บทฟื้นฟูวิชาการ . Review Article

การใช้บอลลูนอุดตันเส้นเลือดแดงใหญ่เพื่อห้ามเลือดในการกู้ชีวิตผู้บาดเจ็บ ณ ห้องฉุกเฉิน

ภาณุ ธีรตกุลพิศาล

หน่วยศัลยศาสตร์อุบัติเหตุ ภาควิชาศัลยศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Emergency Room – Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta in Trauma Patient

Panu Teeratakulpisarn

Trauma unit, Department of Surgery, Faculty of Medicine, Khon Kaen University

Received: 19 January 2021

Accepted: 19 February 2021

ภาวะเลือดออกบริเวณลำตัวที่ไม่สามารถกดหยุดห้ามเลือดได้ไม่ว่าจะเป็นช่องอก ช่องท้อง หรืออุ้งเชิงกราน เป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้ผู้บาดเจ็บเสียชีวิต ในอดีตที่ผ่านมาการผ่าตัดเปิดทรวงอกเพื่อกู้ชีวิตสามารถเพิ่มอัตรารอดชีวิตโดยรวมได้เพียงร้อยละ 8.5 ซึ่งมีผลลัพธ์ที่ไม่เป็นที่น่าพอใจและแนะนำให้ทำในเฉพาะรายที่ไม่มีชีพจรแล้วเท่านั้น จึงเป็นที่มาของการทำหัตถการเพื่อกู้ชีวิตในรูปแบบใหม่ที่เรียกกันว่า “การใช้บอลลูนอุดตันเส้นเลือดแดงใหญ่เพื่อห้ามเลือดในการกู้ชีวิตผู้บาดเจ็บ” คือ การสอดอุปกรณ์ที่เป็นลักษณะของบอลลูนเข้าไปในหลอดเลือดแดงบริเวณขาหนีบ แล้วเคลื่อนอุปกรณ์ผ่านหลอดเลือดเข้าไปยังเส้นเลือดแดงใหญ่ในทรวงอก เพื่อทำการขยายบอลลูนเพื่ออุดตันเส้นเลือดแดงใหญ่ไม่ให้เลือดไหลผ่านลงมายังร่างกายส่วนล่างที่มีบาดแผลเลือดออก ผลที่ได้รับคือ เลือดไหลจากบาดแผลภายในช่องท้องหรือเชิงกรานชะลอลง และเพิ่มปริมาณเลือดไหลกลับสู่หัวใจและอวัยวะสำคัญที่อยู่เหนือต่อจุดอุดตัน แล้วจึงนำผู้บาดเจ็บไปผ่าตัดรักษาเพื่อห้ามเลือดในช่องท้องหรือเชิงกรานต่อไป ถือเป็นวิธีที่ช่วยเพิ่มอัตรารอดชีวิตในผู้บาดเจ็บให้มากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: บอลลูนอุดตันเส้นเลือด; กู้ชีวิต; ผู้บาดเจ็บ; ความดันโลหิตต่ำ; เลือดออกในช่องท้อง

Non-compressible torso hemorrhage such as thorax, abdomen or pelvis is the leading cause of death in trauma patients. Previously, resuscitative thoracotomy provided 8.5% of survival rate which is not satisfactory and recommended in only cardiac arrested patient. It is the origin of the new life-saving procedure called “Resuscitative endovascular balloon occlusion of the Aorta – REBOA”. The procedure is to insert the balloon into the aorta via common femoral artery then inflate the balloon to occlusion of the aorta. The result is to slow down the hemorrhage in abdomen or pelvis and increase blood flow to heart and the organs above the occlusion level. Then move the patient to surgery for stop bleeding in abdomen or pelvis. Thus, this procedure will increase survival rate in trauma patients.

Key words: resuscitative; endovascular; balloon; occlusion; aorta; REBOA; hemorrhage; shock; trauma; torso hemorrhage

ศรีนครินทร์เวชสาร 2564; 36(3): 366-374. ● Srinagarind Med J 2021; 36(3): 366-374.

