

# เครื่องดมยาสลบ

## และวงจรระบบหายใจ

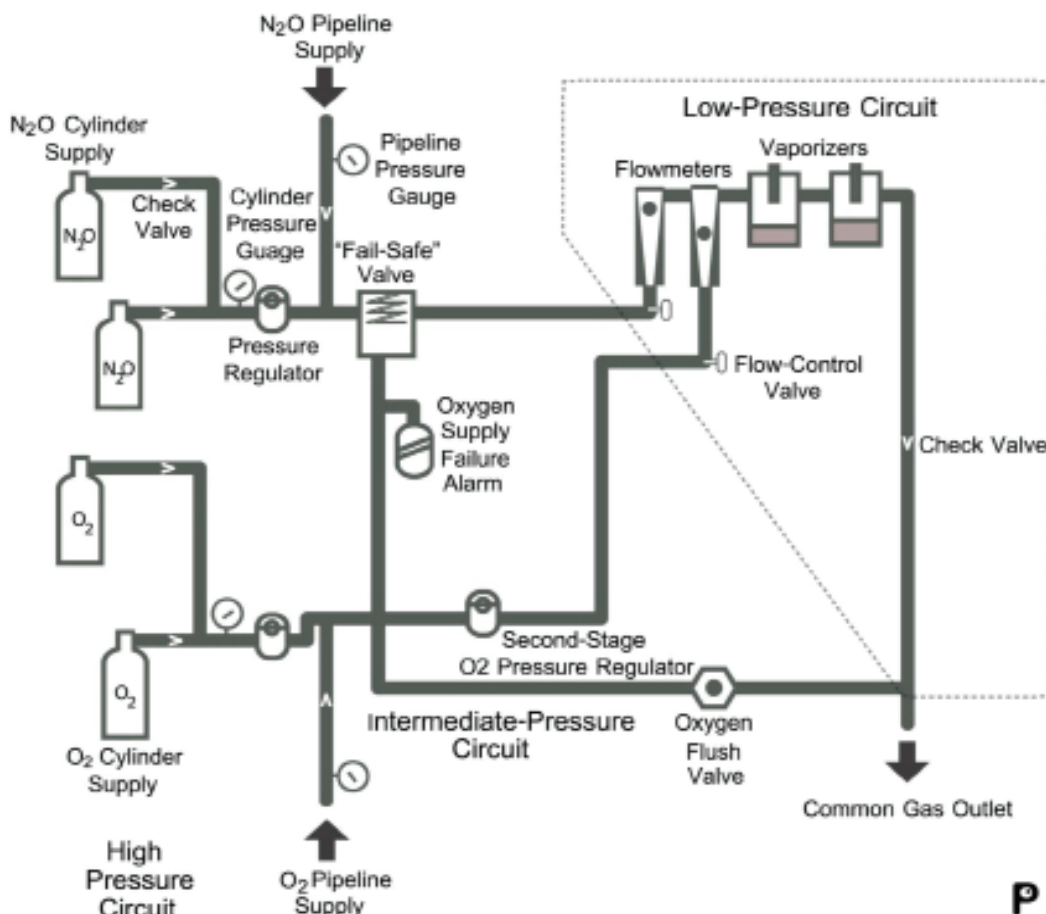
บุญยบุษ ศรัศิกัตวีวรากุล

### เครื่องดมยาสลบ<sup>1</sup>

เครื่องดมยาสลบและวงจรระบบหายใจ ประกอบด้วยอุปกรณ์หลายส่วน เมื่อนำมารวมกับเครื่องเฝ้าระวัง (monitor) เครื่องทำไอระเหยของยาดมสลบ (vaporizers) และระบบกำจัดก๊าซส่วนเกิน (scavenging system) เรียกรวมกันเป็น

anesthesia workstation

เครื่องดมยาสลบประกอบด้วย 2 ระบบใหญ่ๆ คือ ระบบอิเล็กทรอนิกส์ (electrical system) และระบบที่ทำงานโดยใช้แรงดันก๊าซเป็นตัวส่งกำลัง (pneumatic system) เครื่องดมยาสลบรุ่นใหม่ มักมีการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมระบบที่ทำงานด้วยไฟฟ้า ดังนั้นเครื่องของแต่ละบริษัทจึงมีความซับซ้อนและแตกต่างกันไป ผู้ใช้งานจำเป็นต้องศึกษาให้ละเอียดจากคู่มือการใช้งานของแต่ละเครื่องเพิ่มเติม



รูปที่ 1 ระบบของเครื่องดมยาสลบ

ดัดแปลงจาก : Riutort KT, Eisenkraft JB. The anesthesia workstation and delivery systems for inhaled anesthetics In: Barash P, Cullen BF, Stoelting

RK, editors. Clinical anesthesia. 7<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2013. p. 647.)

