

A Significance of Decarbonization in Anesthesia

Saranya Lertkovit*, Amornrat Aekta*, Chotima Apiwatchatchawan, Phongthara Vichitvejpaisal***

*Department of Anesthesiology, Faculty of Medicine Siriraj Hospital, Mahidol University, Bangkok,

**Division of Anesthesia and Operating Room, Sakonnakhon Hospital, Sakonnakhon Thailand.

Siriraj Medical Bulletin 2021;14(4): 50-55

Abstract

Naturally, greenhouse gases are essential for the world climate by trapping and reflecting heat onto the planet and make it livable for the living. However, the overproduction of man-made wastes from deforestation, inefficient use of natural resources as well as industrial and agricultural operations create critically toxic environment and climate change for decades. Eventually, human beings should be aware of the application of a sophisticated knowledge of technology in minimizing carbon emission to the earth's atmosphere under the principle standard of Life Cycle Assessment known as decarbonization. In daily practice, anesthesia personnel have a substantial role not only to take care their patients with close monitoring, but also to reduce carbon production. They ought to choose regional anesthesia and low flow technique as a first priority. In addition, they are fully attentive when using medical equipment, drugs and gases potentially generating high carbon footprints, persistent bioaccumulative toxic substances (PBTs), and prolong lifetime of carbon in the atmosphere, in the best interest of global environmental benefits.

Keywords: greenhouse gas; decarbonization; life cycle assessment; carbon footprint

Correspondence to: Phongthara Vichitveipaisal

Email: phongthara@gmail.com

Received: 14 May 2021

Revised: 5 July 2021

Accepted: 14 July 2021

<http://dx.doi.org/10.33192/smb.v14i4.250789>

ความสำคัญของการลดการปล่อยคาร์บอนในงานระงับความรู้สึก

ศรัญญา เลิศโกวิทย์ *, อมรรัตน์ เอกตะ*, โชติมา อภิวัฒน์ชัชวาลย์**, พงศ์ธรา วิจิตเวชไพศาล*

*ภาควิชาวิสัญญีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร, **หน่วยงานวิสัญญีและห้องผ่าตัดโรงพยาบาลสกลนครสกลนคร

บทคัดย่อ

ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มีความสำคัญต่อภูมิอากาศของโลก ให้สรรพสิ่งยังคงดำรงชีวิตอยู่ได้ แต่ก๊าซที่เกิดจากน้ำมือมนุษย์ จากการทำลายป่าต้นน้ำ การใช้ทรัพยากรที่มีจำกัดอย่างฟุ่มเฟือย ตลอดจนการเร่งรัดการผลิตในภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ก่อให้เกิดมลพิษและวิกฤตภาวะโลกร้อน มนุษย์จำเป็นต้องตระหนัก ร่วมมือกันใช้องค์ความรู้และเทคโนโลยีที่มีอยู่ ในการพัฒนากระบวนการลดการปล่อยคาร์บอนสู่ชั้นบรรยากาศ โดยอาศัยพื้นฐานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เป็นบรรทัดฐาน ในแต่ละวัน บุคลากรวิสัญญีเป็นผู้มีบทบาทสำคัญ นอกเหนือการดูแลผู้ป่วยแล้ว ยังมีหน้าที่ในการช่วยลดปริมาณคาร์บอนจากการปฏิบัติงาน ด้วยการเลือกใช้เทคนิคการระงับความรู้สึกแบบเฉพาะส่วนและก๊าซที่ใช้ขับเคลื่อนยาตามยาสลบในอัตราต่ำ หลีกเลี่ยงผลิตภัณฑ์เวชภัณฑ์และก๊าซทางการแพทย์ ที่มีปริมาณคาร์บอนสูง การส่งผลต่อภาวะโลกร้อน ระยะเวลาคงค้างอยู่ในบรรยากาศ และชีวมลพิษสะสม เพื่อประโยชน์ต่อสภาพแวดล้อมของโลก

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก; การลดการปล่อยคาร์บอน; วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์; ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณคาร์บอนสูง