*Corresponding author : Panu Teeratakulpisarn, Trauma unit, Department of Surgery, Faculty of Medicine, Khon Kaen University. E-mail: panute@kku.ac.th

บทนำ

สาเหตุสำคัญที่ทำให้ผู้บาดเจ็บเสียชีวิตได้อย่างรวดเร็วคือภาวะเสียเลือด ไม่ว่าจะเกิดจากการเสียเลือดที่บริเวณรยางค์หรือลำตัว[1] ซึ่งผู้บาดเจ็บกลุ่มนี้สามารถรอดชีวิตได้หากได้รับการห้ามเลือดอย่างถูกต้องและรวดเร็ว[2] การเสียเลือดบริเวณรยางค์ในปัจจุบันสามารถทำการห้ามเลือดได้ตั้งแต่ ณ ที่เกิดเหตุโดยการใช้สายรัดห้ามเลือด (tourniquet) ซึ่งสามารถทำได้ง่าย รวดเร็ว อีกทั้งยังเพิ่มอัตรารอดชีวิตให้กับผู้บาดเจ็บได้อย่างมาก[3]

ภาวะเลือดออกบริเวณลำตัวที่ไม่สามารถกดหยุดห้ามเลือดได้ (Non-compressible torso hemorrhage) ไม่ว่าจะเป็นช่องอก ช่องท้อง หรืออุ้งเชิงกราน เป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้ผู้บาดเจ็บเสียชีวิต[4] โดยพยาธิสภาพส่วนใหญ่มักเกิดจากการฉีกขาดของอวัยวะภายใน เช่น ตับ ม้าม ไต เส้นเลือดแดงใหญ่ หรือการหักของกระดูกเชิงกราน ซึ่งการห้ามเลือดในบริเวณเหล่านี้มักเป็นหัตถการที่ใช้เวลานาน และต้องอาศัยความชำนาญของศัลยแพทย์เป็นอย่างมาก[5,6]

หากผู้บาดเจ็บสูญเสียการสูบฉีดเลือดของหัวใจ (loss of cardiac output) จากการบาดเจ็บและมีการเสียเลือดบริเวณลำตัว การแก้ไขปัญหาคือการผ่าตัดเปิดทรวงอกเพื่อกู้ชีวิต (resuscitative thoracotomy) ตั้งแต่ในห้องฉุกเฉินเพื่อทำการหนีบหลอดเส้นเลือดแดงใหญ่ (aortic cross clamp) ก่อนที่จะส่งผู้บาดเจ็บไปยังห้องผ่าตัด[7] หัตถการนี้สามารถเพิ่มอัตรารอดชีวิตของผู้บาดเจ็บเนื่องจากสามารถ[5,8]

- ระบายเลือดออกจากเยื่อหุ้มหัวใจ (release cardiac tamponade)
- ใช้มือบีบนวดหัวใจได้โดยตรง (internal cardiac massage)
- ลดการสูญเสียเลือดในตำแหน่งต่ำกว่าจุดอุดกลั้นเส้นเลือดแดงใหญ่ เช่นในช่องท้องหรือเชิงกราน
- เพิ่มประมาณเลือดไหลกลับสู่หัวใจและอวัยวะที่อยู่เหนือจุดอุดตัน เช่น หัวใจ ปอด และสมอง

ข้อบ่งชี้และข้อพิจารณาในการผ่าตัดเปิดทรวงอกเพื่อกู้ชีวิต (ตารางที่ 1)[9]

ในอดีตที่ผ่านมาการผ่าตัดเปิดทรวงอกเพื่อกู้ชีวิตเปรียบเสมือนฟางเส้นสุดท้ายที่จะยื้อชีวิตผู้บาดเจ็บที่มีสภาวะหัวใจหยุดเต้นไว้ อย่างไรก็ตาม หัตถการนี้สามารถเพิ่มอัตรารอดชีวิตโดยรวมได้เพียงร้อยละ 8.5 เท่านั้น[10] กล่าวคือ อัตรารอดชีวิตด้วยหัตถการนี้ในผู้บาดเจ็บที่มาด้วยอุบัติเหตุถูกยิง/แทงร้อยละ 15 และในผู้บาดเจ็บจากการกระแทกเพียงร้อยละ 2[11] ซึ่งมีผลลัพธ์ที่ไม่เป็นที่น่าพอใจและแนะนำให้ทำในเฉพาะรายที่ไม่มีชีพจรแล้วเท่านั้น[12] ทั้งยังสิ้นเปลืองทรัพยากรเป็นอย่างมาก เป็นเหตุให้ศัลยแพทย์ส่วนใหญ่หลีกเลี่ยงที่จะทำหัตถการนี้ อีกทั้งในปัจจุบัน เทคโนโลยีในการรักษาผู้บาดเจ็บและการผ่าตัดหลอดเลือดภายใน (endovascular surgery) ก้าวไกลมากขึ้น จึงเป็นที่มาของการทำหัตถการเพื่อกู้ชีวิตในรูปแบบใหม่ที่เรียกกันว่า “การใช้บอลลูนอุดตันเส้นเลือดแดงใหญ่เพื่อห้ามเลือดในการกู้ชีวิตผู้บาดเจ็บ” หรือ “Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta – REBOA”

