



สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

กรรณก ยูวพัฒน์วงศ์ พบ.¹

ปรัชญ์วิไล นุชประมูล พบ. วว. วิสัณณูวิทยา^{1*}

ปิยศักดิ์ วิทยบุรณานนท์ พบ. วว. วิสัณณูวิทยา¹

¹ ภาควิชาวิสัณณูวิทยา คณะแพทยศาสตร์วชิรพยาบาล มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

* ผู้ติดต่อ, อีเมล: mayyee555@hotmail.com

Vajira Med J 2016; 60(2): 125-133

<http://dx.doi.org/10.14456/vmj.2016.12>

บทคัดย่อ

ปัจจุบันระบบหายใจในเครื่องดมยาสลบส่วนใหญ่เป็นชนิดที่มีการจัดเรียงให้อากาศหมุนเวียนจนครบวง อากาศในระบบจะไหลไปในทิศทางเดียว นำอากาศที่ผู้ป่วยหายใจออกไหลผ่านสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก่อนจ่ายให้ผู้ป่วยในช่วงหายใจเข้า เพื่อป้องกันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เจือปนในลมหายใจเข้า เมื่อใช้อากาศที่อัตราการไหลต่ำ จึงควรใช้สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพสูง อย่างไรก็ตาม พบว่าหลายปัญหาที่เกิดขึ้น ระหว่างดมยาสลบนั้นมีความสัมพันธ์กับการใช้สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อาทิเช่น อุณหภูมิในวงจรดมยาสลบเพิ่มสูงขึ้น แผ่นรองสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หลอมละลาย พบประกายไฟในภาชนะบรรจุสารดูดซับ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในลมหายใจเข้า พบการรั่วในเครื่องดมยาสลบ และทำให้ผู้ป่วย เกิดภาวะระบบหายใจล้มเหลวฉับพลันได้ ทำให้การทราบว่า การใช้สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างไรให้ปลอดภัยนั้นเป็นสิ่งสำคัญ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับ พื้นฐานโครงสร้างทางเคมี ความ เสี่ยงและประโยชน์ในการใช้สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แต่ละชนิด รวมทั้งข้อควรระวังและปัญหาระหว่างการ ใช้สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



Carbon Dioxide Absorbent

Kornkanok Yuwapattanawong MD¹

Pruchwilai Nuchpramool MD, FRCAT^{1*}

Piyasak Vitayaburananont MD, FRCAT¹

¹ Department of Anesthesiology, Faculty of Medicine Vajira Hospital. Navamindradhiraj University, Bangkok Thailand.

* Corresponding author, email address: mayyee555@hotmail.com

Vajira Med J 2016; 60(1): 125-133

<http://dx.doi.org/10.14456/vmj.2016.12>

Abstract

Nowadays, the breathing system in most of the anesthetic machine is “circle system” type which the unidirectional flow in the system passes through carbon dioxide absorbent; to prevent carbon dioxide from re-breathing in the next inhalation. Hence, the lower flow anesthetic is used, the higher quality of carbon dioxide absorbent is required. However, there have been several problems reported which are related to carbon dioxide absorbent such as heat generation in anesthetic circuit, melting of the absorbent cartridge, multiple sparking in the absorbent canister, re-breathing, air flow leakage in the circuit and acute respiratory distress syndrome. Therefore, knowing how to safely use each type of carbon dioxide absorbent is utterly important. The objective of this article is to compile the knowledge of chemical structure, risk versus benefit of each type of carbon dioxide absorbent, caution and problem during using carbon dioxide absorbent.