คาร์บอนในบรรยากาศ

ปี พ.ศ.2248 โทมัส นิวโคเมน (Thomas Newcomen)¹ ได้ใช้ถ่านหินและไม้ เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ภายนอกเครื่องยนต์ (external combustion engine) เพื่อให้ได้พลังงานเปลี่ยนสถานะของเหลวให้กลายเป็นไอน้ำแรงดันสูงไปหมุนเครื่องจักร ซึ่งต่อมา เจมส์ วัตต์ (James Watt) วิศวกรชาวสกอต ได้นำไปพัฒนาต่อเป็นรถจักรไอน้ำ เรือกลไฟ เครื่องจักรในโรงงาน และนั่นก็เป็นจุดเริ่มต้นของการปฏิวัติอุตสาหกรรม (industrial revolution)

ประมาณปี พ.ศ.2363 โจเซฟ ฟูริเออร์ (Joseph Fourier) นักคณิตศาสตร์และฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส กล่าวว่า พลังงานที่โลกได้รับ

จากแสงอาทิตย์ ต้องสมดุลกับพลังงานที่สะท้อนกลับจากโลกสู่อวกาศ โดยพลังงานบางส่วนจะถูกดักไว้ในชั้นบรรยากาศ คล้ายเป็นเรือนกระจก (greenhouse effect) ส่งผลให้ผิวโลกอบอุ่น กว่า 40 ปีต่อมา จอห์น ทินดอลล์ (John Tyndall) นักวิทยาศาสตร์ชาวไอร์แลนด์ จึงได้พิสูจน์ให้เห็นว่า คาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide, CO₂) มีเทน (methane, CH₄) และสารระเหยไฮโดรคาร์บอน (volatile hydrocarbon) เป็นก๊าซที่สามารถดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดความถี่สั้น (short electromagnetic waves) และคลื่นอินฟราเรดชนิดความถี่ยาว (long infrared waves) จากพลังงานแสงอาทิตย์²

ในปี พ.ศ.2419 นิโคลัส ออกัส อ็อตโต (Nicolaus August Otto) ได้พัฒนาเครื่องยนต์ที่สามารถใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้

ภายใน (internal combustion engine) ได้พลังงานไปขับเคลื่อนเครื่องสูบลูกสูบ เครื่องยนต์กลไกต่างๆ เช่น รถยนต์ เครื่องบิน เรือเดินสมุทร ฯลฯ

CO₂ จากการเผาไหม้ตัดไม้ทำลายป่า เชื้อเพลิงจากถ่านหิน น้ำมัน หรือ N₂O และ CH₄ จากการเกษตรและปศุสัตว์ โอโซน (ozone, O₃) จากท่อไอเสียรถยนต์ สารประกอบฮาโลคาร์บอน (halocarbon compound) เช่น คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (chlorofluorocarbon, CFC) จากเครื่องทำความเย็นในอุตสาหกรรม ล้วนเป็นก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) ซึ่งเป็นตัวการสำคัญทำให้โลกร้อนขึ้น (global warming) ในปี พ.ศ.2501 ราล์ฟ คีลลิง (Ralph Keeling) นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกัน ได้ทำการวัดระดับ CO₂ บนภูเขาในรัฐฮาวาย ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้เตือนว่า ในบรรยากาศมีความเข้มข้นของ CO₂ สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี จนกระทั่งในปี พ.ศ.2522 การประชุมระดับนานาชาติเพื่อปรึกษาหารือเรื่องภูมิอากาศของโลก (world climate conference) จึงได้จัดขึ้นเป็นครั้งแรกที่กรุงเจนีวา ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ เพื่อศึกษาแก้ไขปัญหามภาวะโลกร้อนอย่างจริงจัง

