

# การตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดง: ตอนที่ 1 : ข้อบกพร่องที่พบบ่อยและ การแปลผลเบื้องต้น

สุทัศน์ รุ่งเรืองหิรัญญา, พ.บ. (เกียรตินิยม)\*

## บทคัดย่อ

การตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดง (arterial blood gas analysis) นับว่าเป็นเครื่องมือสำคัญทางการแพทย์ที่ใช้บ่อยที่สุดอันหนึ่งในการประเมินระดับออกซิเจนในเลือด ภาวะการหายใจและสมดุลกรด-ด่างของผู้ป่วย แม้ว่าการตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดงจะมีการใช้อย่างแพร่หลาย แต่ก็ยังคงเป็นการตรวจทางห้องปฏิบัติการที่มีความซับซ้อนทั้งในแง่ของเทคนิคและการแปลผล บ่อยครั้งเกิดความผิดพลาดส่งผลให้ประโยชน์ที่จะได้รับทางคลินิกและความแม่นยำถูกต้อง ของการตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดง ลดลง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการตรวจวิเคราะห์ ก๊าซในเลือดแดง แพทย์ต้องมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับเทคนิคที่ต้องเริ่มตั้งแต่ การเจาะเลือด การเก็บส่งตัวอย่างเลือด รวมไปถึงการแปลผลอย่างถูกต้อง นอกจากนี้ รายละเอียดเกี่ยวกับการเลือกใช้หลอดชนิด ขนินของหลอดชนิด ขนิน และข้อจำกัดของการตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดงก็มีความสำคัญ ในผู้ป่วยบางราย การใช้เลือดมาตรวจวิเคราะห์แทนเลือดแดงก็สามารถให้ข้อมูลที่เพียงพอ สำหรับการแปลผลนั้นจะต้องกระทำ อย่างเป็นขั้นตอน ทั้งนี้เพื่อให้ได้ ข้อมูลที่ถูกต้องและเกิดประโยชน์สูงสุดในการดูแลผู้ป่วย

## Abstract

### ARTERIAL BLOOD GAS ANALYSIS:

#### Part 1: Pitfalls and interpretation

Suthat Rungruanghiranya, MD (Hon)\*

\*Department of Internal Medicine, Faculty of Medicine, Srinakharinwirot University

The arterial blood gas (ABG) analysis is one of the most commonly used clinical test in assessing a patient's oxygenation, ventilation, as well as acid-base status. However, ABG analysis appears to be a complicated and confusing matter to many physicians. Very often, this procedure was performed incorrectly, compromising its clinical

\* ภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

usefulness and accuracy. To maximize its yield, one must understand its technical details, including the techniques, sample collection, handling, and common pitfalls. Type of syringes can also influence the ABG measurement. Knowing the limitation of the ABG analysis and its alternatives is also important. The clinical usefulness of venous blood gas was also discussed. Most importantly, to correctly interpret the ABG analysis, a practical, stepwise approach is required. That stepwise approach should begin with the assessment of oxygenation, ventilation, and acid-base disturbances. Once one utilizes this test with care and knowledge, I believe it will soon become a simple and straightforward test for everyone.

## บทนำ

การประเมินระดับออกซิเจนในเลือดและความสมดุลกรด-ด่างในเลือดโดยอาศัยเพียง การตรวจร่างกายร่วมกับอาการและอาการแสดงทางคลินิกมีข้อจำกัดมากและอาจผิดพลาด โดยเฉพาะผู้ป่วยในหอผู้ป่วยวิกฤติ การตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดงจึงเป็นหัตถการที่มีความสำคัญเพราะทำได้ง่าย รวดเร็ว และเชื่อถือได้ อย่างไรก็ตามแม้ว่า การตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดงจะเป็นหัตถการที่ทำกันอย่างแพร่หลาย แต่บุคลากรที่มีความรู้เกี่ยวกับเทคนิคในการทำ ข้อจำกัด และการแปลผลของการตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดงอย่างแท้จริงนั้น ก็ยังมีไม่มาก<sup>1</sup>

บทความชุดนี้ได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ตอน โดยตอนแรกจะกล่าวถึงความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ การตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดง ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบ่อยๆ รวมไปถึงการแปลผลขั้นต้น ส่วนตอนที่ 2 ในฉบับต่อไป จะเน้นรายละเอียดเฉพาะการแปลผลสมดุลกรด-ด่างในเลือด