## ระบบอิเล็กทรอนิกส์ (electrical system)

### 1. สวิตช์เปิด-ปิดหลัก (master switch)

ใช้เปิดการทำงานของส่วนระบบอิเล็กทรอนิกส์และระบบที่ใช้แรงดันก๊าซเป็นตัวส่งกำลัง บางเครื่องมีระบบไฟสำรองเพื่อความรวดเร็วในการเปิดใช้งาน  
*ข้อควรระวัง* ควรปิดเครื่องทุกครั้งหลังใช้งานเสร็จ เพื่อให้คอมพิวเตอร์รับล้างข้อมูลเดิมอย่างน้อยทุก 24 ชั่วโมง เพื่อไม่ให้ระบบคอมพิวเตอร์รวน

### 2. ระบบเตือนไฟดับ (power failure indicator)

เมื่อเครื่องขาดแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามักมีเสียงหรือภาพเตือนผู้ใช้งาน

### 3. ระบบไฟสำรอง

เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานภายในเครื่องมักมีไฟสำรอง ใช้ได้ประมาณ 30 นาที

### 4. เต้าเสียบไฟฟ้า

บางเครื่องมีเต้าเสียบอยู่ข้างหลังเครื่อง เพื่อจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น เครื่องเฝ้าระวัง  
*ข้อควรระวัง* ไม่ควรใช้กับอุปกรณ์ที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูง เช่น เครื่องจีไฟฟ้า เครื่องดูดสูญญากาศ เพื่อป้องกันการใช้ไฟฟ้าเกินขนาด

### 5. ช่องเคเบิลสื่อสารข้อมูล

เพื่อเชื่อมต่อและส่งข้อมูลระหว่างเครื่องดมยาสลับ เครื่องเฝ้าระวังและระบบข้อมูลส่วนกลาง

## ระบบที่ทำงานโดยใช้แรงดันก๊าซเป็นตัวส่งกำลัง (pneumatic system)

แบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่

### 1. ระบบแรงดันสูง (high-pressure system)

รับก๊าซจากถังก๊าซ (cylinder) ซึ่งมีแรงดันสูงเข้าสู่เครื่องดมยาสลับ

A. Hanger yoke ทำหน้าที่ยึดถังก๊าซ ปิดถังให้สนิทและควบคุมให้ก๊าซไหลไปในทิศทางเดียว (unidirectional gas flow) มีระบบ Pin Index Safety System (PISS) เพื่อป้องกันการต่อก๊าซจากถังก๊าซผิดชนิด

B. Check valve ทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลของก๊าซจากถังก๊าซเข้าเครื่องดมยาสลับให้ไปในทิศทางเดียวและป้องกันไม่ให้ก๊าซไหลออกจากเครื่องเมื่อไม่มีถังก๊าซต่ออยู่ อย่างไรก็ตาม ถ้าไม่มีถังก๊าซต่ออยู่ควรนำปลั๊กมาปิด yoke ไว้

C. Cylinder pressure gauge เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดและแสดงค่าแรงดันก๊าซในถังก๊าซ อาจเป็นชนิดบูร์ดอง (Bourdon) หรือตัวเลขดิจิทัล

D. Pressure regulator เป็นอุปกรณ์ปรับแรงดันก๊าซ เพื่อปรับแรงดันของก๊าซจากถังก๊าซให้ลดลง

และมีอัตราไหลคงที่แรงดันที่ถูกปรับแล้วมักมีค่าต่ำกว่าแรงดันจากท่อส่งก๊าซ (pipeline) เพื่อให้ท่อส่งก๊าซเป็นตัวหลักในการจ่ายก๊าซ แม้ว่าจะเปิดถังก๊าซค้างไว้ อย่างไรก็ตามเมื่อแรงดันในท่อส่งก๊าซลดลง เครื่องดมยาสลบอาจใช้ก๊าซจากถังก๊าซที่เปิดค้างไว้ได้ ดังนั้นไม่ควรเปิดถังก๊าซทิ้งไว้ ขณะเลือกใช้ก๊าซจากท่อส่งก๊าซ

## 2.ระบบแรงดันปานกลาง (intermediate-pressure system)

รับก๊าซจาก pressure regulator หรือจากทางเข้าของท่อส่งก๊าซ

A. สวิตช์เปิด ปิดหลักในส่วนของระบบที่ทำงาน โดยใช้แรงดันก๊าซเป็นตัวส่งกำลังตั้งอยู่ที่ปลายทางออกของถังก๊าซและท่อส่งก๊าซ เมื่อปิดสวิตช์แรงดันจะลดลงเป็นศูนย์ทันที

B. Pipeline inlet connections เป็นส่วนต่อจากท่อส่งก๊าซเพื่อนำก๊าซจากท่อส่งก๊าซเข้าสู่เครื่องดมยาสลบ มีระบบป้องกันการต่อก๊าซผิดจากท่อส่งก๊าซเรียก Diameter Index Safety System (DISS)