ผลกระทบจากปรากฏการณ์เรือนกระจก

ปกติก๊าซเรือนกระจกเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ แต่ที่เกิดจากน้ำมือของมนุษย์กลายเป็นวัฏจักรเลวร้าย (vicious cycle) ที่ส่งผลกระทบต่อภูมิอากาศของโลกอย่างกว้างขวาง ปริมาณก๊าซที่เกินสมดุลและอุณหภูมิโลกที่สูงขึ้น ทำให้ธารน้ำแข็งขั้วโลกละลาย ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น เกิดปัญหาน้ำเค็มท่วมรุกล้ำปากอ่าวในหลายๆประเทศ ทิศทางการไหลเวียนของกระแสลมและกระแสน้ำเย็นทั้งขั้วโลกเหนือและใต้เกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้สภาพภูมิอากาศทั่วโลกแปรปรวน เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ (El Nino) และลานีญา (La Nina) ทำให้บริเวณที่เคยฝนตกชุกกลับประสบภัยแล้งและบริเวณที่แห้งแล้งกลับน้ำท่วม กระทบผลผลิตทางการเกษตร เกิดภาวะขาดแคลนอาหาร โรคระบาดในหลายพื้นที่ การปรับตัวของพาหะนำโรค เช่น ระยะเวลาฟักตัวของยุงลายสั้นลงกว่าปกติ ทำให้ยุงสามารถออกหากินได้ทั้งเวลากลางวันและกลางคืน ด้วยเหตุนี้ จึงมีความจำเป็นที่ต้องมีกระบวนการในการลดก๊าซเรือนกระจกอย่างรวดเร็ว³

การลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก

เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างพื้นฐานทางด้านพลังงานของประเทศ จะเห็นว่า เชื้อเพลิงจากฟอสซิล เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการขับเคลื่อนผลผลิตในทุกภาคส่วน โดยเฉพาะการใช้น้ำมันเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับรองรับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดตามบ้านเรือน การเดินเครื่องจักรกลในงานอุตสาหกรรม งานเกษตรกรรมกลไกกรรม ตลอดจนเครื่องยนต์สันดาปหลากหลายประเภทเพื่อการคมนาคมและการขนส่ง ผลจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจนี้ ได้ทำให้มีการอุปโภคบริโภคน้ำมันเกินความจำเป็น ก่อให้เกิดผลกระทบเป็นมลพิษต่อสภาพแวดล้อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ในวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตภัณฑ์ ซึ่งเริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การใช้งาน จนถึงการจัด

ซาก ได้ถูกนำมาคำนวณหาปริมาณคาร์บอนต่อหน่วยผลิตภัณฑ์นั้น เรียกว่า Carbon footprint (CF) และเพื่อลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก⁴ จึงมีการนำนวัตกรรมเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงานทดแทน เป็นพลังงานสะอาด ประหยัดและยั่งยืน สามารถชดเชยการใช้ฟอสซิลที่ปลดปล่อย CO₂ สู่ชั้นบรรยากาศ เรียกกระบวนการนี้ว่าการลดการปล่อยคาร์บอน (decarbonization) ซึ่งอาศัยหลักการบนพื้นฐานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment, LCA) ได้แก่ การประเมินเชิงปริมาณการใช้ทรัพยากร มลพิษที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตและการให้บริการ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อันครอบคลุมรายละเอียดตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้และการกำจัดวัสดุเสียเปล่า⁵

LCA จึงเป็นเสมือนตัวชี้วัด ใช้เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการออกแบบเพื่อให้เกิดสมดุลในระบบนิเวศ (eco-design) ซึ่งทั่วโลกต่างให้ความสนใจสร้างเครือข่ายกิจกรรมเพื่อแก้ปัญหาาร่วมกัน โดยรัฐบาลแต่ละประเทศต้องแสดงความจริงจังในการสนับสนุนในทุกมิติ อาทิ มาตรการการบังคับใช้กฎหมายอย่างจริงจังกับผู้บุกรุกเผา ตัดไม้ทำลายป่าเพื่อทำไร่เลื่อนลอย รัฐต้องไม่เพียงเร่งการปลูกป่าปลูกต้นไม้เท่านั้น แต่ต้องบำรุงรักษาดูแลอย่างต่อเนื่อง ไม่ปล่อยปละละเลยให้กลายเป็นป่าเสื่อมโทรม ในภายหลัง บูรณาการแหล่งเก็บกักน้ำให้ปราศจากการปนเปื้อน มลพิษจากการทำสวนไร่นาที่ใช้สารเคมี จากโรงงานอุตสาหกรรม ส่งเสริมการใช้พลังงานชีวมวล การใช้ปุ๋ยคอก การทำเกษตรอินทรีย์ ฯลฯ การใช้รถยนต์ไฟฟ้า (electric vehicle) โดยการลดภาษีนำเข้า ส่งเสริมอุตสาหกรรมการประกอบรถยนต์ เร่งรัดออกกฎหมายยกเลิกรถยนต์พลังงานสันดาป (ประเทศไทยกำหนดไว้ในปี พ.ศ.2578 หลังกลุ่มเศรษฐกิจยุโรป 10-15ปี) ส่งเสริมการผลิตคิดค้นแบตเตอรี่ที่มีศักยภาพกักเก็บพลังงานที่ยาวนาน และสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่เช่น solid state battery ที่มีอายุการใช้งานยาวนาน หรือ rechargeable battery ที่สามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่ภายหลังการเติมประจุ

การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยโซลาร์เซลล์ (solar cell) ทั้งในระดับมหภาคและจุลภาค สนับสนุนการผลิตแผงโซลาร์กล่องควบคุม (solar charge controller) แบตเตอรี่ชนิดที่มีความหนาแน่นในการเก็บและคายประจุ (deep cycle battery) การลดภาษีนำเข้าวัสดุอุปกรณ์ ส่งเสริมการตั้งโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ (solar plant) การใช้ การขออนุญาตติดตั้งและซื้อคืนกระแสไฟฟ้าจากชุมชน ในระดับโรงงานและบ้านเรือนที่อยู่อาศัย⁶

กระบวนการลดการปล่อยคาร์บอนในระบบบริการสาธารณสุข

ประเทศไทยมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 0.8 คิดเป็นอันดับที่ 317 ของโลก โดยมาจากภาคพลังงานมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 71.7 รองลงมาคือ ภาคการเกษตรร้อยละ 14.7 ภาคอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์ร้อยละ 8.9 ภาคการจัดการของเสียร้อยละ 4.7⁷ ส่วนในภาคบริการสาธารณสุขมีสัดส่วนที่น้อยมาก ซึ่งถึงแม้จะเป็นตัวเลขที่ไม่สูงนัก แต่หลายกิจกรรมในระบบบริการสาธารณสุข ขับ

เคลื่อนด้วยกระแสไฟฟ้าเป็นพลังงานหลัก เพื่อการดูแลรักษาผู้ป่วยในสถานพยาบาล การผลิตยาและเวชภัณฑ์ การขนส่งวัสดุอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ การทำความสะอาดด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ การกำจัดอุปกรณ์ชีวเคมี สารพิษ สิ่งปฏิกูลและวัตถุปนเปื้อนเชื้อ และการใช้ก๊าซทางการแพทย์

ปัจจุบันมีการรณรงค์นำยุทธศาสตร์ GREEN & CLEAN hospital มาใช้ในระบบบริการสาธารณสุข เพื่อพัฒนางานอนามัยสิ่งแวดล้อมในโรงพยาบาล อันได้แก่ การจัดการมูลฝอย การจัดการสุขภัณฑ์ การลดการใช้พลังงาน การจัดการสภาพโดยรอบ การจัดการสุขาภิบาลอาหาร โดยให้บุคลากรทุกระดับได้มีส่วนร่วมในการดำเนินการเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด³

การลดการปล่อยคาร์บอนในงานระงับความรู้สึก

ในแต่ละปี ก๊าซทางการแพทย์ในส่วนของการระงับความรู้สึกเป็นสาเหตุหลักในการปล่อย CO₂ ออกสู่ชั้นบรรยากาศประมาณ 3 ล้านตัน⁹ คิดเป็นร้อยละ 5 ของปริมาณ CO₂ ทั้งหมดที่ปลดปล่อยออกมาจากโรงพยาบาล¹⁰ ทั้งนี้เพราะ ยาสูดดมชนิดไอระเหย (inhaled volatile anesthetic agents) ได้แก่ sevoflurane, isoflurane, และ desflurane เป็นสารประกอบไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (hydrofluorocarbon,

HFC) ที่มีบทบาทสำคัญในงานระงับความรู้สึก โดยบุคลากรวิสัญญีนิยมใช้เสริมฤทธิ์ยาในกลุ่มอื่นๆ ในระหว่างการบริการผู้ป่วยที่เข้ารับการผ่าตัดหัตถการร่วมรักษาต่างสาขาวิชา (interventional management) การดูแลผู้ป่วยในหอวิกฤต และหน่วยระงับปวด แต่ด้วยฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่พบว่า เพียงร้อยละ 5 ของยาสูดดมชนิดไอระเหย มีเมตาบอลิซึมเกิดขึ้นในร่างกาย โดยที่เหลือนมากกว่าร้อยละ 95 ขับออกทางลมหายใจผู้ป่วยสู่บรรยากาศรอบนอก^{11, 12}