## ข้อบกพร่องในการเก็บและการส่งตรวจตัวอย่างเลือด (Sample collection & handling)

ข้อบกพร่องอันหนึ่งที่ผู้เขียนพบเห็นอยู่บ่อยๆ เมื่อมีการเจาะตรวจก๊าซในเลือดแดง ก็คือ แพทย์หรือนักศึกษาแพทย์หลายคนมักจะดึงแกนในของหลอดฉีดยาระหว่างทำการเจาะเพื่อความรวดเร็วโดยหาวิธีว่าการกระทำเช่นนั้นอาจทำให้ฟองอากาศเข้าไปปะปนกับเลือดที่จะใช้ตรวจและทำให้ผลการตรวจคลาดเคลื่อนได้ โดยก๊าซออกซิเจน ( $O_2$ ) จากฟองอากาศ ซึ่งมีปริมาณออกซิเจนที่สูงกว่า สามารถซึมผ่านเข้าสู่ตัวอย่างเลือดในหลอดฉีดยา (ซึ่งมีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า) ได้ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ตรวจพบมีค่าสูงขึ้นกว่าความเป็นจริง ในทางกลับกัน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) ก็จะซึมผ่านจากเลือดเข้าสู่ฟองอากาศภายในหลอดฉีดยา (ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่า) ทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่

## ตรวจพบมีค่าต่ำลง<sup>2</sup>

อย่างที่ทราบกันดีว่าปัจจุบันมีหลอดฉีดยา อยู่ 2 ชนิดที่ใช้ทำการตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดงกัน ได้แก่ หลอดฉีดยาที่ทำจากแก้วและที่ทำจากพลาสติก หลอดฉีดยาแต่ละชนิด ก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน สำหรับหลอดฉีดยาพลาสติกซึ่งเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย ในปัจจุบัน มีความสะดวกและหาได้ง่าย แต่มีแรงเสียดทานระหว่างหลอดฉีดยาและแกนในของหลอดฉีดยาค่อนข้างสูง ทำให้บางครั้ง ผู้เจาะจำเป็นต้องดึงแกนในของหลอดฉีดยาเพื่อช่วยดูดเลือดเข้าหลอดฉีดยาทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นได้ นอกจากนี้การไล่ฟองอากาศออกจากหลอดฉีดยาชนิดนี้ทำได้ยากกว่า และที่สำคัญที่สุด เนื้อพลาสติกก็มีคุณสมบัติยอมให้ก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านเข้าออกจากหลอดฉีดยาสู่บรรยากาศภายนอกได้<sup>3</sup> ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อาจซึมผ่านจากตัวอย่างเลือดในหลอดฉีดยาเข้าสู่บรรยากาศภายนอกได้ ค่าความดันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแดง ( $PaCO_2$ ) ที่วัดได้ก็จะมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ในขณะที่ออกซิเจน อาจซึมผ่านจากบรรยากาศภายนอกเข้าสู่ตัวอย่างเลือดหรือ จากตัวอย่างเลือดเข้าสู่บรรยากาศภายนอกได้ทั้งสองทิศทาง ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนในเลือดของผู้ป่วยขณะนั้น

สำหรับหลอดฉีดยาแก้วนั้นมีคุณสมบัติตรงกันข้ามกับหลอดฉีดยาพลาสติกโดยสิ้นเชิง กล่าวคือนอกจากจะลดการเกิดฟองอากาศได้ดีแล้วยังสามารถป้องกันการผ่านเข้าออกของก๊าซระหว่างเลือดและบรรยากาศภายนอกได้อีกด้วย<sup>3</sup> ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้เขียนแนะนำให้ใช้ หลอดฉีดยาแก้วในการเจาะตรวจก๊าซในเลือดแดง หากเป็นไปได้

## Temperature Correction จำเป็นหรือไม่?

ก่อนที่จะเราจะตอบคำถามดังกล่าว ผู้อ่านต้องเข้าใจเสียก่อนว่า เมื่อเราใส่ตัวอย่างเลือดของผู้ป่วยเข้าไปในเครื่องตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดง เลือดจะถูกปรับเปลี่ยนและ วิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (หรือ 98.6 องศาฟาเรนไฮต์)