C. Pipeline pressure gauges เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดและแสดงแรงดันก๊าซจากท่อส่งก๊าซ ควรตรวจสอบให้ค่าอยู่ที่ 50-55 ปอนด์ต่อตารางนิ้วหรือ 345-380 กิโลปาสกาลเสมอ โดยตัววัดแรงดันตั้งอยู่ปลายของท่อส่งก๊าซ ดังนั้นหากท่อส่งก๊าซหลุดหรือต่อไม่สนิท มาตรวัดจะอ่านค่าเป็นศูนย์แม้ว่าจะเปิดถังก๊าซอยู่ก็ตาม

D. Oxygen pressure failure devices เป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย กรณีแรงดันออกซิเจนต่ำ ได้แก่

- Oxygen supply failure alarm เป็นระบบสัญญาณ

เตือนเมื่อแรงดันออกซิเจนต่ำ เมื่อแรงดันออกซิเจนที่เข้าเครื่องดมยาสลบลดลงต่ำกว่า 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะเสียงสัญญาณเตือนนาน 5-7 วินาที

- Pressure sensor shut off valve หรือ fail safe valve เป็นระบบควบคุมการไหลของก๊าซอื่นเพื่อความปลอดภัย โดยเมื่อแรงดันออกซิเจนต่ำลงถึงจุดที่กำหนดระบบจะปิดไม่ให้มีไนตรัสออกไซด์ไหลออกจากเครื่องดมยาสลบ เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ป่วย ได้รับอันตรายจากการได้รับไนตรัสออกไซด์เพียงอย่างเดียว กรณีแรงดันออกซิเจนต่ำลงจนหมดและไม่สามารถจ่ายออกซิเจนให้ ผู้ป่วยได้

E. Second - stage pressure regulator เป็นอุปกรณ์ปรับลดแรงดันของก๊าซขั้นที่ 2 ทำหน้าที่ปรับแรงดันก๊าซจากถังก๊าซและท่อส่งก๊าซให้ระบบมีแรงดันลดลงและคงที่ โดยปรับให้แรงดัน ของไนตรัสออกไซด์ไม่เกิน 26 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือ 177 กิโล ปาสกาล และแรงดันของออกซิเจนไม่เกิน 14 ปอนด์ต่อตาราง นิ้ว หรือ 95 กิโลปาสกาล เพื่อจ่ายก๊าซเข้าสู่ตัวควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ (flowmeters) ให้คงที่มากขึ้น

F. Oxygen flush ปุ่มกดเพื่อจ่ายออกซิเจนแรงดันสูง

จากท่อส่งก๊าซหรือจากถังก๊าซโดยตรงไปยัง common gas outlet โดยตรงก๊าซที่ออกมาอี้อตราไหล 35 -75 ลิตรต่อนาที สามารถกดใช้ปุ่มนี้ได้แม้ว่าสวิตช์หลักจะถูกปิดอยู่

### ข้อควรระวัง

- หากใช้ oxygen flush ขณะใช้เครื่องดมยาสลบกับผู้ป่วย อาจก่อให้เกิดอันตรายจากแรงดันในทางเดินหายใจสูง (barotrauma) และมีความเสี่ยงที่จะทำให้ผู้ป่วยรู้สึกตัว ขณะให้ยาระงับความรู้สึก (awareness) เนื่องจากก๊าซที่ออกมาไม่ได้ผ่านเครื่องทำไธระเหย ทำให้ไม่มียาดมสลบออกมา และออกซิเจนปริมาณมากนั้นยังทำให้ปริมาณยาดมสลบที่มีอยู่ในวงจรหายใจถูกเจือจาง
- Oxygen flush ในเครื่องดมยาสลบบางรุ่นอาจจ่ายแรงดันได้ ไม่เพียงพอสำหรับการช่วยหายใจผ่าน catheter ในกรณีเจาะคอฉุกเฉิน

G. ปุ่มปรับอัตราการไหล ใช้ปรับอัตราการไหลของออกซิเจนอากาศและก๊าซอื่นๆ ที่จะออกจากเครื่องดมยาสลบ

### 3.ระบบแรงดันต่ำ (low-pressure system)

ตั้งอยู่ระหว่างปุ่มปรับอัตราการไหลและช่องทางออก ของก๊าซ (common gas outlet) ในระบบนี้ ก๊าซที่เข้ามาจะถูกปรับให้มีอัตราไหลที่คงที่ และแรงดันสูงกว่าบรรยากาศเพียงเล็กน้อย