เราสามารถใช้ค่าตัวเลขการส่งผลต่อภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential, GWP) เปรียบเทียบความสามารถในการปลดปล่อย CO₂ ของยาสูดดมชนิดไอระเหยได้ เมื่อกำหนดให้ GWP ของ CO₂ มีค่าเป็น 1 อย่างไรก็ตาม ปริมาณการปลดปล่อย CO₂ ของยาแต่ละชนิดจะมากหรือน้อย ยังแปรโดยตรงกับน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบนั้น ระยะเวลาการบริหารยา อัตราการไหลของก๊าซที่ใช้ในการขับเคลื่อนยา (fresh gas flow, FGF) ความเข้มข้นของยาในถุงลมปอดที่น้อยที่สุดที่ทำให้ร่างกายไม่ตอบสนองต่อสิ่งเร้า (minimum alveolar concentration, MAC) และการบริหารร่วมกับไนตรัสออกไซด์เอง ซึ่งเป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติการกระจายตัวสูง (diffusion) สามารถนำพาก๊าซอื่นๆ เข้าสู่ถุงลมปอดได้อย่างรวดเร็ว (second gas effect) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ศักยภาพของยาผสมต่อภาวะโลกร้อน^{12, 13}

ยาผสม	Carbon lifetime (yr)	GWP	1 MAC	GWP ของยาผสมที่ความเข้มข้น 1 MAC เป็นเวลา 1 ชั่วโมงด้วย FGF ต่างๆ กัน				GWP Ratio N ₂ O/O ₂ : Air/O ₂
				0.5 L/min	1.0 L/min	2.0 L/min	5.0 L/min	
Sevoflurane	1.2	349	2.2	-	4	8	19	5.9 : 1
Isoflurane	3.6	1401	1.2	4	7	15	38	2.9 : 1
Desflurane	10	3714	6.7	93	189	378	939	0.6 : 1
Nitrous oxide	114	289	104	29	57	112	282	-

Carbon lifetime = ระยะเวลาคงค้างของคาร์บอนในชั้นบรรยากาศ (ปี), GWP = Global Warming Potential, MAC = Minimum alveolar concentration, FGF = fresh gas flow, GWP ratio N₂O/O₂ : Air/O₂ = สัดส่วนของ GWP เมื่อเปิดยาผสมร่วมกับไนตรัสออกไซด์กับเมื่อไม่ใช้ไนตรัสออกไซด์

ที่มา: รวบรวมจากบทความ Global warming potential of inhaled anesthetics: application to clinical use¹² และ Scaling up inhaled anesthetic practice improvement: the role of environmental sustainability metrics.¹³

แนวทางปฏิบัติเพื่อลดการปล่อยคาร์บอนในงานระงับความรู้สึก

โดยปกติ CO₂ เป็นก๊าซที่มีบทบาทสำคัญ คิดเป็นร้อยละ 80 ในการกระตุ้นให้ร่างกายหายใจตลอดเวลา ที่ศูนย์ควบคุมเรียกว่า Central chemoreceptor โดยที่เหลืออีกร้อยละ 20 เป็นกลไกการกระตุ้นให้ร่างกายหายใจที่ peripheral chemoreceptor ด้วยภาวะออกซิเจนต่ำในเลือด

อย่างไรก็ตาม CO₂ ก็เป็นผลลัพธ์จากเซลล์ ที่ฮีโมโกลบินนำไปแลกเปลี่ยนกับออกซิเจนผ่านผนังถุงลมปอดในรอบการหายใจแต่ละครั้ง หากมี CO₂ คั่งในเลือด ฮีโมโกลบินซึ่งมีคุณสมบัติจับ CO₂ ได้ดีกว่าออกซิเจนถึง 250 เท่า จะทำให้ความสามารถของฮีโมโกลบินในการนำออกซิเจนจากปอดสู่เซลล์ลดลง และร่างกายเกิดภาวะพร่องออกซิเจนได้ ซึ่งเป็นเรื่องที่เกิดจากวิสัยทัศน์ที่ตรงกันระหว่างการดูแลผู้ป่วยที่เข้ารับบริการงานระงับความรู้สึก ในขณะเดียวกัน ก็คำนึงถึงมาตรการในการลดการปล่อยคาร์บอนออกสู่ชั้นบรรยากาศ ควบคู่ไปกับการปฏิบัติงานทุกครั้งโดยมีแนวทางในการปฏิบัติดังนี้^{10, 11}

