และ 3 ที่บริเวณตัวตรวจวัดในระหว่างที่ผู้ป่วยกำลังทำการตรวจคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Resonance Imaging, MRI) และพบว่า pulse oximetry ถูกรบกวนจากคลื่นโทรศัพท์มือถือ และเครื่องจี้ (electrocautery) ได้¹⁸

1.6 ผู้ใช้ขาดความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่อง pulse oximeter มีการศึกษาพบร้อยละ 97 ของแพทย์และพยาบาล ไม่ทราบหลักการการทำงานของ pulse oximetry¹⁹ และพบว่าร้อยละ 30 ของแพทย์และร้อยละ 93 ของพยาบาลเข้าใจว่า pulse oximetry ใช้สำหรับวัดระดับ PaO₂ ในขณะที่พยาบาลจำนวนน้อยกว่าร้อยละ 50 สามารถบอกได้ว่าการเคลื่อนไหวทำให้การวัดมีความผิดพลาด²⁰

2. ปัจจัยจากผู้ป่วย

2.1 ความผิดปกติของฮีโมโกลบินยกเว้น fetal hemoglobin ซึ่งไม่มีผลต่อการอ่านค่า SpO₂²¹

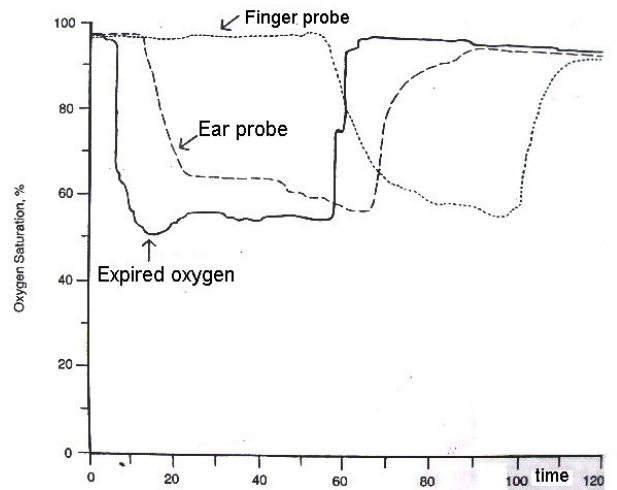
- Carboxyhemoglobin สามารถดูดซึมแสงความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร ได้เช่นเดียวกับ oxyhemoglobin เครื่องจะรายงาน SpO₂ สูง ฉะนั้นเมื่อสงสัยภาวะ carboxyhemoglobinemia ให้ส่งตรวจก๊าซในหลอดเลือดแดงแทน^{3-4, 6, 15}

- Methemoglobinemia สามารถดูดซึมแสงได้ดี ทั้งสองช่วงความยาวคลื่น 660 และ 940 นาโนเมตร เครื่องรับรู้ว่ามี HbO₂ และ HbR พอ ๆ กัน ดังนั้นค่า R จะใกล้เคียง 1 จึงทำให้ค่า SpO₂ มีแนวโน้มออกมาประมาณร้อยละ 85^{4,7} (ดังรูปที่ 4) จึงทำให้อ่านค่า SpO₂ ต่ำ (falsely low SpO₂) หากตรวจวัด SaO₂ ได้มากกว่าร้อยละ 85 แต่หากตรวจวัด SaO₂ ได้น้อยกว่าร้อยละ 85 จะทำให้ SpO₂ อ่านค่าได้สูงกว่า (falsely high SpO₂)^{4,7}