#### A. Flowmeters คือ แท่งมาตรวัดอัตราการไหลของก๊าซ

โดยดั้งเดิมเป็นชนิด variable orifice flow indicator (Thorpe tube) มักผลิตจากแก้ว บริเวณส่วนที่แคบที่สุดอยู่ที่ด้านล่างของ flowmeter เมื่อไม่มีการไหลของก๊าซ ตัวชี้วัดจะตกอยู่ที่ด้านล่างสุดของ flowmeter ตัวชี้วัดควรเป็นอุปกรณ์ที่หมุนได้อย่างเป็นอิสระใน flowmeter และตัวชี้วัดนั้นต้องหมุนตลอดการใช้งาน ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการไหลผ่าน flowmeter คือ แรงดัน ขนาดเส้นรอบวงภายในของ flowmeter และคุณสมบัติของก๊าซ เมื่อก๊าซเปิดที่อัตราไหลต่ำ ก๊าซไหลในรูปแบบ laminar และเมื่อเปิดก๊าซที่อัตราไหลสูง ก๊าซไหลในรูปแบบ turbulent

ลักษณะการเรียงตัวของ flowmeter ของก๊าซแต่ละชนิดควรจัดให้ออกซิเจนอยู่ใกล้ทางออกหลักของก๊าซ (manifold outlet) มากที่สุด เพื่อป้องกันภาวะขาดออกซิเจน กรณีมีการรั่วของ flowmeter และป้องกันผู้ใช้งานสับสน เมื่อผู้ใช้งานหันหน้าเข้าหาเครื่องดมยาสลบ ตัวปรับออกซิเจนควรอยู่ทางขวามือ

B. Auxiliary oxygen flowmeter เป็นแท่งมาตรวัดอัตราการไหลของออกซิเจนเสริม สามารถให้ออกซิเจนโดยตรง ไม่ผ่านจาก common gas outlet ของเครื่องดมยาสลบ มักใช้ต่อกับ face mask หรือ nasal cannula เป็น flowmeter ชนิดสั้น สามารถให้อัตราไหลได้ประมาณ 10 ลิตรต่อนาที แม้ปิดสวิตช์หลักของเครื่องดมยาสลบก็สามารถเปิดใช้งานได้

C. Unidirectional หรือ check valve เป็นอุปกรณ์ควบคุมการไหลของก๊าซให้ไปในทิศทางเดียวในเครื่องดมยาสลบบางรุ่นติดตั้งอยู่ระหว่างเครื่องทำไธระเหยของยาดมสลบและ common gas outlet ช่วยลดแรงดันที่อาจไหลย้อนกลับจาก oxygen flush valve หรือวงจรระบบหายใจ เข้าสู่ flowmeter

D. Common gas outlet คือ ท่อทางออกของก๊าซทุกชนิดและจากเครื่องทำไธระเหยของยาดมสลบ

เข้าสู่วงจรระบบหายใจ

วงจรระบบหายใจ (breathing systems)<sup>2</sup>

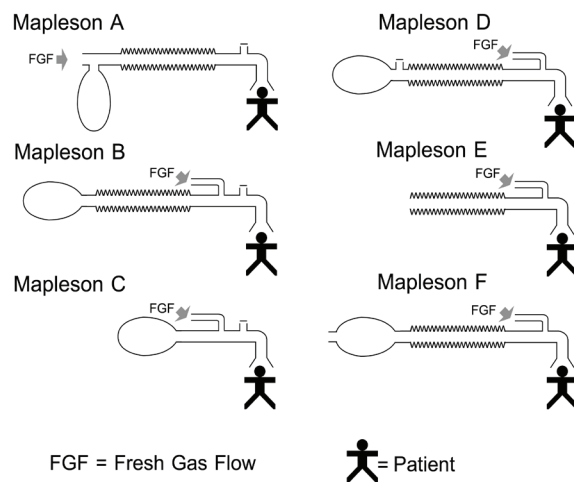
ตั้งแต่อดีตได้มีการพัฒนาระบบนำก๊าซและยาดมสลบเข้าสู่ผู้ป่วยมาอย่างต่อเนื่อง ทำให้ระบบที่ใช้ आज มีความซับซ้อนขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยแก่ผู้ป่วย รวมถึงความสะดวกในการใช้งาน โดยจะกล่าวถึงวงจรระบบหายใจที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

1. **Insufflation** คือ การพ่นก๊าซและยาดมสลบให้ผู้ป่วย โดยทางเดินหายใจของผู้ป่วยไม่สัมผัสกับวงจรระบบหายใจโดยตรง มีประโยชน์ในบางสถานการณ์ เช่น ผู้ป่วยเด็กที่ต่อต้านต่อหน้ากาก (face mask) และไม่นิยมไม่ให้แกงเปิดหลอดเลือดดำหรือในการผ่าตัดตาที่ทำภายใต้ยาชาเฉพาะที่ ผู้ป่วยจะถูกผ้าคลุมปิดบริเวณศีรษะและใบหน้าทำให้ आजมีภาวะคาร์บอนไดออกไซด์คั่งได้ สามารถแก้ปัญหานี้โดยพ่นออกซิเจนให้แก่ผู้ป่วยได้ ผ้าคลุมผ่าตัด ในอัตราไหลที่สูงพอคือ มากกว่า 10 ลิตรต่อนาที