Keyword: Carbon Dioxide Absorbent, Compound A

บทนำ

สารดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์มีหน้าที่กำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากวงจรในเครื่องดมยาสลบชนิด circle breathing system ก่อนจะนำก๊าซที่เหลือกลับมาให้ผู้ป่วยต่อไป ปัจจุบันมีการใช้เทคนิคให้ก๊าซออกซิเจนและก๊าซยาสลบด้วยอัตราการไหลต่ำ (low flow anesthesia, 500-1000 มิลลิลิตร/นาที่) และอัตราการไหลต่ำมาก (minimal flow anesthesia, 250-500 มิลลิลิตร/นาที่)¹ เนื่องจากประโยชน์ด้านการเพิ่มประสิทธิภาพการขับเสมหะของเซลล์บุทางเดินหายใจ (mucociliary clearance), ลดการสูญเสียความร้อนและความชื้นออกจากลมหายใจ, ประหยัดค่าใช้จ่าย และลดมลพิษทางอากาศ²⁻³ ทำให้สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีความสำคัญอย่างมาก ทั้งนี้สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่นำมาใช้ควรมีประสิทธิภาพดี และสามารถกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากลมหายใจออกได้หมด ก่อนที่จะนำก๊าซที่เหลือไปให้ผู้ป่วย

ประวัติของสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์⁴

ปี ค.ศ.1777 : Scheele นักวิทยาศาสตร์ทางเคมี Carl Wilhelm Scheele ชาวเยอรมัน-สวีเดน ได้ทำการทดลองและพบว่าผึ้งสามารถมีชีวิตอยู่ได้เป็นระยะเวลา 8 วัน ภายในครอบแก้วที่มีสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ปี ค.ศ.1847: ประเทศฝรั่งเศส Regnault และ Reiset ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาอัตราการใช้ออกซิเจนและการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยนำสุนัขมาอยู่ในครอบแก้วปิด และใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยในการทดลองพบว่า วันที่ 4 นับจากเริ่มทำการทดลอง สุนัขยังสามารถมีชีวิตอยู่ได้ภายในครอบแก้วปิด

ปี ค.ศ.1900: Robert E. Wilson ได้คิดค้นสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากลมหายใจออกของมนุษย์ และนำไปประยุกต์ใช้กับหน้ากากทางการทหาร

ปี ค.ศ.1919: ภายหลังสงครามโลก The Dewey and Almy Chemical Cooperation ได้ทำการผลิตและเป็นผู้แทนจำหน่ายสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ชื่อบริษัท Wilson Soda Lime และต่อมาในปี ค.ศ.1929 ได้

สร้างชื่อทางการค้าคือ “Sodasorb”

สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุดมคติ (Ideal carbon dioxide absorbent)⁵

1. เมื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซดมสลบแล้ว ไม่เกิดสารพิษ
2. เกิดแรงเสียดทานน้อย เมื่อมีอากาศไหลผ่าน
3. ไม่แตกตัวเป็นฝุ่นละออง
4. ราคาประหยัด
5. สามารถกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภาชนะบรรจุสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Absorber canister)

ภาชนะบรรจุสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ควรโปร่งใสและโปร่งแสง เพื่อให้สังเกตการเปลี่ยนสีและลักษณะทางกายภาพของสารดูดซับได้ง่าย สามารถแบ่งตามจำนวนภาชนะได้ 2 แบบ คือ 1) ภาชนะบรรจุใบเดียว เป็นที่นิยมในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถเปลี่ยนสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างดมยาสลบได้ และ 2) ภาชนะบรรจุสองใบที่เรียงตัวกันในแนวตั้ง ถ้าแบ่งตามการบรรจุภัณฑ์ สามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ 1) แบบบรรจุสารดูดซับมาพร้อมใช้ (prepack) และ 2) แบบเทเติมสารดูดซับลงในภาชนะบรรจุ (loose bulk)

โดยทั่วไปภาชนะบรรจุสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีช่องว่างทางด้านบนและด้านล่างของภาชนะเป็นทางผ่านของก๊าซเข้าเพื่อดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (gas inlet) และออกกลับสู่วงจรของยาดมสลบทางท่อส่งก๊าซออก (return tube) กรณีที่เป็นภาชนะบรรจุสองใบ จะมีช่องตรงกลางแผ่นยางกั้นระหว่างสองภาชนะ (baffles/annular ring) เพื่อเพิ่มทางเดินของก๊าซและช่วยลดแรงต้านทางการไหลที่เกิดจากผนังของภาชนะบรรจุสารดูดซับ⁶⁻⁷