2.2 ภาวะการไหลเวียนโลหิตบกพร่อง เป็นสาเหตุของการอ่านค่าผิดพลาดที่พบบ่อยที่สุด^{8, 15} เช่น ภาวะช็อค การได้รับ vasopressor ขนาดสูงหรืออุณหภูมิร่างกายต่ำ²² จะทำให้เครื่อง pulse oximeter รับสัญญาณได้น้อยลง จึงอ่านค่าได้ไม่ถูกต้อง ดังนั้นหากไม่เห็นรูปร่างคลื่นการไหลเวียนที่ชัดเจน ไม่ควรเชื่อค่าที่วัดได้ พบว่าการวัด pulse oximetry ที่ตั้งหุจะมีผลผิดพลาดน้อยกว่าการวัดที่ปลายนิ้ว²³ Palve และคณะ²⁴ พบว่าระดับ cardiac index ที่น้อยกว่า 2.4 L/min/m² และ systemic vascular resistance ที่มากกว่า 2,930 dynes second/cm⁵/m² จะเห็นรูปร่างคลื่นการไหลเวียนไม่ชัดเจนและทำให้ค่า SpO₂ ที่อ่านได้ไม่น่าเชื่อถือ

2.3 ตำแหน่งที่วัด pulse oximetry มีตัวตรวจวัดที่สามารถวัดได้หลายตำแหน่ง เช่น นิ้วมือ ตึงหู หน้าผาก สันเท้า ในผู้ใหญ่ที่นิยมคือ นิ้วมือและตึงหู พบว่าในผู้ป่วยที่มีภาวะขาด

ออกซิเจนการวัดที่ตำแหน่งตึงหูมีความไวในการรายงานผลมากกว่าตำแหน่งปลายนิ้ว²⁵ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 กราฟรายงานผลระดับ SpO₂ ที่วัดจากตำแหน่งตึงหู และนิ้วมือในผู้ป่วยที่ระดับออกซิเจนต่ำ พบว่าที่ตำแหน่งตึงหูรายงานผลหลังระดับออกซิเจนลดลง 10 วินาที ขณะที่ตำแหน่งนิ้วมือรายงานผลที่ 50 วินาที^{4, 25}

2.4 สารดูดแสงในเลือด

- สารสีที่ฉีดเข้าหลอดเลือด เช่น methylene blue, indocyanide green, fluorescein, indigo carmine และ isosulfan blue ทำให้อ่านค่า SpO₂ ได้ต่ำ มีรายงานว่าต่ำถึงร้อยละ 65 แต่ผลของสารสีนี้จะอยู่ประมาณ 1-2 นาทีแล้วหายไป เมื่อสารถูกขับออกจากร่างกาย²⁶⁻²⁸

- บิลิรูบิน สามารถดูดซับคลื่นแสงช่วง 450 นาโนเมตรได้ จากการศึกษพบว่าระดับบิลิรูบินที่สูงถึง 44 มก/ดล. ไม่มีผลต่อค่า SpO₂ แต่ค่า SaO₂ ที่วัดจาก co-oximeter มีค่าต่ำลง²⁹

2.5 สีผิว ตามทฤษฎีไม่น่ามีผลต่อการวัด SpO₂ เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการไหลเวียนโลหิต แต่มีการศึกษาพบว่าผู้ป่วยผิวคล้ำมีความแตกต่างระหว่างค่า SpO₂ และ SaO₂ ร้อยละ 0.5 เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ป่วยผิวขาว³⁰ ซึ่งค่าดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญทางคลินิก และพบวาค้นคว้า African-American มีอุบัติการณ์ของการจับสัญญาณผิดพลาดเพิ่มขึ้นและอ่านค่าได้สูงขึ้นมากกว่าร้อยละ 4 อันเป็นผลจาก melanin pigment¹⁸

2.6 ยาทาเล็บสีต่างๆ มีผลต่อค่า SpO₂ ต่างกันไป ส่วนใหญ่ทำให้อ่านค่าได้ต่ำลง การศึกษาในผู้ป่วยจำนวนน้อย พบว่ายาทาเล็บสีดำ เขียว น้ำเงิน (dark coloured nail polish) ทำให้

อ่านค่า SpO₂ ได้น้อยลงร้อยละ 3, 5 และ 6 ตามลำดับ ในขณะที่ยาทาเล็บสีแดงไม่มีผลต่อการวัดค่า SpO₂²⁷ อย่างไรก็ตาม ยาทาเล็บสีต่างๆ จะมีผลน้อยต่อเครื่อง pulse oximeter รุ่นใหม่ๆ³¹