โดยอัตโนมัติ<sup>4,5</sup> จากนั้น เครื่องจึงรายงานผลออกมาให้เราทราบเป็นค่าของก๊าซต่างๆ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจจะตรงหรือไม่ตรงกับอุณหภูมิร่างกายของผู้ป่วยขณะนั้น เมื่ออุณหภูมิของเลือดสูงขึ้น สัมพรรคภาพ (affinity) ของฮีโมโกลบินที่มีต่อออกซิเจนจะลดลง ทำให้ได้ค่าความดันของก๊าซออกซิเจนในเลือดแดง ( $\text{PaO}_2$ ) สูงขึ้น นอกจากนี้  $\text{PaCO}_2$  ก็พลอยสูงขึ้นไปด้วย ในขณะที่ pH จะลดลงเล็กน้อย แต่ว่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ ไม่ถือเป็นการเปลี่ยนแปลงในภาวะสมดุลกรด-ด่างอย่างแท้จริงและไม่น่าจะมีผลต่อร่างกายอย่างชัดเจนทางคลินิก<sup>3,4,5</sup> อีกทั้งยังไม่มีใครทราบค่า ปกติของก๊าซในเลือดแดงที่อุณหภูมิอื่น นอกเหนือจากที่ 37 องศาเซลเซียส จึงไม่มีความจำเป็น จะต้องคำนวณปรับเปลี่ยนอุณหภูมิให้ตรงกันกับอุณหภูมิร่างกายของผู้ป่วยแต่อย่างใด<sup>3,4,5</sup>

### ข้อบกพร่องในการใช้ Heparin

ผู้เจาะควรใช้ heparin ในปริมาณน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ หรืออาจเลี่ยงไปใช้ solid heparin แทน การใส่ heparin มากเกินไปอาจทำให้ค่า  $\text{PaCO}_2$  ของเลือดที่ตรวจลดต่ำกว่าความเป็นจริง เนื่องจาก heparin ที่ใช้มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ต่ำมากเมื่อเทียบกับ ตัวอย่างเลือด ของผู้ป่วยในหลอดนิตยา จึงสามารถเจือจาง  $\text{PaCO}_2$  ในเลือดได้ ในขณะที่การใส่ heparin ปริมาณที่น้อยเกินไปอาจทำให้โปรตีนในเลือดจับตัวกันเป็นก้อน (clot) หรือไปเกาะที่ขั้วไฟฟ้า (electrode) ในเครื่องตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดง ทำให้การวัดผลผิดพลาดหรือเครื่องชำรุดได้ นอกจากนี้บางคนยังเข้าใจผิดว่า heparin อาจทำให้ค่า pH ของเลือดต่ำลงกว่าความเป็นจริง ซึ่งจากการศึกษาก็ช่วยยืนยันได้ว่า heparin ไม่มีผลใดๆ ต่อ pH ของตัวอย่างเลือด<sup>6,7</sup>

### จำเป็นต้องใช้ด่างเกิน (Base Excess) หรือไม่?

ด่างเกิน (base excess) หรือ ด่างขาด (base deficits) นั้นเป็นตัวแปรที่บ่งชี้เฉพาะ บ้างก็ทาง metabolic เท่านั้น โดยเครื่องตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดงจะสมมติให้ตัวอย่าง ของเลือดที่ใช้วัดมีค่า  $\text{PaCO}_2$  คงที่คืออยู่ที่ 40 มม.ปรอท จากนั้นเครื่องก็จะทำการตรวจวัด ปริมาณของกรดหรือด่างที่ต้องใช้ในการปรับแก้ pH ให้กลับมาเป็นปกติที่ 7.4 ปริมาณของ กรดหรือด่างที่ได้นั้นเรียกว่าด่างเกิน ดังนั้นด่างเกินและความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตในเลือด ( $[\text{HCO}_3^-]$ ) มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะ  $[\text{HCO}_3^-]$  ยังคงได้รับอิทธิพลการเปลี่ยนแปลงจาก  $\text{PaCO}_2$  ด้วย

ด่างเกินหรือด่างขาดนั้น นอกจากจะมีความซับซ้อนในการตรวจวัดและแปลผลแล้ว การใช้ประยุกต์ทางคลินิกก็ยังไม่ก่อประโยชน์อย่างชัดเจน นอกจากนี้ผู้รู้หลายท่านได้ทำการตรวจวัดค่าด่างเกินที่ได้จากตัวอย่างเลือด (whole blood sample) ในหลอดทดลอง (in vitro) พบว่ามีผลที่แตกต่างจากค่าที่วัดได้ในผู้ป่วยจริง (in vivo) อย่างมาก<sup>8,9</sup> ดังนั้นในปัจจุบัน จึงไม่น่าให้ใช้อีก