ตารางที่ 1 ข้อบ่งชี้และข้อพิจารณาในการผ่าตัดทรวงอกเพื่อกู้ชีวิต

ข้อบ่งชี้ในการผ่าตัดทรวงอกเพื่อกู้ชีวิต (indications for resuscitative thoracotomy)
1. สภาวะหัวใจหยุดเต้นจากการบาดเจ็บ (post-injury cardiac arrest) จาก; - อุบัติเหตุถูกยิง/แทง (penetrating trauma) บริเวณทรวงอก และได้รับการกู้ชีพ <15 นาที - อุบัติเหตุถูกยิง/แทง บริเวณอื่นที่ไม่ใช่ทรวงอก และได้รับการกู้ชีพ <5 นาที - อุบัติเหตุจากการกระแทก (blunt trauma) และได้รับการกู้ชีพ <10 นาที
2. สภาวะความดันโลหิตต่ำต่อเนื่อง (persistent hypotension) SBP < 60 มม.ปรอท จาก; - ภาวะบีบรัดหัวใจ (cardiac tamponade) - เลือดออกในช่องอก ช่องท้อง รยางค์ หรือลำคอ - หลอดเลือดอุดตันจากอากาศ (air embolism)
ข้อห้ามในการผ่าตัดทรวงอกเพื่อกู้ชีวิต (contraindications for resuscitative thoracotomy)
1. ได้รับการกู้ชีพจากอุบัติเหตุถูกยิง/แทง > 15 นาที และไม่มีสัญญาณชีพตอบสนอง*
2. ได้รับการกู้ชีพจากการกระแทก >10 นาที และไม่มีสัญญาณชีพตอบสนอง*
3. สภาวะหัวใจหยุดเต้น (asystole) โดยไม่มีภาวะบีบรัดหัวใจ

*หมายถึง การตอบสนองต่อแสงของรูม่านตา การหายใจ และการขยับของกล้ามเนื้อ

หลักการและความสำคัญของ REBOA

ปัจจุบันการใช้ REBOA เพื่อกู้ชีวิตในผู้บาดเจ็บกำลังเป็นที่นิยมในสถาบันใหญ่ๆทั่วโลก หัตถการนี้สามารถชะลอการเสียเลือดในช่องท้อง เชิงกราน และรยางค์ส่วนล่างได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ซึ่งอัตราการรอดชีวิตของผู้บาดเจ็บที่ได้รับการรักษาด้วยหัตถการนี้ก็เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และมากกว่าการผ่าตัดเปิดทรวงอกเพื่อกู้ชีวิตในปัจจุบัน[13] หลักการของการทำหัตถการนี้คือ การสอดอุปกรณ์ที่เป็นลักษณะของบอลลูนเข้าไปในหลอดเลือดแดงบริเวณขาหนีบ (Common femoral artery) แล้วเคลื่อนอุปกรณ์ผ่านหลอดเลือดเข้าไปยังเส้นเลือดแดงใหญ่ในทรวงอก (thoracic aorta) จากนั้นทำการขยายบอลลูนเพื่ออุดตันเส้นเลือดแดงใหญ่ไม่ให้เลือดไหลผ่านลงมายังร่างกายส่วนล่างที่มีบาดแผลเลือดออก ผลที่ได้รับจะคล้ายกับการผ่าตัดทรวงอกช่วยชีวิตเพื่อทำการหนีบเส้นเลือดแดงใหญ่ (resuscitative thoracotomy) คือ[14]