1. เลือกใช้เครื่องดมยาสลบ (anesthetic machine) ที่มีความทันสมัย ประหยัดพลังงาน ทำงานควบคู่กับวงจรระบบหายใจแบบ circle circuit หรือ close circuit ที่สามารถนำก๊าซในระบบหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ ลดการเกิด rebreathing ของคาร์บอนไดออกไซด์ ไม่มีการรั่วซึม (system leakage) ช่วยลดมลพิษในห้องผ่าตัด รักษาความชื้นและความอุ่นของลมหายใจผู้ป่วยได้ดี เลือกเครื่องที่มี flowmeters หรือแท่งมาตรวัดอัตราการไหลของก๊าซในการบริหารยาดมสลบที่ละเอียดชัดเจนและถูกต้องแม่นยำ ร่วมกับเครื่องเผื่อรังสีสัญญาณชีพผู้ป่วยที่มีองค์ประกอบการใช้งานครบถ้วน หรือแบบเคลื่อนที่ที่สามารถใช้ได้กับ rechargeable battery

2. เลือกเทคนิคการระงับความรู้สึกเฉพาะส่วน (regional anesthesia) หรือการดมยาสลบแบบ Low flow technique โดยใช้ FGF ต่ำประมาณ 0.5-1 ลิตรต่อชั่วโมง มีผลคือ ลดปริมาณการใช้ยาสูดดมชนิดไอระเหย ที่สำคัญคือ ปริมาณออกซิเจนและความชื้นต้องพอเพียงกับความต้องการของร่างกายผู้ป่วย ทั้งยังสามารถลดเขย่งการรั่วไหล (leakage) ของก๊าซออกนอกกระบอก อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ใช้ FGF ต่ำเกินไป อาจส่งผลต่อการผลักดันไนโตรเจนออกจากร่างกาย (denitrogenation) ทำให้มีภาวะพร่องออกซิเจนเกิดขึ้น และอาจเกิดการตกค้างของสารประกอบในระบบ เช่น CH₄, คาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide, CO) เพิ่มการปนเปื้อนเป็นมลพิษในบรรยากาศ จึงมีความจำเป็นต้องเผื่อระดับความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง (arterial oxygen saturation) และความเข้มข้นของยาดมสลบในช่วงสิ้นสุดการหายใจเข้า (end-tidal anesthetic concentration)

3. หลีกเลี่ยงยาสูดดมชนิดไอระเหยที่มีค่า GWP สูง ซึ่งพบว่า desflurane > isoflurane > sevoflurane > N₂O แม้ว่า N₂O จะมีค่า GWP ต่ำ แต่มีระยะเวลาคงค้างของคาร์บอนในบรรยากาศนานที่สุด จึงควรหลีกเลี่ยงการใช้ N₂O ในงานระงับความรู้สึก (ตารางที่ 1)

อย่างไรก็ตาม เมื่อบริหาร N₂O ร่วมกับ desflurane กลับพบว่า มีค่า GWP ลดลง ซึ่งตรงข้ามกับการบริหาร N₂O ร่วมกับ sevoflurane,

isoflurane กลับพบว่า GWP มีค่าเพิ่มขึ้น จึงเป็นเหตุผลว่าหากมีความจำเป็นต้องเลือกใช้ desflurane ควรพิจารณาใช้ร่วมกับ N₂O ในขณะที่ sevoflurane และ isoflurane ไม่ควรใช้ร่วมกับ N₂O^{12, 13}

4. ใช้สารดูดซับ CO₂ (CO₂ absorbent) บรรจุในภาชนะที่ทำจากซิลิกา (silica) แทนผลิตภัณฑ์จากพลาสติก เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา CF สารดูดซับจะทำหน้าที่ดัก CO₂ จากลมหายใจออกของผู้ป่วย ได้ความชื้นพร้อมนำก๊าซกลับไปใช้ใหม่ในระบบ สารดูดซับที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide, Ca(OH)₂) และลิเทียมไฮดรอกไซด์ (lithium hydroxide, LiOH) แต่ Ca(OH)₂ มีตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดการตกค้างของ CO ได้¹⁴