### ความเข้าใจผิดเกี่ยวกับการใช้ออกซิเจนขณะเจาะตรวจก๊าซในเลือดแดง

แพทย์ไม่ควรหยุดหรือลดการให้ออกซิเจนแก่ผู้ป่วย เพียงเพื่อที่จะเจาะตรวจก๊าซในเลือดแดงที่บรรยากาศห้อง (room air) เนื่องจากอาจทำให้เกิดภาวะพร่องออกซิเจน (hypoxemia) แบบเฉียบพลัน และภาวะการหายใจล้มเหลวได้<sup>10</sup> การหยุดการให้ออกซิเจน ในกรณีเช่นนี้ก็เปรียบเสมือนการหยุดยาต้านการเต้นผิดจังหวะของหัวใจ (antiarrhythmic drugs) ในผู้ป่วยที่มีภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะเพื่อทำการตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG) นั่นเอง ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งที่ไม่สมเหตุผลในเชิงจริยธรรม

การเจาะตรวจก๊าซในเลือดแดงเพื่อประเมินประสิทธิภาพของการรักษาในผู้ป่วย ที่กำลังได้รับออกซิเจน ควรทำหลังจากที่ให้ออกซิเจนไปแล้วอย่างน้อย 20-30 นาที โดยเฉพาะในผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (chronic obstructive pulmonary disease, COPD)

### การตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดงหรือเลือดดำ แบบใดดีกว่ากัน?

หลายปีที่ผ่านมาได้มีแพทย์หลายท่านหันไปทดลองใช้เลือดดำ (venous blood) เพื่อตรวจหา pH และ  $\text{PaCO}_2$  ในเลือดแทนการใช้เลือดแดง (arterial blood) โดยเฉพาะ ในผู้ป่วยที่ภาวะออกซิเจนในเลือดเป็นปกติ หรือไม่มีความจำเป็นที่จะต้องทราบภาวะออกซิเจนในเลือด Brandenberg และคณะ<sup>10</sup> ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของการใช้เลือดดำ เพื่อตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดเปรียบเทียบกับการใช้เลือดแดงในผู้ป่วยที่มาด้วย diabetic ketoacidosis (DKA) พบว่าค่าเฉลี่ยของ pH จากเลือดดำนั้นต่ำกว่าค่าเฉลี่ย pH ของเลือดแดง เพียง 0.03 หน่วยและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

นอกจากนี้ จากการทดสอบประสิทธิภาพของเลือดดำที่ได้จาก central venous catheters และ mixed venous blood จาก pulmonary artery catheter เปรียบเทียบกับเลือดแดง พบว่า เลือดดำมีค่า pH,  $\text{PCO}_2$  และ  $[\text{HCO}_3^-]$  ใกล้เคียงกับ

**ตารางที่ 1** ค่าปกติของตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดงและเลือดดำ เปรียบเทียบกันที่ระดับน้ำทะเล

|                                          | เลือดแดง (arterial) | เลือดดำ (venous) |
|------------------------------------------|---------------------|------------------|
| pH                                       | 7.35-7.45           | 7.32-7.42        |
| PCO <sub>2</sub> (มม.ปรอท)               | 35-45               | 41-51            |
| [HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] (mEq/L) | 21-28               | 22-29            |
| TCO <sub>2</sub> (mEq/L)                 | 22-29               | 23-30            |

เลือดแดง<sup>11,12,13</sup> (ตารางที่ 1) และสามารถชี้ แทนเลือดแดงได้ในผู้ป่วยที่มีภาวะการไหลเวียนของเลือดเป็นปกติ กล่าวคือไม่ได้อยู่ในภาวะช็อก หรือมีภาวะการไหลเวียนโลหิตล้มเหลวอย่างรุนแรง

สำหรับผู้ป่วยที่กำลังอยู่ในภาวะช็อกหรือกำลังได้รับการช่วยฟื้นคืนชีพ (cardiopulmonary resuscitation)<sup>13</sup> รวมไปถึงผู้ป่วยที่มีความผิดปกติของการไหลเวียนโลหิต สู่เนื้อเยื่อส่วนปลาย เช่น peripheral vascular diseases<sup>14</sup> หรือภาวะ hypothermia จะมีค่าความแตกต่างระหว่างเลือดแดงและเลือดดำสูงขึ้นกว่าปกติมาก ทำให้ค่าของการตรวจวิเคราะห์ ก๊าซในเลือดจากเลือดดำผิดพลาด ดังนั้นในผู้ป่วยเหล่านี้ ผู้เขียนจึงแนะนำให้ใช้เลือดแดงเท่านั้น ในการตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือด<sup>15</sup>

## ขั้นตอนในการแปลผลการตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดง

โดยทั่วไป ผลการตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดง จะประกอบไปด้วยตัวแปรหลายๆตัว เช่น pH, PaCO<sub>2</sub>, PaO<sub>2</sub> เป็นต้น ดังนั้นการแปลผลการตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดง จำเป็นที่จะต้องทำอย่างเป็นขั้นตอนเพื่อสามารถอ่านผลได้อย่างครบถ้วนและถูกต้อง

การแปลผลการตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดง ทำได้โดย

1. ประเมินระดับออกซิเจนในเลือด (oxygenation)
2. ประเมินภาวะการหายใจ (ventilation)
3. ประเมินสภาวะสมดุลกรด-ด่างในเลือด (acid-base balance)

## การประเมินระดับออกซิเจนในเลือด

ตัวแปรที่จะใช้บ่งถึงระดับออกซิเจนในเลือดประกอบด้วย PaO<sub>2</sub>, ความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง (SaO<sub>2</sub>), ความแตกต่างระหว่างแรงดันของออกซิเจน ในถุงลมปอดและในเลือด

(alveolar-arterial oxygen tension difference, D(A-a)O<sub>2</sub>) และสัดส่วนของก๊าซที่ไม่ได้รับการแลกเปลี่ยนในปอด (shunt fraction, Qs/Qt) แม้ในทางปฏิบัติจะถือว่า PaO<sub>2</sub> มีความสำคัญอย่างยิ่ง แต่ PaO<sub>2</sub> ก็มีได้ให้ข้อมูลที่ครบถ้วนสมบูรณ์ โดยเฉพาะในส่วนของภาวะการบ่งออกซิเจนระดับเนื้อเยื่อ (tissue oxygenation) เนื่องจากการบ่งออกซิเจนระดับเนื้อเยื่อจะต้องอาศัย cardiac output และปริมาณรวมของออกซิเจนในเลือดมารวมประเมินด้วย

ค่าปกติของ PaO<sub>2</sub> นั้นขึ้นอยู่กับภาวะของปอดของผู้ป่วยเป็นรายๆ ไป<sup>3</sup> แต่โดยทั่วไปถือว่า PaO<sub>2</sub> ที่มากกว่า 75-80 มม.ปรอทที่ระดับน้ำทะเล ซึ่งโดยประมาณจะตรงกับ SaO<sub>2</sub> ที่มากกว่า 95% เป็นเกณฑ์ที่น่าพอใจ นอกจากนี้ค่า PaO<sub>2</sub> ยังสามารถเปลี่ยนแปลงตามอายุของผู้ป่วยแต่ละราย<sup>5,16</sup> และความสูงจากระดับน้ำทะเลของพื้นที่ที่ทำการตรวจ<sup>17</sup>

ตัวแปรอีกตัวหนึ่งที่มีความสำคัญในการแปลผลการตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดง ก็คือความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง (SaO<sub>2</sub>) ค่า SaO<sub>2</sub> นั้นเป็นค่าที่มีได้เกิดจากวัดโดยตรงจากตัวอย่างเลือด แต่ได้จากการคำนวณโดยเครื่องตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดง เครื่องจะนำค่า PaO<sub>2</sub> ที่วัดได้จากตัวอย่างเลือดมาวางบน oxygen-hemoglobin dissociation curve เพื่อหาค่า SaO<sub>2</sub> ที่สอดคล้องกันแล้วรายงานผลออกมา

เมื่อเราดูแล้วผู้ป่วยที่มีภาวะพร่องออกซิเจน ตัวแปรที่อาจช่วยบ่งชี้ถึงสาเหตุของภาวะนี้ ได้เป็นอย่างดีก็คือ D(A-a)O<sub>2</sub> ซึ่งหมายถึงค่าความแตกต่างระหว่าง ความดันของออกซิเจนในถุงลมปอด (PAO<sub>2</sub>) และความดันของออกซิเจนในเลือดแดง (PaO<sub>2</sub>) หรือเขียนสรุปง่ายๆ ได้ว่า

$$D(A-a)O_2 = PAO_2 - PaO_2$$

ค่า PAO<sub>2</sub> นั้น คำนวณได้จากสมการก๊าซในถุงลมปอด (alveolar gas equation) ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$PAO_2 = PiO_2 - PaCO_2 / R$$

เมื่อ PiO<sub>2</sub> = ความดันของออกซิเจนในอากาศที่หายใจ

$$PAO_2 = FiO_2 \times [Pb - P_{water}]$$

เมื่อ FiO<sub>2</sub> = สัดส่วนปริมาณของออกซิเจนในอากาศที่หายใจ

Pb = ความดันบรรยากาศ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 760 มม.ปรอท