ปัญหาที่มีสาเหตุจากภาชนะบรรจุได้แก่ 1) การรั่วเกิดจากการใช้ภาชนะบรรจุเสื่อมประสิทธิภาพ⁸ การปิดฝาภาชนะบรรจุไม่สนิท⁹⁻¹⁰ และวางส่วนประกอบภายในของภาชนะผิดตำแหน่ง¹¹ และ 2) การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไม่หมด ทำให้ก๊าซปนกลับสู่ลมหายใจเข้า (rebreathing carbon dioxide)^{6,11} เมื่อเกิดปัญหาควรหาสาเหตุตามวิธี

กล่าวข้างต้นและพิจารณาแก้ไขตามสาเหตุ

การเปลี่ยนสารดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์นั้น กรณีที่เป็นภาชนะบรรจุใบเดียวนั้น สามารถเปลี่ยนสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการดมยาสลับ ส่วนภาชนะบรรจุสองใบ ควรเปลี่ยนในช่วงที่ไม่ได้ดมยาสลับ โดยปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้ ผู้เปลี่ยนสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ควรใส่ถุงมือ จากนั้นจึงปลดตัวยึดภาชนะบรรจุ เปลี่ยนสารดูดซับของภาชนะชั้นบนด้วยสารดูดซับใหม่ เลื่อนภาชนะชั้นล่างขึ้นแทนที่ภาชนะชั้นบน ส่วนภาชนะชั้นบนที่ได้รับการเปลี่ยนสารดูดซับใหม่ ให้นำมาไว้แทนที่ตำแหน่งของภาชนะชั้นล่างแทน ใส่ภาชนะทั้งสองใบกลับและตรวจสอบว่าภาชนะอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ไม่เอียง ไม่มีช่องระหว่างภาชนะที่ทำให้เกิดการรั่วของก๊าซออกสู่สิ่งแวดล้อม¹²

คุณสมบัติทางเคมีของสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ละชนิดมีส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 1) แต่กระบวนการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ล้วนเกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับสารเคมีในสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ผลผลิตเป็นน้ำ ความร้อน และคาร์บอเนต สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) ที่อาศัยเบสแก่เป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งก่อให้เกิดสารพิษ และลิเทียมไฮดรอกไซด์ (lithium hydroxide, LiOH) ที่ไม่ต้องอาศัยเบสแก่เร่งปฏิกิริยา จึงไม่ก่อให้เกิดสารพิษ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1:

แสดงส่วนประกอบทางเคมีของสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์⁵

สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	ส่วนประกอบทางเคมี (ร้อยละ)					
	แคลเซียม-ไฮดรอกไซด์	ลิเทียม-ไฮดรอกไซด์	น้ำ	โซเดียม-ไฮดรอกไซด์	โพแทสเซียม-ไฮดรอกไซด์	สารอื่น
Classic soda lime	80	0	16	3	2	-
Baralyme	73	0	11-16	0	5	แบเรียมไฮดรอกไซด์ (11)
Sodasorb	76.5	0	18.9	2.25	2.25	-
Dragersorb 800 plus	82	0	16	2	0.003	-
Medisorb	81	0	18	1-2	0.003	-
New soda lime	73	0	<19	<4	0	-
Sodasorb LF	>80	0	15-17	<1	0	-
Dragersorb Free	74-82	0	14-18	0.5-2	0	แคลเซียมคลอไรด์ (3-5)
Sofnolime	>75	0	12-19	<3	0	-
Amsorb Plus	>75	0	14.5	0	0	แคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมซัลเฟต (< 1)
Litholyne	>75	0	12-19	0	0	ลิเทียมคลอไรด์ (<3)
SpiraLith	0	95	0	0	0	พอลิเอทิลีน (< 5)

ที่มา: ดัดแปลงจากหนังสือ Miller's anesthesia. 8th ed. Inhaled anesthetics: delivery system. 2015.