เนื่องจากระบบนี้ไม่มีการสัมผัสกับทางเดินหายใจ จึงไม่เกิด rebreathing ของลมหายใจออก ไม่สามารถควบคุมการหายใจ (ventilation) ได้และมีอากาศเข้ามาผสมกับลมหายใจเข้าในปริมาณที่ไม่สามารถทำนายได้ ทำให้ไม่สามารถบอกได้ว่าผู้ป่วยได้รับออกซิเจนกี่เปอร์เซ็นต์

2. **Open-drop anesthesia** คือ วิธีที่ใช้ ether หรือ chloroform หยดผ่านหน้ากากที่มีผ้าก๊อชคลุม (Schimmlbusch mask) วางบนหน้าผู้ป่วย เมื่อผู้ป่วยหายใจเข้าอากาศถูกพาผ่านผ้าก๊อชทำให้ ether หรือ chloroform ระเหยกลายเป็นไอเข้าสู่ผู้ป่วย เป็นวิธีให้ยาระงับความรู้สึกทั่วไปที่มีบทบาทสำคัญในระยะแรก แต่มีข้อเสียคือระดับความลึกของการระงับความรู้สึกอาจไม่คงที่และก่อให้เกิดมลพิษในห้องผ่าตัดได้

3. **Mapleson circuit** พัฒนามาเพื่อแก้ไขข้อเสียของ 2 ระบบแรก คือ ความเข้มข้นของยาดมสลบไม่แน่นอน และการเกิดมลพิษในห้องผ่าตัด มีการแบ่งประเภทจากการเรียงลำดับของแต่ละส่วนประกอบ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 Mapleson circuit ประเภทต่างๆ

(ดัดแปลงจาก : Riutort KT, Eisenkraft JB. The anesthesia workstation and delivery systems for inhaled anesthetics In: Barash P, Cullen BF, Stoelting RK, editors. Clinical anesthesia. 7<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2013. p. 672.)

### ส่วนประกอบของ Mapleson circuit

ก. Breathing tube เป็น corrugated tube

ขนาดใหญ่ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร เพื่อลดแรงเสียดทานและยังเป็น reservoir ให้ก๊าซ ยادمสลบปริมาตรใน breathing tube ควรมีขนาดที่มากกว่า tidal volume ของผู้ป่วย

Compliance คือ ค่าของปริมาตรที่เปลี่ยนไปต่อแรงดันที่เปลี่ยนไป

Compliance ของ breathing tube

เป็นตัวกำหนด compliance ของวงจรรระบบหายใจ โดยใน breathing tube ที่มีขนาดยาวทำให้ ปริมาตรที่ผู้ป่วยได้รับจริงมีค่าน้อยกว่าปริมาตรของก๊าซที่เข้าสู่ reservoir bag และเครื่องช่วยหายใจเช่น ในระบบที่มีค่า compliance 8 มิลลิลิตรต่อเซนติเมตรน้ำ เมื่อช่วยหายใจด้วยแรงดันที่ 20 เซนติเมตรน้ำ ค่า tidal volume จะสูญเสียไปในระบบ 160 มิลลิลิตร

ข. Fresh gas inlet

เป็นช่องทางเข้าของก๊าซที่ออกจากเครื่องดมยาสลบเข้าสู่วงจรรระบบหายใจ โดยการวางตำแหน่ง fresh gas inlet เป็นตัวหลักในการแบ่ง Mapleson circuit ประเภทต่าง ๆ

ค. Adjustable pressure-limiting (APL) valve (pressure-relief valve, pop-off valve)

คืออุปกรณ์ปรับแรงดันในวงจรรระบบหายใจ ควรหมุนเปิด APL valve เต็มที่ขณะผู้ป่วย หายใจเองและ ควรปิด APL valve บางส่วน เมื่อต้องการช่วยหายใจด้วยแรงดันบวกให้แก่ผู้ป่วย