P water = ความดันน้ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 47 มม.ปรอท

ดังนั้น  $PAO_2 = FiO_2 \times (760 - 47)$

หรืออาจเขียนใหม่ได้เป็น  $PAO_2 = (FiO_2 \times 713) - PaCO_2 / R$

เมื่อ R = สัดส่วนระหว่างปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตได้ และปริมาตรของออกซิเจนที่ใช้ไป ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าคงที่เสมอ คือ 0.8

ดังนั้น  $D(A-a)O_2 = (FiO_2 \times 713) - PaCO_2 - PaO_2 \dots (1)$

โดยปกติค่า  $D(A-a)O_2$  จะมีค่าประมาณ 15-20 มม.ปรอท แต่ค่าดังกล่าวก็สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามอายุเช่นเดียวกับค่า  $PaO_2$  โดยค่าปกติของ  $D(A-a)O_2$  ในผู้ป่วยสูงอายุสามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้<sup>5</sup>

$D(A-a)O_2$  ปรับตามอายุ (age-corrected) =  $0.4 \times$  อายุเป็นจำนวนปี

โดยทั่วไป  $D(A-a)O_2$  จะเป็นปกติหากภาวะพร่องออกซิเจนของผู้ป่วยเกิดขึ้นจาก hypoventilation หรือภาวะออกซิเจนในบรรยากาศต่ำ (low ambient  $O_2$ ) แต่หากพบว่า  $D(A-a)O_2$  สูงกว่าปกติให้คิดถึงภาวะ V/Q mismatch หรือภาวะ shunt<sup>3</sup> ซึ่งอาจจะเป็นได้ทั้ง anatomic shunt (เช่น โรคหัวใจพิการแต่กำเนิด ดับแฉียง) หรือ shunt diseases (เช่น ปอดแฟบ acute respiratory distress syndrome, pulmonary edema) ก็ได้

ปัจจัยอื่นๆ ที่อาจมีผลต่อค่าของ  $D(A-a)O_2$  ได้แก่  $FiO_2$  เมื่อเราใช้  $FiO_2$  สูงๆ ก็จะทำให้ค่า  $D(A-a)O_2$  สูงขึ้นด้วย โดยในบางรายอาจสูงถึง 50-100 มม.ปรอท<sup>3</sup> ดังนั้นจะเห็นได้ว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่สามารถส่งผลกระทบต่อ  $D(A-a)O_2$  ได้ทำให้การใช้  $D(A-a)O_2$  ก่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อน ผู้เชี่ยวชาญหลายท่านจึงได้พยายามทดสอบหาตัวแปรอื่นๆ มาลองใช้และพบว่า สัดส่วนระหว่าง  $PaO_2$  และ  $PAO_2$  เป็นค่าคงที่เสมอ ณ สภาวะของปอดเดิม ไม่ว่า  $FiO_2$  จะเปลี่ยนไปในทิศทางใดก็ตาม ซึ่งอาจเขียนเป็นสมการง่ายๆ ได้ดังนี้

$$PaO_2 / PAO_2 = \text{ค่าคงที่}$$

ดังนั้น  $[PaO_2 / PAO_2]_{\text{ผู้ป่วย}} = [PaO_2 / PAO_2]_{\text{ปกติ}} \dots (2)$

ความสัมพันธ์ในสูตรนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการดูแลผู้ป่วยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจ ได้โดยสามารถบอกค่า  $PaO_2$  ที่ควรเป็นได้อย่างคร่าวๆ หลังจากการเพิ่มหรือลด  $FiO_2$  จากเครื่องช่วยหายใจ ตัวอย่างเช่น นาย ก ซึ่งกำลังได้รับ  $FiO_2$  ที่ 50% แต่การเจาะตรวจก๊าซในเลือดแดง พบว่า  $PaO_2 = 45$  มม.ปรอท และ  $PaCO_2 = 35$  มม.ปรอท หากเราเพิ่ม  $FiO_2$  เป็น 70% แล้ว  $PaO_2$  หลังจากนี้ก็ควรจะอยู่ประมาณ 65 มม.ปรอท

## การประเมินภาวะการหายใจ (Ventilation)

ตัวแปรหลักที่ใช้สำหรับประเมิน alveolar ventilation (VA) ก็คือ  $PaCO_2$  ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของความดันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในถุงลมปอด ดังนั้นปัจจัยที่สามารถส่งผลกระทบต่อค่าของ  $PaCO_2$  ได้แก่ อัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในร่างกาย ( $V_{CO_2}$ ) และ VA