5. เลือกใช้ยาระงับความรู้สึกที่มีระยะเวลาเริ่มต้นและระยะเวลาในการออกฤทธิ์สั้น (short onset, short duration) หรือใช้เทคนิคบริหารยาทางหลอดเลือดดำเป็นหลัก (total intravenous anesthesia, TIVA) เพื่อทดแทนการใช้ยาดมสลบ อย่างไรก็ตาม การหันมาบริหารยาทางหลอดเลือดดำมากขึ้น นอกจากจะเป็นการเพิ่ม CF จากการใช้กระแสไฟฟ้าในอุปกรณ์ทางการแพทย์ หรือจากกระบวนการผลิตยาและเวชภัณฑ์แล้ว ยังต้องคำนึงถึงดัชนีชีวมลพิษสะสม (Persists Bioaccumulation Toxicity, PBT) ของยาแต่ละชนิดซึ่งพิจารณาจากคุณสมบัติของยา ที่มีการตกค้างยาวนาน สะสมได้ในสิ่งมีชีวิตและมีความเป็นพิษ โดยยาที่มีค่า PBT สูง จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้เพิ่มขึ้น¹⁵ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ชีวมลพิษสะสมของยาระงับความรู้สึกที่บริหารทางหลอดเลือดดำ¹⁵

ยาระงับความรู้สึก	ชีวมลพิษสะสม
Propofol	9
Ondansetron	6
Midazolam	5
Fentanyl	4
Remifentanyl	4
Lidocaine	3
Atracurium	2

ที่มา: จากบทความ The anesthesiologist and global climate change: an ethical obligation to act.¹⁵

6. ในระหว่างการระงับความรู้สึก ปริมาณก๊าซส่วนเกินในเครื่องดมยาสลบจะถูกเก็บกักไว้และนำออกจากบริเวณห้องผ่าตัดผ่านระบบท่อของโรงพยาบาล (scavenging system) ก่อนปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ และด้วยแนวทางปฏิบัติที่ต้องการควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อ (infection control) และนโยบายใช้วัสดุครุภัณฑ์ทางการแพทย์แบบใช้ครั้งเดียว (single use disposable, SUD) กลับสร้างปัญหาเพิ่มปริมาณขยะทางการแพทย์ เพราะ SUD ส่วนใหญ่ทำจากพลาสติกที่มีค่า LCA ยาวนาน

จึงเริ่มมีการรณรงค์ให้ใช้วัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือสามารถใช้ซ้ำได้ โดยไม่เพิ่มอุบัติการณ์การติดเชื้อ เช่น reusable laryngeal mask airway ซึ่งมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิโคน (silicone) มีค่า LCA ต่ำกว่า disposable LMA อย่างมีนัยสำคัญ พร้อมกับบริหารจัดการเก็บครุภัณฑ์การแพทย์ชนิดนำกลับมาใช้ใหม่ ให้อยู่กับความจำเป็นในการใช้งาน เพื่อลดปริมาณขยะ มีกระบวนการจำแนกวัสดุหมุนเวียน/การนำกลับมาใช้ใหม่จากขยะอย่างเป็นขั้นตอน ควบคุมดูแลเข้มงวดในเรื่องการปนเปื้อนอย่างรัดกุม¹⁰

สรุป

ในสถานการณ์ที่โลกกำลังเผชิญกับวิกฤตภาวะโลกร้อน ซึ่งเป็นวัฏจักรเลวร้ายส่งผลต่อสภาพแวดล้อมของมวลมนุษยชาติ นานนับศตวรรษ ทุกภาคส่วนจำเป็นต้องตระหนักและร่วมรณรงค์กันอย่างจริงจัง ในการขับเคลื่อนเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในแต่ละวันบุคลากรวิสัญญีจึงมีบทบาทสำคัญ นอกเหนือจากการดูแลผู้ป่วยอย่างใกล้ชิดแล้ว ยังมีหน้าที่ในการช่วยลดปริมาณคาร์บอนสู่ชั้นบรรยากาศจากการปฏิบัติงาน ที่ต้องมีความรอบรู้ในการเลือกใช้เทคนิคการระงับความรู้สึก ผลลัพธ์ และก๊าซทางการแพทย์อย่างเหมาะสม เพื่อช่วยกันลดขีดมลพิษสะสมและยืดอายุสภาพแวดล้อมของโลกใบนี้ให้คงอยู่นานที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์แพทย์ พยาบาล แพทย์ประจำบ้าน นักศึกษาพยาบาล และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิสัญญีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาลทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในความพยายาม รณรงค์ลดการปล่อยคาร์บอนจากการปฏิบัติงาน