ง. Reservoir bag ใช้สร้างแรงดันบวกเพื่อการช่วยหายใจ

### คุณลักษณะของ Mapleson circuit

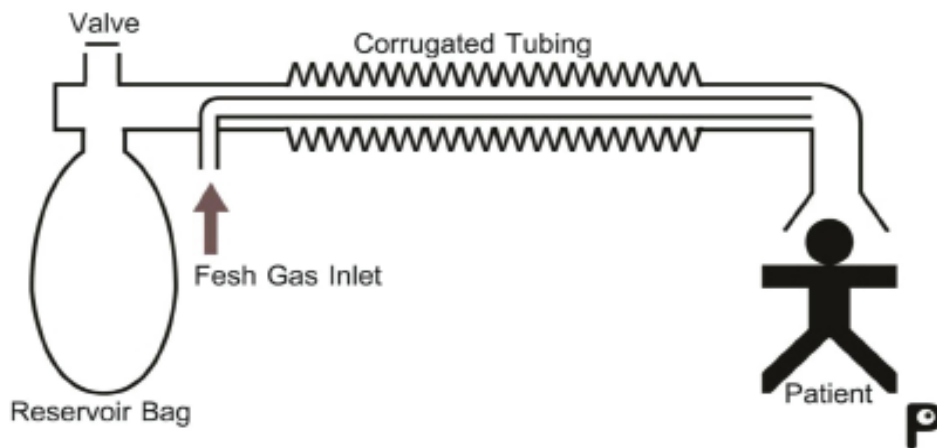
เป็นระบบที่มีน้ำหนักเบา ราคาถูกและไม่ค่อยซับซ้อน เนื่องจากไม่มี unidirectional valve และ CO<sub>2</sub> absorber ในระบบจึงจำเป็นต้องใช้ fresh gas flow ที่เพียงพอเพื่อขับลมหายใจออกผ่านทาง APL valve ก่อน หายใจเข้า

Mapleson A, B, C circuit จัดวาง APL valve ติดกับ face mask และจัดวาง reservoir bag อยู่ฝั่ง ตรงข้าม กรณีที่หายใจเอง คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งถูกขับออกมาเมื่อหายใจออก บางส่วนจะถูกระบายออกทาง APL valve และส่วนหนึ่งเข้าสู่ breathing tube จากนั้น fresh gas flow จะขับก๊าซที่ตกค้างใน breathing tube ออกทาง APL valve ก่อนการหายใจเข้าครั้งต่อไป ดังนั้นเพื่อให้ลมหายใจเข้าครั้งต่อไปมีก๊าซใหม่ เพียงพอ breathing tube ต้องมีปริมาตรมากกว่าหรือเท่ากับ tidal volume

Mapleson A circuit เหมาะสำหรับการใช้ในกรณีผู้ป่วยหายใจเองมากที่สุด เนื่องจากใช้ fresh gas flow เท่ากับ minute ventilation สามารถป้องกัน rebreathing ได้

Mapleson D circuit ได้สลับตำแหน่งของ APL valve และ fresh gas inlet โดยให้ fresh gas inlet ติดกับ face mask และให้ fresh gas flow ชั้บก้าซในถุงลมออกและระบายออกทาง APL valve ทำให้ Mapleson D circuit เหมาะสำหรับการช่วยหายใจชนิดควบคุมการหายใจมากที่สุด

Bain circuit คือ ระบบ Mapleson D circuit ที่ดัดแปลงนำ fresh gas inlet เข้าไปอยู่ข้างใน breathing tube สามารถรักษาความอุ่นของลมหายใจเข้าได้ดีขึ้น ข้อเสีย คือ ท่อภายในอาจหักงอหรือมีข้อต่อ หลุด ทำให้เกิด rebreathing หรือขาดออกซิเจนได้



รูปที่ 3 Bain circuit

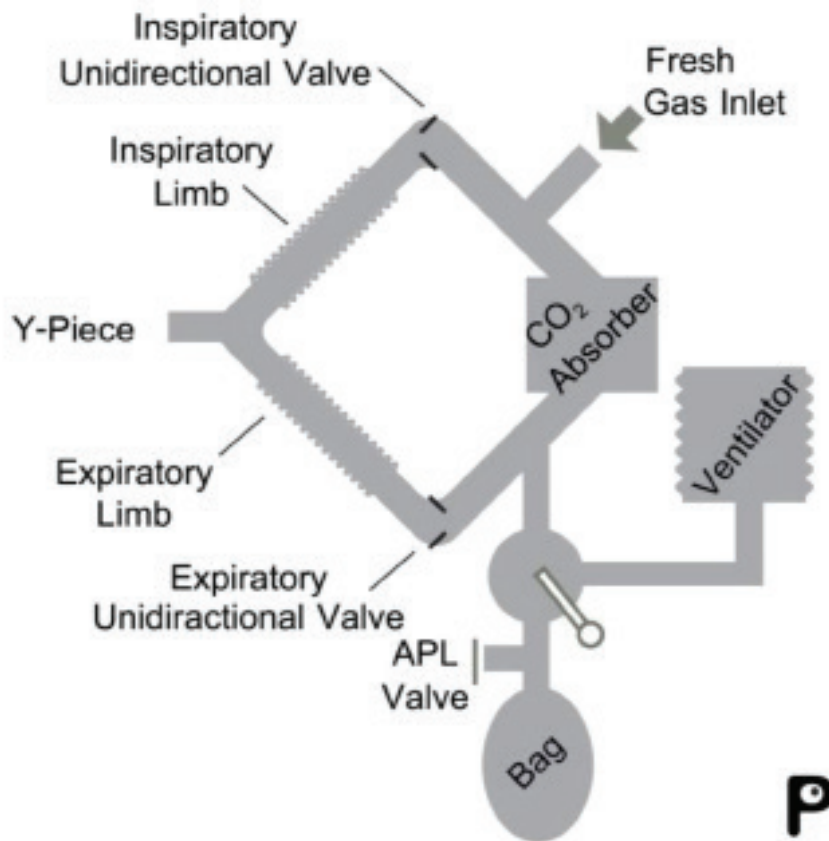
(ดัดแปลงจาก : Riutort KT, Eisenkraft JB. The anesthesia workstation and delivery systems for inhaled anesthetics In: Barash P, Cullen BF, Stoelting RK, editors. Clinical anesthesia. 7<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2013. p. 673.)