2.7 ซีด อาจมีผลทำให้อ่านค่า SpO₂ ต่ำลง มีการศึกษาในสุนัขพบว่าระดับฮีมาโตคริตินน้อยกว่าร้อยละ 10 ทำให้อ่านค่า SpO₂ ต่ำลง³² แต่รายงานในผู้ป่วยซีดจากการเสียเลือดในทางเดินอาหารหรืออุบัติเหตุที่มีระดับฮีมาโตคริตินน้อยกว่าร้อยละ 20 พบว่ามีผลต่อค่า SpO₂ น้อยมาก³³

2.8 Venous pulsation ผู้ป่วยที่มีการไหลเวียนโลหิตผ่านหลอดเลือดดำมากขึ้น เช่น ภาวะลิ้นหัวใจไตรคัสปิดรั่วรุนแรง (severe tricuspid regurgitation) ทำให้อ่านค่า SpO₂ ได้ค่าต่ำลง³⁴⁻³⁵

2.9 ผลของไขมัน ผู้ป่วยที่ได้สารไขมันเข้าเส้นเลือดหรือมี chylomicron ในเลือดสูงจะรบกวนการดูดซับคลื่นแสง ทำให้อ่านค่า SpO₂ ที่อ่านได้ต่ำกว่าความจริง³

Wouters และคณะ³⁶ ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของค่า SpO₂ จาก pulse oximetry ในผู้ป่วยระหว่างและหลังการผ่าตัด จำนวน 1,483 ราย พบว่าปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าที่ได้จาก pulse oximetry ขาดความเที่ยงตรง คือ ระดับอุณหภูมิร่างกายส่วนปลาย ความหนาของนิ้วมือ ระดับฮีโมโกลบินและฮีฟิว ส่วนระดับความดันโลหิต อายุ เพศ อุณหภูมิส่วนกลางของร่างกาย ระดับบิลิรูบิน การได้รับ vasopressor ปริมาณเลือดที่สูญเสียระหว่างผ่าตัด ชนิดของการผ่าตัดและระดับ carboxyhemoglobin/methemoglobin ไม่มีผลต่อค่า SpO₂ ที่ตรวจวัด

ข้อบ่งชี้และข้อควรระวังในการนำ pulse oximetry มาใช้ทางคลินิก

1. ประเมินภาวะออกซิเจนในเลือดต่ำ (hypoxemia)

สามารถใช้ประเมินแทน SaO₂ ในการบอกถึง PaO₂ ได้ในกรณีที่ oxygen dissociation curve ปกติ คือ

SaO₂ ร้อยละ 94 ~ PaO₂ 80 มม.ปรอท

SaO₂ ร้อยละ 90 ~ PaO₂ 60 มม.ปรอท (minimum

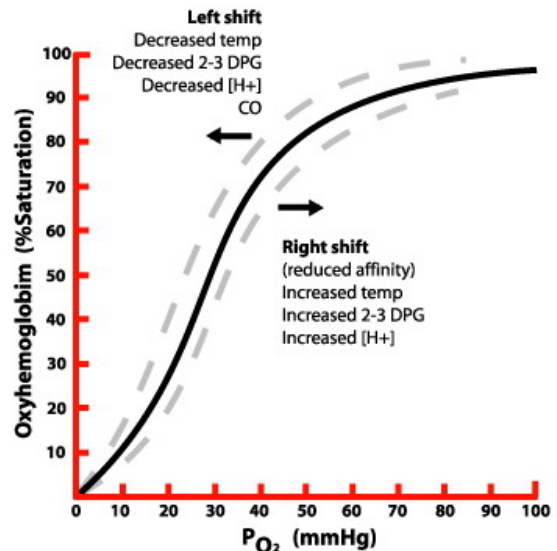
SaO₂ หากค่าต่ำกว่านี้ PaO₂ จะต่ำลงมาก) (รูปที่ 7)

SaO₂ ร้อยละ 75 ~ PaO₂ 40 มม.ปรอท (ค่าปกติของออกซิเจนในหลอดเลือดดำในขณะหายใจปกติ)