1. เลือดที่ไหลจากบาดแผลภายในช่องท้องหรือเชิงกรานชะลอลง
2. เพิ่มปริมาณเลือดไหลกลับสู่หัวใจและอวัยวะสำคัญที่อยู่เหนือต่อจุดอุดตัน คือ หัวใจ ปอด และสมอง

หลังจากขยายบอลลูนเพื่ออุดตันเส้นเลือดแดงใหญ่แล้ว จึงนำผู้

บาดเจ็บไปผ่าตัดรักษาเพื่อห้ามเลือดในช่องท้องหรือเชิงกรานต่อไป

ประวัติความเป็นมา

จากประวัติศาสตร์ที่ผ่านมา ได้มีรายงานของการใช้บอลลูนอุดตันเส้นเลือดแดงใหญ่ในลักษณะคล้ายกับการทำ REBOA อยู่บ้าง กล่าวคือ มีรายงานของการใช้บอลลูนอุดตันเส้นเลือดแดงใหญ่ในผู้บาดเจ็บจากสงครามเกาหลีร่วมกับมีเลือดออกในช่องท้อง เมื่อ ค.ศ. 1954 จำนวน 2 ราย ซึ่งการทำหัตถการนี้สามารถช่วยเพิ่มความดันโลหิตในผู้บาดเจ็บรายหนึ่งได้ชั่วคราว อย่างไรก็ดี ผู้บาดเจ็บทั้งสองรายเสียชีวิตจากการผ่าตัดทั้งคู่[15] ถือเป็นการใช้บอลลูนเพื่ออุดตันเส้นเลือดแดงใหญ่ในผู้บาดเจ็บที่มีจารึกไว้ครั้งแรก

ในปี ค.ศ.1986 มีรายงานการใช้บอลลูนอุดตันเส้นเลือดแดงใหญ่ในผู้บาดเจ็บ 15 ราย พบว่า ความดันเลือดแดงเฉลี่ย (mean arterial pressure) หลังจากพองบอลลูนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผู้บาดเจ็บ 2 ราย รอดชีวิตในระยะยาว[16]

มีรายงานของการใช้ REBOA มากขึ้นเรื่อยๆแต่ส่วนมากมักใช้ในกรณีของเส้นเลือดแดงใหญ่โป่งพองแตก (ruptured aortic aneurysm) ซึ่งมักกระทำโดยศัลยแพทย์หลอดเลือดในห้องผ่าตัด จนกระทั่งประมาณปี ค.ศ. 2000 เริ่มมีรายงานการใช้ REBOA เพื่อกู้ชีวิตในผู้บาดเจ็บ และพบว่าสามารถเพิ่มความดันโลหิตซิสโตลิก (systolic blood pressure – SBP) ได้ประมาณ 53 มม.ปรอท อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถึงแม้จะไม่สามารถสรุปได้ว่าเพิ่มอัตรารอดชีวิตในผู้บาดเจ็บก็ตาม[14] อย่างไรก็ตาม ยังมีรายงานการศึกษาถึงประโยชน์ของการใช้ REBOA เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน และพบว่า สามารถช่วยเพิ่มความดันโลหิตได้ถึง 55 มม.ปรอท และสามารถช่วยให้ผู้บาดเจ็บที่มีสภาวะหัวใจหยุดเต้นกลับมามีชีพจรอีกครั้ง (return of spontaneous circulation – ROSC) ได้ถึงร้อยละ 60 อีกด้วย[17]

ข้อบ่งชี้และข้อพึงระวัง (Indications and Contraindications)

การเลือกผู้บาดเจ็บ[18-21]

จากการศึกษาพบว่า การทำ REBOA เหมาะสมกับผู้ที่มีความดันโลหิตต่ำจากการเสียเลือดรุนแรงและไม่ตอบสนองต่อการให้สารน้ำหรือเลือด กล่าวคือ

1. ผู้บาดเจ็บบริเวณช่องท้องหรือเชิงกราน (traumatic abdominopelvic hemorrhage)
2. ผู้ป่วยเส้นเลือดแดงใหญ่โป่งพองแตก (ruptured aortic aneurysm patient)
3. ภาวะตกเลือดหลังคลอด (postpartum hemorrhage)
4. เลือดออกในทางเดินอาหารรุนแรง (severe gastrointestinal hemorrhage)
5. ภาวะเลือดออกรุนแรงจากการทำหัตถการต่างๆ (exsanguination secondary to iatrogenic injury)