#### 4. Circle circuit

ได้พัฒนามาเพื่อลดการเกิด rebreathing ของคาร์บอนไดออกไซด์ ลดมลพิษในห้องผ่าตัด รักษาความชื้นและความอุ่นของลมหายใจผู้ป่วยได้ดีขึ้น

ประกอบด้วย

- 1) CO<sub>2</sub> absorber และ CO<sub>2</sub> absorbent
- 2) Fresh gas inlet
- 3) Inspiratory unidirectional valve และ inspiratory breathing tube
- 4) Y-connector
- 5) Expiratory unidirectional valve และ expiratory breathing tube
- 6) APL valve
- 7) Reservoir



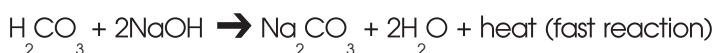
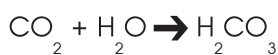
รูปที่ 4 circle circuit

(ดัดแปลงจาก : Riutort KT, Eisenkraft JB. The anesthesia workstation and delivery systems for inhaled anesthetics In: Barash P, Cullen BF, Stoelting RK, editors. Clinical anesthesia. 7<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2013. p. 649.)

### ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบ

ก. CO<sub>2</sub> absorber และ CO<sub>2</sub> absorbent<sup>3</sup> ทำหน้าที่กำจัดคาร์บอนไดออกไซด์จากลมหายใจออก ป้องกันการเกิดภาวะคาร์บอนไดออกไซด์คั่ง

- หลักการ คือ สารที่มีความเป็นกรดทำให้มีค่าเป็นกลางได้ด้วยสารที่มีความเป็นด่าง เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์จากลมหายใจออกรวมกับน้ำ เกิดกรดคาร์บอนิก (carbonic acid) เมื่อทำปฏิกิริยากับ CO<sub>2</sub> absorbent ซึ่งเป็นด่าง (sodalime, calcium hydroxide lime) เกิดเป็นน้ำ calcium carbonate และความร้อน ดังสมการ





- Absorbent โดยดั้งเดิมมีส่วนประกอบของ potassium และ sodium hydroxide ปริมาณมาก เมื่อ absorbent แห่งนี้จะยังคงสีเดิม ประสิทธิภาพในการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง แต่กลับดูดซึมยาดมสลบมากขึ้น ทำให้ปล่อยยาดมสลบออกมาในภายหลัง อาจทำให้การนำสลบช้าลงหรือผู้ป่วยตื่นซ้ำ absorbent ที่แห้งเมื่อทำปฏิกิริยากับยาดมสลบ จะเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ พบมากที่สุดกรณีใช้ desflurane ส่วนกรณีใช้ sevoflurane ทำให้เกิด compound A, formaldehyde และ methanol ได้

- Absorbent ในปัจจุบันได้เลิกใช้ potassium hydroxide และผสม sodium hydroxide ลดลง เนื่องจาก potassium hydroxide ทำให้เกิดพลังงานความร้อนสูง เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ formaldehyde และ compound A ขณะที่ sodium hydroxide ใน absorbent ที่แห้งจะก่อให้เกิดปัญหาดังที่กล่าวมา

- Compound A เป็นผลจากการสลายของ sevoflurane เมื่อใช้ sevoflurane ความเข้มข้นสูงเป็นเวลานาน และใช้อัตราไหลของก๊าซที่ต่ำ พบว่า compound A ทำให้เกิดพิษต่อไตในสัตว์ทดลอง

- การหมดอายุการใช้งานของ absorbent ดูได้จากการเปลี่ยนสีของตัวชี้วัด (indicator) ซึ่งจะเปลี่ยนไปตาม pH ที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น ethyl violet เปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีม่วงเมื่อสีเปลี่ยนไปร้อยละ 50 - 70 แนะนำให้เปลี่ยน absorbent อย่างไรก็ตาม เมื่อพักการใช้งาน สีอาจกลับไปเป็นสีเดิมได้

- การบรรจุ absorbent ควรมียพื้นที่ว่างระหว่างเม็ด absorbent ในปริมาณมากกว่า tidal volume ของผู้ป่วย ภาชนะที่ใส่ควรเป็นสีใส เพื่อมองเห็นเม็ดสีที่เปลี่ยนไปได้