ตารางที่ 2:

แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และลิเทียมไฮดรอกไซด์⁵

คุณสมบัติทางเคมี	สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	
	แคลเซียมไฮดรอกไซด์	ลิเทียมไฮดรอกไซด์
สารเร่งปฏิกิริยา	- เบสแก่: โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH), โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide, KOH) - สารดูดซับความชื้น: แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride, CaCl ₂)	ไม่มี
สารที่ทำให้สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีลักษณะแข็ง เพื่อลดการเกิดละอองฝุ่น	ซิลิกา (silica, SiO ₂) ได้ผลผลิตเป็น แคลเซียมซิลิเกต (Calcium silicate) และโซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate)	
ปฏิกิริยาเคมี	1. $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ 2. $\text{H}_2\text{CO}_3 + 2 \text{NaOH (or KOH)} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ (or K}_2\text{CO}_3) + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{ความร้อน}$ 3. $\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ (or K}_2\text{CO}_3) + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2 \text{NaOH (or KOH)} + \text{ความร้อน}$	$2\text{LiOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{ความร้อน}$ $2\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Li}_2\text{CO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} - \text{ความร้อน}$
การเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์	เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์	ไม่มี

ที่มา: ดัดแปลงจากหนังสือ Miller's anesthesia. 8th ed. Inhaled anesthetics: delivery system. 2015.

ปฏิกิริยาของสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับยาดมสลบ

ในปี ค.ศ.1940 พบว่าปฏิกิริยาของยาดมสลบไตรคลอโรเอทิลีน (trichloroethylene) กับสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ชนิด Soda lime ทำให้เกิดสารพิษไดคลอโรเอทิลีน (dichloroethylene) มีฤทธิ์การระคายเคืองผิวหนัง คลื่นไส้ วิงเวียน สับสน และยังทำลายเส้นประสาทสมองคู่ที่ 5 ทำให้เกิดสมองอักเสบได้

จากการศึกษาของ Elena J. และคณะ และการศึกษาของ Laster M. และคณะ พบว่าการใช้ sevoflurane ร่วมกับสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิด Baralyme

ทำให้อุณหภูมิของ Baralyme สูงขึ้นมากกว่า 200 องศาเซลเซียส¹³⁻¹⁴ ต่อมา Fatheree RS. ได้รายงานกรณีตัวอย่างผู้ป่วยที่ใช้ sevoflurane ร่วมกับสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิด Baralyme เกิดภาวะหายใจล้มเหลวเฉียบพลัน (acute respiratory distress syndrome) ร่วมกับการพบว่าอุณหภูมิของ Baralyme สูงขึ้น ทำให้ชิ้นส่วนของภาชนะบรรจุ Baralyme หลอมละลาย¹⁵ นอกจากนี้ยังพบข้อมูลสนับสนุนจาก Barbara A. และคณะ เป็นรายงานกรณีตัวอย่าง การระเบิดในวงจรให้ยาดมสลบในผู้ป่วยที่ใช้ sevoflurane ร่วมกับสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิด Baralyme อีกด้วย¹⁶

พบว่าเมื่อ sevoflurane ทำปฏิกิริยากับสารเร่งปฏิกิริยาในสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเฉพาะในสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิด Soda lime และ Baralyme จะเกิดสารประกอบ “fluoromethyl-2,2-difluoro-1-(trifluoromethyl) vinyl ether” หรือที่รู้จักในชื่อ compound A ซึ่งจากผลการทดลองในหนูพบว่า compound A ทำให้ไตหนูทำงานแย่ลง¹⁷⁻¹⁹ ในปัจจุบันพบว่าการใช้ยาดมสลบ sevoflurane ในผู้ป่วยที่เข้ารับการผ่าตัด ไม่ทำให้เกิดภาวะไตทำงานบกพร่อง²⁰ อย่างไรก็ตามพบว่าปัจจัยที่ส่งผลให้เกิด compound A ปริมาณเพิ่มขึ้นได้แก่ 1) การใช้เทคนิคให้ก๊าซออกซิเจนและก๊าซยาสลบด้วยอัตราการไหลต่ำ²¹ 2) การเปิดใช้ยาดมสลบชนิด sevoflurane ให้มีความเข้มข้นในวงจรให้ยาสลบสูง โดยแนะนำให้เปิดไม่เกิน 2 MAC-hr ถ้าใช้อัตราการไหลของก๊าซ 1-2 ลิตร (MAC-hr คือผลรวมของค่าความเข้มข้นของยาดมสลบในถุงลมปอดหรือเรียกว่าค่า MAC ในระยะเวลาที่ผู้ป่วยสัมผัสยาดมสลบ ตัวอย่างเช่น ถ้าผู้ป่วยได้รับยาดมสลบ 1.5 MAC เป็นเวลา 30 นาที จะมีค่าเท่ากับ 0.75 MAC-hr)²² 3) ความเข้มข้นของเบสแก่ที่เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาในสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์²³⁻²⁷ 4) อุณหภูมิของสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่สูงขึ้น²¹ และ 5) สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่แห้ง²¹

การเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ จากปฏิกิริยาระหว่างยาดมสลบกับสารกระตุ้นปฏิกิริยาในสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์^{13,20,28} นั้นมักพบในผู้ป่วยที่เข้ารับการยาดมสลบรายแรกของวันจันทร์ จึงเรียกอุบัติการณ์นี้ว่า “monday morning disease”²⁸ โดยพบอุบัติการณ์ดังกล่าวในผู้ป่วยที่เข้ารับการดมยาสลบร้อยละ 0.46 ส่วนกลไกการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์นั้น อาศัยการคายประจุบวกจากเบสแก่ในสารดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดเป็นสาร carbanion ซึ่งจะสลายตัวและทำปฏิกิริยาต่อ ได้เป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในที่สุด²⁹ เมื่อก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าสู่กระแสเลือด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะเข้าไปจับกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง กลายเป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (carboxyhemoglobin) ส่งผลให้เม็ดเลือดแดงไม่สามารถจับกับออกซิเจนได้ตามปกติ พบว่าเมื่อระดับคาร์บอกซี

ฮีโมโกลบินในเลือดเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 30-50 จะทำให้ผู้ป่วยมีอาการ หัวใจเต้นเร็ว ออกซิเจนในเลือดต่ำ พบความผิดปกติของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ สูญเสียการทำงานของระบบประสาท กล้ามเนื้ออ่อนแรง ปวด/เวียนศีรษะ คลื่นไส้และการมองเห็นผิดปกติ และเมื่อระดับคาร์บอกซีฮีโมโกลบินสูงถึงร้อยละ 50-80 จะทำให้ผู้ป่วยหมดสติ ชัก และเสียชีวิตได้³⁰ พบว่าปัจจัยที่ส่งเสริมการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มสูงขึ้นคือ 1) การใช้เทคนิคให้ก๊าซออกซิเจนและก๊าซยาสลบด้วยอัตราการไหลต่ำ ซึ่งเป็นปัจจัยหลัก²¹ 2) การเปิดใช้ยาดมสลบให้มีความเข้มข้นในวงจรให้ยาสลบสูง²² 3) ความเข้มข้นของเบสแก่ที่เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาในสารดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์²³⁻²⁷ 4) ชนิดของยาดมสลบ โดยเรียงจากการส่งเสริมให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์จากมากไปน้อยได้ดังนี้ desflurane > enflurane > isoflurane >> halothane = sevoflurane²¹ 5) อุณหภูมิของสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงขึ้น²¹ และ 6) สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่แห้ง²¹

กล่าวโดยสรุปสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยากับยาดมสลบไอระเหย และทำให้ได้สารประกอบทางเคมีที่เป็นพิษ เพื่อหลีกเลี่ยงเหตุการณ์ดังกล่าวจึงควรปิดเครื่องดมยาสลบเมื่อไม่ใช้ เพื่อป้องกันการนำยาดมสลบไปทำปฏิกิริยากับสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีการเปลี่ยนสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะในเช้าวันจันทร์, มีการเปลี่ยนสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อสารดูดซับกลายเป็นสีม่วง และกรณีที่เปลี่ยนสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ที่เป็นสองภาชนะ ควรเปลี่ยนทั้งสองภาชนะบรรจุ²⁸

สารบ่งชี้การเสื่อมสภาพ (Indicator)⁵

นิยมใช้สารที่บ่งชี้สภาพความเป็นกรด-ด่าง ชื่อ ethyl violet ซึ่งมี triphenylmethane dye เป็นองค์ประกอบ ในภาวะปกติสารดังกล่าวจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 10.3 และไม่มีสี ทำให้สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานมีสีขาว เมื่อผ่านการใช้งาน ค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลง ทำให้สารบ่งชี้เปลี่ยนเป็นสีม่วง โดยเริ่มจากบริเวณใกล้ท่อนำก๊าซเข้า ตรงกลางของภาชนะบรรจุสาร

ดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กระจายออกทางรอบนอก และเคลื่อนลงด้านล่างตามความยาวของภาชนะบรรจุ สีม่วงดังกล่าวสามารถเปลี่ยนกลับเป็นสีขาวได้ ในกรณีที่ใช้สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิดที่มีสารเร่งปฏิกิริยาเป็นเบสแก่ และในกรณีที่สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ถูกใช้ไปแล้ว สัมผัสกับแสงฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent light)

ข้อบ่งชี้ในการเปลี่ยนสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้แก่ พบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในลมหายใจเข้า สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นสีม่วงเข้ม อุณหภูมิของภาชนะบรรจุสารดูดซับไม่เพิ่มสูงขึ้น เปลี่ยนตามระยะเวลาการใช้งาน พบความแข็งของสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนแปลง และผู้ป่วยมีอาการแสดง ได้แก่ หัวใจเต้นเร็ว ความดันโลหิตสูง อาการของการกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติก เลือดออกจากแผลผ่าตัดเพิ่มขึ้น หัวใจเต้นผิดจังหวะ และหายใจลึกขึ้น

ความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์⁵

ความสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะเพิ่มขึ้นเมื่อ 1) แรงเสียดทานการไหลของอากาศลดลง 2) พื้นที่ผิวของสารดูดซับที่สัมผัสกับลมหายใจออกเพิ่มขึ้น 3) ความพรุนของสารดูดซับลดลง 4) คุณสมบัติการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ

5) ขนาดเม็ดดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมคือ ขนาด 4-8 Mesh

สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดใหม่

Yabashi lime เป็นสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดใหม่ ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก 3 อันติดกัน (triplet cylinder) มีพื้นที่ผิวสัมผัสกว้าง ทำให้ระบายความร้อนได้ดี³¹ ไม่มีเบสแก่ ทั้งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นองค์ประกอบ จึงไม่ก่อให้เกิด compound A (ตารางที่ 3)

Kondoh K. และคณะได้ทำการศึกษาในสุนัข พบว่าการใช้ยาดมสลบชนิด sevoflurane ร่วมกับสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิด Yabashi lime นั้นไม่ก่อให้เกิด compound A และเมื่อใช้ร่วมกับเทคนิคให้ก๊าซออกซิเจนและก๊าซยาสลบด้วยอัตราการไหลต่ำ พบว่าสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ Yabashi lime มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ Sodasorb²¹

สุดท้ายการป้องกันความผิดพลาดจากการใช้สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ต้องอาศัย ทั้งการพัฒนาคุณสมบัติของสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อลดการเกิดภาวะแทรกซ้อนจากการใช้สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร่วมกับการให้ความรู้แก่บุคลากรทางวิสัญญี

ตารางที่ 3:

แสดงการเปรียบเทียบกับส่วนประกอบทางเคมีของ Yabashi lime และ Sodasorb²¹

สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	ส่วนประกอบทางเคมี (ร้อยละ)			
	แคลเซียม-ไฮดรอกไซด์	โพแทสเซียม-ไฮดรอกไซด์	โซเดียม-ไฮดรอกไซด์	น้ำ
Sodasorb	89	3	2.68	12-19
Yabashi lime	84	0	0	16

ที่มา: ดัดแปลงจากการศึกษาเรื่อง Performance of a new carbon dioxide absorbent, Yabashi lime® as compared to conventional carbon dioxide absorbent during sevoflurane anesthesia in dogs. 2015.