SaO₂ ร้อยละ 50 ~ PaO₂ 27 มม.ปรอท (เป็นจุดที่ร่างกายเกิดการสันดาปแบบไม่ใช้ออกซิเจน)

ฉะนั้นหาก SpO₂ น้อยกว่าร้อยละ 90 ถือว่าออกซิเจนในเลือดแดงต่ำมาก เนื่องจากอยู่ในช่วงขาลงของ oxygen dissociation curve ดังรูปที่ 7 โดยทั่วไปจึงถือว่าระดับ SpO₂ ที่น้อยกว่าร้อยละ 90 ร่างกายจะมีภาวะขาดออกซิเจน (hypoxia) แต่จากการศึกษาในผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในหออภิบาลพบว่า ค่า SpO₂ ร้อยละ 94

จะสัมพันธ์กับ SaO₂ ร้อยละ 90 โดยมี sensitivity ร้อยละ 86, specificity ร้อยละ 82, positive predictive value ร้อยละ 18 และ negative predictive value ร้อยละ 99¹⁰ ดังนั้นในผู้ป่วยหนักอาจต้องใช้ SpO₂ ที่ร้อยละ 94 แทนร้อยละ 90 เพื่อวินิจฉัยภาวะขาดออกซิเจนได้เร็วขึ้น



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง SaO₂ และ PaO₂ (oxygen dissociation curve)^{4, 7} มีลักษณะเหมือนตัว S ความชันสูงในช่วงกลางและน้อยจนเกือบคงที่ในช่วงปลาย โดยเฉพาะที่ระดับ PaO₂ สูง ๆ

Pulse oximetry สามารถใช้ติดตามในกรณีใช้เครื่องช่วยหายใจ ช่วยในการปรับลดระดับออกซิเจน ช่วยในการติดตามระดับออกซิเจนขณะดมยาสลบหรือระหว่างขยับผู้ป่วย ประเมินภาวะออกซิเจนในเลือดต่ำขณะนอน เป็นต้น จากการศึกษาใช้ pulse oximetry กับผู้ป่วยในห้องผ่าตัดและหลังการผ่าตัด 20,802 ราย พบว่าให้ค่าถูกต้องร้อยละ 97.5³⁷ อย่างไรก็ตามจนถึงปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลหรือการศึกษาใดที่แสดงให้เห็นว่าการติดตามระดับ SpO₂ ด้วย pulse oximetry อย่างต่อเนื่อง สามารถลดอัตราการตายหรืออัตราการพิการในผู้ป่วยกลุ่มต่างๆ ได้ เช่น ผู้ป่วยหนักที่เข้ารับการรักษาในหออภิบาล ผู้ป่วยที่อยู่ระหว่างการผ่าตัดและภายหลังการผ่าตัด ผู้ป่วยที่ห้องฉุกเฉิน

อย่างไรก็ตาม SpO₂ ไม่สามารถประเมินภาวะออกซิเจนในเลือดต่ำได้รวดเร็วและไม่สามารถใช้แทน PaO₂ ได้ทุกกรณี โดยเฉพาะช่วง PaO₂ ที่ปกติหรือสูง จากกราฟ oxygen dissociation curve ช่วง PaO₂ มากกว่า 80 มม.ปรอท กราฟความชันเกือบเป็นเส้นตรงมีการเปลี่ยนแปลงของ SaO₂ น้อย⁴ ตัวอย่างเช่น ผู้ป่วย

ปอดอีกเสบได้รับออกซิเจนมีการเปลี่ยนแปลงค่า PaO₂ จาก 140 เป็น 65 มม.ปรอท เมื่อวัด SpO₂ จะได้อ้อยละ 100 ตลอด จึงไม่สามารถบอกการเปลี่ยนแปลงได้จนกว่า PaO₂ น้อยกว่า 60 มม.ปรอท ค่า SpO₂ จึงลดลง อีกปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงคือ ความคลาดเคลื่อนของค่า SpO₂ โดยเฉลี่ย ± ร้อยละ 2 เมื่อค่า SaO₂ มากกว่า ร้อยละ 90 ดังนั้นหากอ่านค่า SpO₂ ได้อ้อยละ 96 หมายถึงผู้ป่วย อาจมีระดับ PaO₂ ระหว่าง 80 มม.ปรอท (SaO₂ ร้อยละ 94) ถึง 150 มม.ปรอท (SaO₂ ร้อยละ 98)