โดยมีความสัมพันธ์กันดังสมการต่อไปนี้<sup>18,19</sup>

$$PaCO_2 = K (V_{CO_2} / VA) \dots (3)$$

โดย K คือค่าคงที่ = 0.863

อย่างที่เรทราบกันดีว่า VA มีค่าเท่ากับปริมาตรของก๊าซที่เข้าไปถึงถุงลมปอดในเวลา 1 นาที (minute ventilation,  $V_E$ ) และเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซ ดังนั้นจึงต้องหักลบด้วยปริมาตรของก๊าซ ที่ผ่านเข้าสู่บริเวณที่ไม่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซในปอด<sup>20</sup> หรือที่เรียกว่า dead space volume ( $V_d$ ) เราอาจเขียนเป็นสมการง่ายๆ ได้ว่า

$$V_A = V_E - V_d \dots (4)$$

หากเรานำสมการที่ 4 มาแทนค่าในสมการที่ 3 ก็จะเขียนใหม่ได้เป็น

$$PaCO_2 = \frac{K \times V_{CO_2}}{V_E [1 - V_d / V_t]} \dots (5)$$

โดย  $V_t$  = ปริมาตรของลมที่หายใจเข้าไปในปอดแต่ละครั้ง (tidal volume)

เราเรียกอัตราส่วนระหว่าง  $V_d$  และ  $V_t$  หรือ  $V_d / V_t$  ว่า dead space ventilation<sup>16,20</sup> ค่าของ  $PaCO_2$  จะเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูงของพื้นที่ที่ทำการตรวจวิเคราะห์ก๊าซ ในเลือดแดงในขณะนั้น โดยพบว่าเมื่อความสูงของพื้นที่ที่ทำการวิเคราะห์มากขึ้น ค่า  $PaCO_2$  ก็จะลดลง<sup>3,17</sup> โดยปกติแล้วที่ระดับน้ำทะเล  $PaCO_2$  จะมีค่าประมาณ 35-45 มม.ปรอท เมื่อใดก็ตามที่ค่า  $PaCO_2$  สูงกว่า 45 มม.ปรอท เราเรียกว่าเกิดภาวะ alveolar hypoventilation ในทางตรงกันข้าม เมื่อ  $PaCO_2$  น้อยกว่า 35 มม.ปรอท แสดงว่ามีภาวะ alveolar hyperventilation เกิดขึ้น

ปัจจัยอีกอันหนึ่งที่สามารถทำให้ค่าปกติของ  $PaCO_2$  เปลี่ยนแปลงได้ ได้แก่ ภาวะตั้งครรภ์ (pregnancy)<sup>21,22</sup> ซึ่งเกิดขึ้นจากอิทธิพลของฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน ฮอร์โมนนี้จะกระตุ้นศูนย์หายใจในสมอง ส่งผลให้มี  $V_t$  และ  $V_E$  ที่สูงขึ้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงถูกขับออกจากปอดมากกว่าปกติ<sup>22</sup> โดยทั่วไปค่าปกติของ  $PaCO_2$  ในหญิงที่ตั้งครรภ์ จะอยู่ประมาณ 28-32 มม.ปรอท<sup>21</sup>

การทราบค่า  $PaCO_2$  จากการตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดงนั้นมีประโยชน์เป็นอย่างยิ่งในผู้ป่วยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจ โดยการที่เราทราบค่าผลคูณของ  $PaCO_2$  และ  $V_E$  จะเป็นค่าคงที่ (เมื่อ  $V_{CO_2}$  และ  $V_d / V_t$  ไม่เปลี่ยนแปลง)<sup>5</sup> หากเราทราบค่า  $PaCO_2$  และ  $V_E$  ณ จุดเวลาหนึ่ง เราจะสามารถคำนวณหา  $V_E$  ที่ผู้ป่วยควรได้รับเพื่อให้ค่า  $PaCO_2$  เปลี่ยนแปลงไปตามที่เราต้องการได้ หรืออาจเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$PaCO_2 \times V_E = \text{ค่าคงที่}$$

$$\text{ดังนั้น } (\text{PaCO}_2 \times V_E)_{\text{เก่า}} = (\text{PaCO}_2 \times V_E)_{\text{ใหม่}} \dots (6)$$