เอกสารอ้างอิง

1. ประวัติศาสตร์และวัฒนธรรม.ชีวประวัติของ Thomas Newcomen ผู้ประดิษฐ์ Steam engine [อินเทอร์เน็ต].2562 [เข้าถึงเมื่อ13 เม.ย.2564]. เข้าถึงได้จาก:

- <https://www.greelane.com/th/มนุษยศาสตร์/ประวัติศาสตร์และวัฒนธรรม/thomas-newcomen-profile-1992201>.
2. Wikipedia. ปรากฏการณ์เรือนกระจก [อินเทอร์เน็ต].2557 [เข้าถึงเมื่อ 13 ก.พ. 2564]. เข้าถึงได้จาก: <https://th.wikipedia.org/wiki/ปรากฏการณ์เรือนกระจก>.
3. สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. สถานบริการสาธารณสุขกับการประเมิน Carbon Footprint [อินเทอร์เน็ต].2557 [เข้าถึงเมื่อ 13 ก.พ. 2564]. เข้าถึงได้จาก:http://203.157.71.139/group_sr/allfile/1588988146.pdf.
4. อรุณี อ้วนเจริญ. การประเมินก๊าซเรือนกระจก (GHGs Emission Assessment) [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 28 มี.ค. 2564].เข้าถึงได้จาก: https://gciptai.org/files/announced/Aruneey_GHGs-emission.pdf.
5. อรรถพร บุญพร้อม. LCA [อินเทอร์เน็ต].2552 [เข้าถึงเมื่อ 28 มี.ค. 2564]. เข้าถึงได้จาก: https://en.mahidol.ac.th/El/1089_4.html.
6. มณฑาสินี หอมหวาน. พลังงานทดแทน พลังงานทางเลือกใหม่สำหรับอนาคต Renewable energy: a new way to save our environment. นักบริหาร2555; 32(1): 100-4.
7. สำนักงานสิ่งแวดล้อมและองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศของญี่ปุ่น(JICA). คู่มือคลายร้อนให้โลกที่รัก.กรุงเทพฯ:สำนักงานสิ่งแวดล้อม;2558.
8. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand). บทบาทของประเทศไทยกับการลดก๊าซเรือนกระจก [อินเทอร์เน็ต].2559 [เข้าถึงเมื่อ 12 เม.ย. 2564]. เข้าถึงได้จาก https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=1746:article-20161114-01&catid=49&Itemid=251.
9. Guzman-Reyes S, Pivalizza EG. Gender Distribution in Professional Anesthesiology Activities. Anesth Analg. 2019 Nov; 129(5): e179-e180.
10. Yeoh CB, Lee KJ, Coric V, Tollinche LE. Simple Green Changes for Anesthesia Practices to Make a Difference. EC Clin Med Case Rep. 2020; 3(12): 1-6.
11. Jones RS, West E. Environmental sustainability in veterinary anaesthesia. Vet Anaesth Analg. 2019 Jul; 46(4): 409-420.
12. Ryan SM, Nielsen CJ. Global warming potential of inhaled anesthetics: application to clinical use. Anesth Analg. 2010 Jul; 111(1): 92-8.
13. Sherman JD, Berkow L. Scaling Up Inhaled Anesthetic Practice Improvement: The Role of Environmental Sustainability Metrics. Anesth Analg. 2019 Jun; 128(6): 1060-1062.
14. Yuwattananawong K, Nuchpramool P, Vitayaburananont P. Carbon dioxide absorbent. Vajira Medical J 2016; 60(1): 125-33.
15. Van Norman GA, Jackson S. The anesthesiologist and global climate change: an ethical obligation to act. Curr Opin Anaesthesiol. 2020 Aug; 33(4): 577-583.