2. ใช้บอกอัตราและจังหวะของชีพจร

3. ใช้วัดระดับความดันเลือดซิสโตลิกได้โดยดูการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างคลื่นก่อนการวัดความดันเลือด จะเห็นรูปร่างคลื่นการไหลเวียนตามปกติ เมื่อเพิ่มความดันขึ้นเรื่อยๆ จนสูงกว่าค่าความดันซิสโตลิก คลื่นการไหลเวียนจะหายไป ค่าความดันซิสโตลิกคือค่าความดันเมื่อเห็นคลื่นการไหลเวียนกลับมาอีกครั้งหนึ่ง³

สรุป

การวัดความอิ่มตัวออกซิเจนของฮีโมโกลบินโดยชีพจร เพื่อประเมินระดับออกซิเจนในร่างกายมีความสะดวกรวดเร็ว และไม่ต้องเจาะเลือด จึงมีการใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น ในปัจจุบัน การเข้าใจหลักการทำงาน ข้อจำกัดของเครื่องมือ จะทำให้แปลผลได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ อันนำมาซึ่ง การดูแลรักษาผู้ป่วยที่ดีต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. Brown LH, Manring EA, Kornegay HB, Prasad NH. Can prehospital personnel detect hypoxemia without the aid of pulse oximeters? *Am J Emerg Med* 1996;14:43-4.
2. Mower WR, Sachs C, Nicklin EL, Safa P, Baraff LJ. A comparison of pulse oximetry and respiratory rate in patient screening. *Respir Med* 1996;90:593-9.
3. Curley FJ, Smyrnios NA. Routine monitoring of critically ill patients. In: Irwin RS, Rippe JM, editors. *Irwin and Rippe's Intensive Care Medicine*. 5th ed. New York: Lippincott Williams & Wilkins; 2003:226-46.
4. Tobin MJ. Respiratory monitoring. *JAMA* 1990;264:244-51.
5. Jubran A. Pulse oximetry. *Crit Care* 1999;3:R11-7.

6. Jubran A. Pulse oximetry. *Intensive Care Med* 2004;30:2017-20.
7. Tremper KK, Barker SJ. Pulse oximetry. *Anesthesiology* 1989;70:98-108.
8. Kallet RH, Tang JF. Bedside monitoring of pulmonary function. In: Fink MP, Abraham E, Vincent JL, Kochanek PM, editors. *Textbook of Critical Care*. 5th ed. Philadelphia: Elsevier Saunders; 2005:445-60.
9. Giuliano KK, Higgins TL. New-generation pulse oximetry in the care of critically ill patients. *Am J Crit Care* 2005;14:26-37.
10. Van de LA, Cracco C, Cerf C, Harf A, Duvaldestin P, Lemaire F, et al. Accuracy of pulse oximetry in the intensive care unit. *Intensive Care Med* 2001;27:1606-13.
11. Carter BG, Carlin JB, Tibballs J, Mead H, Hochmann M, Osborne A. Accuracy of two pulse oximeters at low arterial hemoglobin-oxygen saturation. *Crit Care Med* 1998;26:1128-33.
12. Fanconi S. Pulse oximetry for hypoxemia: a warning to users and manufacturers. *Intensive Care Med* 1989;15:540-2.
13. Barker SJ. "Motion-resistant" pulse oximetry: a comparison of new and old models. *Anesth Analg* 2002;95:967-72.
14. Gehring H, Hornberger C, Matz H, Konecny E, Schmucker P. The effects of motion artifact and low perfusion on the performance of a new generation of pulse oximeters in volunteers undergoing hypoxemia. *Respir Care* 2002;47:48-60.
15. Darovic GO. Monitoring oxygenation. In: Darovic GO, editor. *Hemodynamic monitoring invasive and noninvasive clinical application*. 3rd ed. New York: Saunders; 2002:263-81.
16. Choe H, Tashiro C, Fukumitsu K, Yagi M, Yoshiya I. Comparison of recorded values from six pulse oximeters. *Crit Care Med* 1989;17:678-81.
17. Fluck RR, Schroeder C, Frani G, Kropf B, Engbretson B. Does ambient light affect the accuracy of pulse oximetry. *Respir Care* 2003;48:677-80.