ในที่นี้จะมุ่งเน้นไปที่ผู้บาดเจ็บบริเวณช่องท้องหรือเชิงกรานเป็นหลัก โดยสามารถทำ REBOA ได้ตั้งแต่ โรงพยาบาลสนาม (combat injury austere setting), ห้องฉุกเฉิน (emergency room), ห้องผ่าตัด (operative room) และหออภิบาลผู้ป่วยหนัก (intensive care unit – ICU) แต่ไม่แนะนำให้ทำหัตถการ ณ ที่เกิดเหตุหรือห้วงก่อนโรงพยาบาล (pre-hospital setting) เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีความพร้อมทั้งในเรื่องของบุคลากรและเครื่องมือ

ข้อบ่งชี้ในการทำ REBOA ในผู้บาดเจ็บ (Indications)[18-21]

- ผู้บาดเจ็บที่มีเลือดออกในช่องท้องหรือเชิงกรานร่วมกับมีความดันซิสโตลิก (SBP) แรกรับ <90 มม.ปรอท ซึ่งไม่ตอบสนองต่อการให้ส่วนประกอบของเลือดหรือสารน้ำ
- ผู้บาดเจ็บที่มีภาวะเลือดออกระดับที่สี่ (class IV hemorrhage) ตาม ATLS® protocol
- ผู้บาดเจ็บดังกล่าวไม่ตอบสนองต่อการให้สารน้ำ (Non-responsive fluid resuscitation patient)
- ผู้บาดเจ็บที่มีเลือดออกในช่องท้องหรือเชิงกรานที่มีภาวะหัวใจหยุดเต้น (cardiac arrest due to abdominopelvic hemorrhage)

ข้อห้ามในการทำ REBOA (Contraindications)[18-21]

- ผู้บาดเจ็บมีภาวะเลือดออกรุนแรงที่บริเวณคอหรือทรวงอก (significant neck or chest hemorrhage)
- ผู้บาดเจ็บสมองรุนแรงหรือมีเลือดออกในกะโหลกศีรษะ (associated intracranial injury/bleeding)
- ผู้บาดเจ็บที่ได้รับการกู้ชีพจากอุบัติเหตุถูกยิง/แทง >15 นาทีและไม่มีสัญญาณชีพตอบสนอง (Penetrating abdominopelvic injury with >15 minutes of pre-hospital CPR)
- ผู้บาดเจ็บที่ได้รับการกู้ชีพจากการกระแทก >10 นาทีและไม่มีสัญญาณชีพตอบสนอง (Blunt abdominopelvic injury with >10 minutes of pre-hospital CPR)

การเตรียมอุปกรณ์ ณ ห้องฉุกเฉิน

การทำหัตถการ REBOA ณ ห้องฉุกเฉิน (ER-REBOA) นั้นมีความแตกต่างจากการทำหัตถการในห้องผ่าตัดเนื่องจากสภาวะแวดล้อม สถานที่ ไฟส่องสว่าง และผู้ช่วยเช่นพยาบาลส่งเครื่องมือผ่าตัดอาจไม่คุ้นชินกับหัตถการ การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ให้พร้อมจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะส่งผลให้การทำหัตถการสำเร็จได้

บอลลูนอุดตันเส้นเลือดแดงใหญ่ (Aortic balloon)

ในปัจจุบันอุปกรณ์ที่ใช้จะแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ[22,23] คือ

1. Conventional Aortic Balloon เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการผ่าตัดเส้นเลือดแดงใหญ่ทั่วไป การใช้งานคือร้อยผ่านลวดนำทาง (over-the-wire device) มักมีขนาดใหญ่ (9-10 Fr) มีข้อดีคือหาได้ง่าย ศัลยแพทย์ส่วนใหญ่คุ้นเคย แต่เนื่องจากขนาดของอุปกรณ์ที่ค่อนข้างใหญ่ มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ปลอกหุ้ม

อุปกรณ์ (vascular sheath) ที่มีขนาดใหญ่ตาม (12-14 Fr) จึงมักใช้กับการผ่าตัดเปิดหลอดเลือด (vascular cut down technique) และต้องเย็บซ่อมปิดหลอดเลือดทุกครั้งหลังเสร็จหัตถการ