เมื่อเรากำหนดได้ค่า  $V_E$  ที่จะต้องใช้กับผู้ป่วยรายนั้นๆ แล้ว เราก็สามารถนำมาหาค่าของ  $V_t$  หรืออัตราการหายใจที่ผู้ป่วยควรได้รับจากเครื่องช่วยหายใจต่อไป

โดยสรุปแล้ว จะเห็นได้ว่าการตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดงนั้นมีขั้นตอนที่อาจเกิดความผิดพลาดได้หลายอย่าง แต่ทุกๆ ขั้นตอนก็สามารถป้องกันและแก้ไขได้ หากแพทย์มีความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องในการทำ นอกจากนั้นการแปลผลก็ต้องอาศัยความรู้ทางสรีรวิทยาประกอบ เพื่อให้การตรวจวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดงเกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้ป่วย

### เอกสารอ้างอิง

- Sackner MA, Avery WG, Sokolowski J. Arterial punctures by nurses. *Chest* 1971; 59: 97-105.
- Biswas CK, Ramos JM, Agroyannis B, Schwartz M. Blood gas analysis: effect of air bubbles in syringes and delay in estimation. *Br Med J* 1982; 284: 923-7.
- Paulson WD. How to interpret blood gas analysis. *J Crit Illness* 1997; 12: 651-9.
- Gold WM. Pulmonary function testing. In: Murray JF, Nadel JA, editors. *Textbook of respiratory medicine*. Philadelphia: W.B. Saunders; 2000. p.829-37.
- Irwin RS. Arterial puncture for blood gas analysis. In: Rippe JM, Irwin RS, Alpert JS, editors. *Textbook of intensive care medicine*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 1999. p.157-60.
- Goodwin NM, Schreiber MT. Effects of anticoagulant on acid-base and blood-gas estimations. *Crit Care Med* 1979; 7: 473-4.
- Bloom SA, Canzanella VJ, Strom JA, David W. Spurious assessment of acid-base status due to dilutional effect of heparin. *Am J Med* 1985; 79: 528-32.
- Schwartz WB, Relman AS. A critique of the parameters used in the evaluation of acid-base disorders. "Whole-blood buffer base" and "standard bicarbonate" compared with blood pH and plasma bicarbonate concentration. *N Engl J Med* 1963; 268: 1382-8.
- Filley GF. Acid-base and blood gas regulation. Philadelphia: Lea & Febieger; 1971. p.19-47.
- Brandenberg MA, Dire DJ. Comparison of arterial and venous blood gas values in the initial emergency department evaluation of patients with diabetic ketoacidosis. *Ann Emerg Med* 1998; 31: 459-65.
- Adrogué HJ, Rashad MN, Gorin AB. Assessing acid-base status in circulatory failure. Differences between arterial and central venous blood. *N Engl J Med* 1989; 320: 1312-6.
- Phillips B, Peretz DI. A comparison of central venous and arterial blood gas values in the critically ill. *Ann Intern Med* 1969; 70: 745-9.
- Weil MH, Rackow E, Trevino R, David G. Difference in acid-base status between venous and arterial blood during cardiopulmonary resuscitation. *N Engl J Med* 1986; 315: 153-6.
- Felix WR, Sigel B, Popky GL. Doppler ultrasound in the diagnosis of peripheral vascular disease. *Semin Roentgenol* 1975; 4: 315-9.
- Markowitz DH, Irwin RS. Evaluating acid-base disorders: Is venous blood gas testing sufficient? *J Crit Illness* 1999; 14: 403-6.
- West JB. Gas exchange. In: West JB, editors. *Pulmonary Pathophysiology*. Baltimore: Williams & Wilkins; 1998. p.17-34.
- Lenfant C, Sullivan K. Adaptation to high-altitude. *N Engl J Med* 1971; 284: 1298-305.
- Adrogué HJ, Madias NE. Arterial blood gas monitoring : acid-base assessment. In: Tobin MJ, editor. *Principles and practice of intensive care monitoring*. New York: McGraw-Hill; 1998. p.217-41.
- Laffey JG, Kavanagh BP. Hypocapnia. *N Engl J Med* 2002; 347: 43-53.
- Murray JF. Ventilation. In: Murray JF, editor. *The Normal Lung: the basis for diagnosis and treatment of pulmonary disease*. Philadelphia: W.B. Saunders; 1986. p.83-119.
- Lim VS, Katz AI, Lindheimer MD. Acid-base regulation in pregnancy. *Am J Physiol* 1976; 231: 1764-72.
- Saareanta T, Polo O. Hormones and breathing. *Chest* 2002; 122: 2165-82.