- Absorbent ชนิดใหม่ๆ เช่น Amsorb<sup>®</sup> และ Litholyme<sup>®</sup> จะไม่มีสารประกอบที่เป็นด่างรุนแรง และส่วนประกอบเปลี่ยนเป็น calcium hydroxide หรือ lithium chloride ทำให้ไม่เกิดปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้น อายุการใช้งานนานขึ้นและเมื่อเปลี่ยนสีแล้วจะไม่เปลี่ยนสีกลับ

ข. Unidirectional valve เป็นอุปกรณ์ควบคุมทิศทางการไหลของก๊าซ ให้ไหลไปในทิศทางเดียว โดย inspiratory valve จะปิดขณะหายใจออก เพื่อป้องกันไม่ให้ลมหายใจออกปนกับลมหายใจเข้าด้าน inspiratory limb หาก inspiratory valve เสียหรือติดขัด อาจเกิด CO<sub>2</sub> rebreathing และเกิดภาวะคาร์บอนไดออกไซด์คั่งได้

ข้อควรระวังเกี่ยวกับ circle system

- ปริมาณ fresh gas flow ที่ใช้ใน circle system ที่มี CO<sub>2</sub> absorbent เพื่อป้องกัน CO<sub>2</sub> rebreathing ทำให้สามารถใช้ fresh gas flow ต่ำ คือน้อยกว่า 1 ลิตรต่อนาทีได้ หรือใช้เท่าที่ผู้ป่วยต้องการในการหายใจ แต่ถ้าไม่ต้องการให้เกิด rebreathing เลย ควรใช้ fresh gas flow ที่มากกว่า 5 ลิตรต่อนาที

- Dead space คือ ส่วนของวงจรระบบหายใจที่ก๊าซภายในส่วนนี้เมื่อผู้ป่วยหายใจเข้า จะไม่ถูกนำไปแลกเปลี่ยนก๊าซ ซึ่ง dead space ใน circle system เริ่มตั้งแต่ส่วนของ Y-piece คือบริเวณที่ก๊าซจาก inspiratory limb และ expiratory limb รวมกัน หากมี dead space มากขึ้น ควรเพิ่ม tidal volume เพื่อให้ก๊าซที่จ่ายเข้าสู่ปอดได้เท่าเดิม compliance ของ corrugate tube มีผลต่อ tidal volume เช่นเดียวกันกับ Mapleson circuit ดังนั้นควรเลือก corrugate tube ที่มี compliance ต่ำ โดยเฉพาะผู้ป่วยเด็กเพื่อลด dead space และลดน้ำหนักของสาย

- แรงต้านทานในวงจรระบบหายใจแบบ circle system

ส่วนใหญ่เกิดจาก unidirectional valve และ absorber โดยเฉพาะเมื่อใช้อัตราการหายใจที่เร็วและใช้ tidal volume สูง อย่างไรก็ตามแม้มีแรงต้านทานอยู่ในระบบ ก็สามารถใช้ circle system กับทารกคลอดก่อนกำหนดได้

- การกักเก็บความชื้นและความอุ่นของลมหายใจ absorbent จะช่วยรักษาความชุ่มชื้น และทำให้ลมหายใจในระบบอุ่นขึ้น

- เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ควรใช้ bacteria filter ใส่ที่ inspiratory limb และ expiratory limb หรือที่ Y-piece

### ข้อเสียของ circle System

ระบบมีขนาดใหญ่ พกพาไม่สะดวก มีความซับซ้อน absorbent อาจเสื่อมหรือเกิดปัญหาได้ และเมื่อเปิดอัตราการไหลของก๊าซต่ำ จะทำให้ความเข้มข้นของยาดมสลบในลมหายใจเข้ามีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าที่เปิดได้

ผู้ใช้เครื่องดมยาสลบและวงจรระบบหายใจ ควรศึกษา ดูแล หมั่นตรวจสอบอุปกรณ์ให้ดีใช้งานด้วยความระมัดระวัง เพื่อความปลอดภัยสูงสุดในการดูแลผู้ป่วย

### เอกสารอ้างอิง

- 1.Dorsch JD, Dorsch SE. The anesthesia machine. In: Dorsch JD, Dorsch SE, editors. A practical approach to anesthesia equipment. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2011. p. 49-77.
- 2.Dorsch JD, Dorsch SE. Breathing systems. In: Dorsch JD, Dorsch SE, editors. A practical approach to anesthesia equipment. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2011. p. 108-62.
- 3.Butterworth JF, Mackey DC, Wasnick JD. Breathing systems. In: Butterworth JF, Mackey DC, Wasnick JD, editors. Morgan & Mikhail's clinical anesthesiology. 5<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill; 2013. p. 29-42