2. ER-REBOA wireless system เป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อการทำ REBOA โดยเฉพาะ ออกแบบมาให้ใช้ร่วมกับการเจาะผนังหลอดเลือดเพื่อใส่อุปกรณ์ (vascular puncture technique) จึงมีขนาดเล็ก (7 Fr) จึงไม่ต้องเย็บซ่อมผนังหลอดเลือดเมื่อเสร็จหัตถการ แต่จำเป็นต้องใช้เครื่องอัลตราซาวน์หลอดเลือดในการเข้าถึงหลอดเลือด

ทั้งนี้ การใช้อุปกรณ์แต่ละชนิดมีทั้งข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป ขึ้นกับความชำนาญของศัลยแพทย์ที่ทำหัตถการ ภาพเปรียบเทียบอุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิด (รูปที่ 1)[23]

อุปกรณ์ในการทำ REBOA ในแต่ละประเภท (ตารางที่ 2)

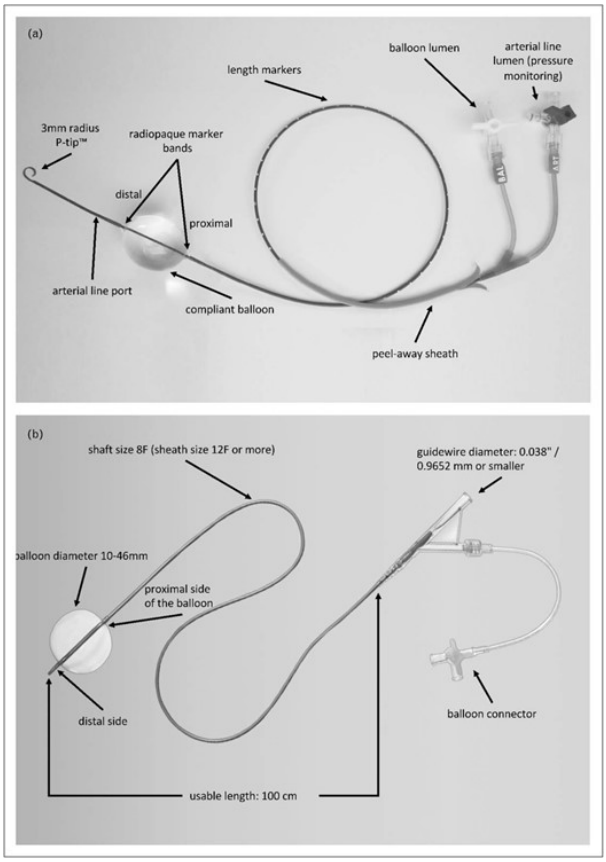
ขั้นตอนการใส่บอลลูน

1. การเข้าถึงหลอดเลือดแดง (Vascular access)

ตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะทำหัตถการ คือ เส้นเลือดแดงบริเวณขาหนีบ (common femoral artery) เนื่องจากทำได้ง่ายและรวดเร็ว โดยสามารถทำได้ 2 วิธี ขึ้นกับความถนัดของศัลยแพทย์[24] กล่าวคือ

ตารางที่ 2 อุปกรณ์ในการทำหัตถการในแต่ละวิธี

ข้อบ่งชี้ในการผ่าตัดทรวงอกเพื่อกู้ชีวิต (indications for resuscitative thoracotomy)
Conventional Aortic Balloon Insertion (Open technique)
- Aortic balloon catheter
- Puncture needle (18-Gauge)
- Starter wire (0.035-inch guide wire, 180-260 cm.)
- Initial sheath 5-8 Fr
- Working sheath 12-14 Fr, 45-60 cm.
- Hydrophilic guide wire
- 3-way stopcock
- No.11 scalpel
- 20-50 ml. syringes
- Set อุปกรณ์ vascular
- ER-REBOA
- Vascular ultrasound machine
- Puncture needle (18-Gauge)
- Starter wire (0.035-inch guide wire, 180-260 cm.)
- Initial sheath 8 Fr
- 3-way stopcock
- 20-50 ml. syringes



รูปที่ 1 เปรียบเทียบอุปกรณ์ REBOA (a) ER-REBOA wireless system (b) Conventional aortic balloon26