18. Severinghaus JW, Kelleher JF. Recent developments in pulse oximetry. *Anesthesiology* 1992;76:1018-38.
19. Stoneham MD, Saville GM, Wilson IH. Knowledge about pulse oximetry among medical and nursing staff. *Lancet* 1994;344:1339-42.
20. Howell M. Pulse oximetry: an audit of nursing and medical staff understanding. *Br J Nurs* 2002;11:191-7.
21. Mendelson Y. Pulse oximetry: theory and applications for noninvasive monitoring. *Clin Chem* 1992;38:1601-7.
22. MacLeod DB, Cortinez LI, Keifer JC, Cameron D, Wright DR, White WD, et al. The desaturation response time of finger pulse oximeters during mild hypothermia. *Anaesthesia* 2005;60:65-71.
23. Evans ML, Geddes LA. An assessment of blood vessel vasoactivity using photoplethysmography. *Med Instrum* 1988;22:29-32.
24. Palve H, Vuori A. Pulse oximetry during low cardiac output and hypothermia states immediately after open heart surgery. *Crit Care Med* 1989;17:66-9.
25. Severinghaus JW, Naifeh KH. Accuracy of response of six pulse oximeters to profound hypoxia. *Anesthesiology* 1987;67:551-8.
26. Kessler MR, Eide T, Humayun B, Poppers PJ. Spurious pulse oximeter desaturation with methylene blue injection. *Anesthesiology* 1986;65:435-6.
27. Ralston AC, Webb RK, Runciman WB. Potential errors in pulse oximetry. III: Effects of interferences, dyes, dyshaemoglobins and other pigments. *Anaesthesia* 1991;46:291-5.
28. Scheller MS, Unger RJ, Kelner MJ. Effects of intravenously administered dyes on pulse oximetry readings. *Anesthesiology* 1986;65:550-2.
29. Beall SN, Moorthy SS. Jaundice, oximetry, and spurious hemoglobin desaturation. *Anesth Analg* 1989;68:806-7.
30. Ries AL, Prewitt LM, Johnson JJ. Skin color and ear oximetry. *Chest* 1989;96:287-90.
31. Brand TM, Brand ME, Jay GD. Enamel nail polish does not interfere with pulse oximetry among normoxic volunteers. *J Clin Monit Comput* 2002;17:93-6.
32. Lee S, Tremper KK, Barker SJ. Effects of anemia on pulse oximetry and continuous mixed venous hemoglobin saturation monitoring in dogs. *Anesthesiology* 1991;75:118-22.
33. Jay GD, Hughes L, Renzi FP. Pulse oximetry is accurate in acute anemia from hemorrhage. *Ann Emerg Med* 1994; 24:32-5.
34. Broome IJ, Mills GH, Spiers P, Reilly CS. An evaluation of the effect of vasodilatation on oxygen saturations measured by pulse oximetry and venous blood gas analysis. *Anaesthesia* 1993;48:415-6.
35. Stewart KG, Rowbottom SJ. Inaccuracy of pulse oximetry in patients with severe tricuspid regurgitation. *Anaesthesia* 1991;46:668-70.
36. Wouters PF, Gehring H, Meyfroidt G, Ponz L, Gil-Rodriguez J, Hornberger C, et al. Accuracy of pulse oximeters: the European multi-center trial. *Anesth Analg* 2002;94(1 Suppl):S13-6.
37. Moller JT, Pedersen T, Rasmussen LS, Jensen PF, Pedersen BD, Ravlo O, et al. Randomized evaluation of pulse oximetry in 20,802 patients: I. Design, demography, pulse oximetry failure rate, and overall complication rate. *Anesthesiology* 1993;78:436-44.