สรุป

การใช้สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในวงจรให้ยาระงับความรู้สึกให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุดนั้น ควรใช้อย่างถูกวิธี โดยหลีกเลี่ยงการใช้สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ก่อให้เกิดภาวะแทรกซ้อนที่รุนแรงเมื่อทำปฏิกิริยากับยาดมสลบ เช่นการใช้สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชนิด Baralyme ร่วมกับ sevoflurane และควรมีการเฝ้าระวังภาวะแทรกซ้อนต่าง ๆ เช่น การเกิด compound A ที่อาจทำให้ผู้ป่วยมีอาการทำงานของไตแย่ลง การเกิดพิษจากคาร์บอนมอนอกไซด์คั่ง ภาวะหายใจล้มเหลวเฉียบพลัน การระเบิดของวงจรให้ยาดมสลบ และการเกิดภาวะคาร์บอนไดออกไซด์คั่ง เป็นต้น นอกจากนี้การดูแลรักษาสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อย่างถูกวิธีนั้นมีความสำคัญเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการดูแลผู้ป่วย สามารถทำได้โดยปิดเครื่องดมยาสลบเมื่อไม่ใช้งาน เปลี่ยนสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างสม่ำเสมอ เปลี่ยนสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อสารดูดซับกลายเป็นสีม่วง และกรณีที่เปลี่ยนสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ที่เป็นสองภาชนะ ควรเปลี่ยนทั้งสองภาชนะบรรจุ ในปัจจุบันมีการพัฒนาสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ใหม่ให้คุณภาพดียิ่งขึ้น ล่าสุดคือ Yabashi lime ซึ่งเป็นสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ระบายความร้อนได้ดี จากผลการศึกษาก่อนหน้า พบว่า Yabashi lime ไม่ก่อให้เกิด compound A ถึงแม้ใช้ใน low flow anesthesia ร่วมกับยาดมสลบ sevoflurane อย่างไรก็ตามการศึกษาดังกล่าวเป็นการศึกษาในสุนัขทดลอง เก็บข้อมูลวิจัยเพียง 3 ชั่วโมงหลังให้ low flow anesthesia ร่วมกับยาดมสลบ sevoflurane ซึ่งอาจไม่นานพอที่ทำให้พบสาร compound A จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความปลอดภัยของการใช้ Yabashi lime ในมนุษย์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. Mychaskiw G. Low and minimal flow anesthesia: angels dancing on the point of a needle. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol.* 2012;28(4):423-5.
2. Hönemann C, Hagemann O, Doll D. Inhalational anaesthesia with low fresh gas flow. *Indian J Anaesth.* 2013;57(4):345-50.
3. Geoffrey Nunn BA. Low-flow anaesthesia. *Contin Educ Anaesth Crit Care Pain.* 2008;8(1):1-4.
4. WR Grace & Co - Conn. Sodasorb manual of carbondioxide absorption. 2nd ed. New York; 1993.
5. Venticinque SG, Andrews JJ. Inhaled anesthetics: delivery system. In: Miller RD, Eriksson LI, Fleisher LA, Jeanine P. Kronish W, Cohen NH, et al, editors. *Miller's anesthesia.* 8th ed. New York: Churchill Livingstone; 2015;p.780-91.
6. Peters G, Broome I, McDonald A. Rebreathing after incorrect assembly of sodalime canisters on Blease Sirius anaesthetic machines. *Anaesthesia.* 2007;62(8):860-1
7. Parthasarathy S. The closed circuit and the low flow systems. *Indian J Anaesth.* 2013;57(5):516-24.
8. Yamamoto T. Cases of carbon dioxide rebreathing without significant color change in the appearance of the carbon dioxide absorbent canisters. *J Anesth.* 2013;27(5):807-8.
9. Ianchulev SA, Comunale ME. To do or not to do a preinduction check-up of the anesthesia machine. *Anesth Analg.* 2005;101(3):774-6.
10. Verma N, Toal P. High inspired carbon dioxide levels due to misplaced central tubing of the absorbent canister. *Middle East J Anaesthesiol.* 2013;22(2):237-8.
11. Agrawal P, Gupta B, D'souza N. An unusual cause of carbon dioxide rebreathing in a circle absorber system. *J Anesth.* 2010;24(6):976-7.
12. Nagelhout JJ, Elisha S, Plaus K. *Nurse anesthesia.* 5th ed. St. Louis, MO: Elsevier Saunders Company; 2014;p.271.
13. Holak EJ, Mei DA, Dunning MB, Gundamraj R, Noseir R, Zhang L, et al. Carbon monoxide production from sevoflurane breakdown: modeling of exposures under clinical conditions. *Anesth Analg.* 2003;96(3):757-64.
14. Laster M, Roth P, Eger EI. Fires from the interaction of anesthetics with desiccated absorbent. *Anesth Analg.* 2004;99(3):769-74.

15. Fatheree RS, Leighton BL. Acute respiratory distress syndrome after an exothermic baralyme-sevoflurane reaction. *Anesthesiology*. 2004;101(2):531-3.
16. Castro BA, Freedman LA, Craig WL, Lynch C. Explosion within an anesthesia machine: Baralyme, high fresh gas flows and sevoflurane concentration. *Anesthesiology*. 2004;101(2):537-9.
17. Gonsowski CT, Laster MJ, Eger EI, Ferrell LD, Kerschmann RL. Toxicity of compound A in rats. Effect of increasing duration of administration. *Anesthesiology*. 1994;80(3):566-73.
18. Kandel L, Laster MJ, Eger EI, Kerschmann RL, Martin J. Nephrotoxicity in rats undergoing a one-hour exposure to compound A. *Anesth Analg*. 1995;81(3):559-63.
19. Laster MJ, Gong D, Kerschmann RL, Eger EI, Martin JL. Acetaminophen predisposes to renal and hepatic injury from compound A in the fasting rat. *Anesth Analg*. 1997;84(1):169-72.
20. Kharasch ED, Powers KM, Artru AA. Comparison of Amsorb® sodalime and Baralyme® degradation of volatile anesthetics and formation of carbon monoxide and compound a in swine in vivo. *Anesthesiology*. 2002;96(1):173-82.
21. Kondoh K, Atiba A, Nagase K, Ogawa S, Miwa T, Katsumata T, et al. Performance of a new carbon dioxide absorbent, Yabashi lime® as compared to conventional carbon dioxide absorbent during sevoflurane anesthesia in dogs. *J Vet Med Sci*. 2015;77(8):961-5.
22. Forman SA, Ishizawa. Inhaled Anesthetic Pharmacokinetics: Uptake, Distribution, Metabolism, and Toxicity. In: Miller RD, Eriksson LI, Fleisher LA, Jeanine P. Kronish W, Cohen NH, et al, editors. *Miller's anesthesia*. 8th ed. New York: Churchill livingstone; 2015;p.638-69.
23. Kobayashi S, Bito H, Obata Y, Katoh T, Sato S. Compound A concentration in the circle absorber system during low-flow sevoflurane anesthesia: comparison of Drägersorb Free®, Amsorb®, and Sodasorb II®. *J Clin Anesth*. 2003;15(1):33-7.
24. Versichelen LF, Bouche MP, Rolly G, Van Bocxlaer JF, Struys MM, De Leenheer AP. et al. Only carbon dioxide absorbents free of both NaOH and KOH do not generate compound A during in vitro closed-system sevoflurane: evaluation of five absorbents. *Anesthesiology*. 2001;95(3):750-5.
25. Versichelen L, Bouche MP, Struys M, Van Bocxlaer J, Mortier E, de Leenheer AP, et al. Compound A production from sevoflurane is not less when KOH-free absorbent is used in a closed-circuit lung model system. *Br J Anaesth*. 2001;86(3):345-8.
26. Keijzer C, Perez RS, de Lange JJ. Compound A and carbon monoxide production from sevoflurane and seven different types of carbon dioxide absorbent in a patient model. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2007;51(1):31-7.
27. Higuchi H, Adachi Y, Arimura S, Kanno M, Satoh T. Compound A concentrations during low-flow sevoflurane anesthesia correlate directly with the concentration of monovalent bases in carbon dioxide absorbents. *Anesth Analg*. 2000;91(2):434-9.
28. Coppens MJ, Versichelen LF, Rolly G, Mortier EP, Struys MM. The mechanisms of carbon monoxide production by inhalational agents. *Anaesthesia*. 2006;61(5):462-8.
29. Baxter PJ, Garton K, Kharasch ED. Mechanistic aspects of carbon monoxide formation from volatile anesthetics. *Anesthesiology*. 1998;89(4):929-41.
30. Anders MW. Formation and toxicity of anesthetic degradation products. *Annu Rev Pharmacol Toxicol*. 2005;45:147-76.
31. Yamakage M, Takahashi K, Takahashi M, Satoh JI, Namiki A. Performance of four carbon dioxide absorbents in experimental and clinical settings. *Anaesthesia*. 2009;64(3):287-92.