1.1 การผ่าตัดเปิดหลอดเลือดแดงบริเวณขาหนีบ (femoral arterial cut down) เพื่อเข้าถึงเส้นเลือดต้นขา (common femoral artery) โดยตรง จากนั้นใช้เข็มขนาด 18G (puncture needle) เปิดหลอดเลือดแล้วร้อยลวดนำทาง (starter guide-wire) เพื่อใส่ปลอกหุ้มหลอดเลือดเริ่มต้น (vascular sheath 5-8 Fr) แล้วจึงเปลี่ยนปลอกหุ้มหลอดเลือดให้มีขนาดใหญ่ขึ้นโดยการร้อยผ่านลวดนำทาง (over-the-wire technique) เพื่อเตรียมที่จะใส่บอลลูน (conventional aortic balloon)

1.2 การเจาะผนังหลอดเลือดเพื่อใส่อุปกรณ์ (vascular puncture technique) ควรกระทำภายใต้เครื่องอัลตราซาวน์ เนื่องจากผู้บาดเจ็บมักจะมีชีพจรที่แผ่วเบาหรือไม่มีชีพจรเลย การแทงเข็มตามชีพจรเพียงอย่างเดียว (blind technique) อาจไม่มีประสิทธิภาพ เมื่อเปิดหลอดเลือดแล้ว ให้ใช้ปลอกหุ้มหลอดเลือด (vascular sheath) ขนาด 7-8 Fr

จากการศึกษาพบว่า การเข้าถึงหลอดเลือดแดงบริเวณต้นขาทั้ง 2 วิธี ไม่มีความแตกต่างกันในเรื่องของระยะเวลาในการเข้าถึงหลอดเลือด ขึ้นกับความถนัดของศัลยแพทย์และอุปกรณ์ที่มี[25] แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผู้บาดเจ็บที่มีชีพจรกับไม่มี พบว่า สามารถเข้าถึงหลอดเลือดในผู้บาดเจ็บที่มีชีพจรได้รวดเร็วกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[26]

2. การเลือกขนาดและตำแหน่งของบอลลูน (Balloon selection and positioning)

ใช้บอลลูนแบบอ่อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่พอที่จะอุดตันเส้นเลือดแดงใหญ่ได้ (โดยมากมักใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ถึง 40 มม.) ส่วนตำแหน่งที่จะพองบอลลูนนั้นขึ้นกับพยาธิสภาพของผู้บาดเจ็บ[24] โดยแบ่งตำแหน่งที่จะพองบอลลูนตามกายวิภาคของเส้นเลือดแดงใหญ่ (aortic zones) ออกเป็น 3 ส่วน[19,24,27] (รูปที่ 2)

ส่วนที่ 1 เส้นเลือดแดงใหญ่ในทรวงอก (Zone 1 – Left subclavian artery root to celiac trunk)
ใช้ในผู้บาดเจ็บที่คลำชีพจรไม่ได้ สงสัยเลือดออกในช่องท้อง หรือยังไม่ทราบตำแหน่งเลือดออกที่ชัดเจน

ส่วนที่ 2 - อานาเขตต้องห้าม (Zone 2 – No occlusion zone)

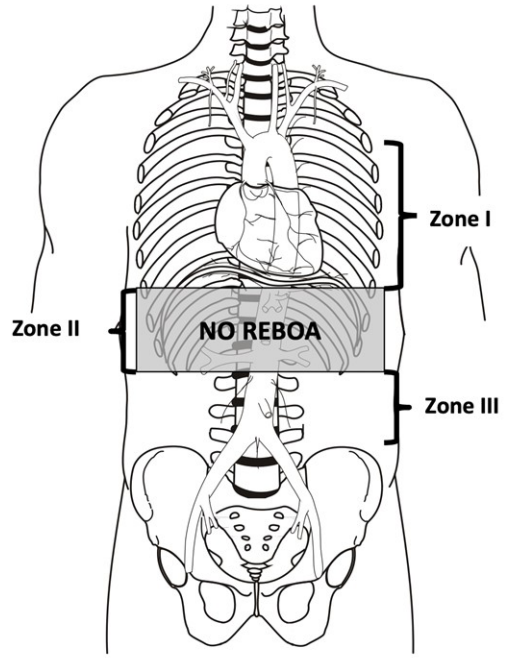
ส่วนนี้คือเส้นเลือดแดงใหญ่ที่อยู่ระหว่างเส้นเลือด “Celiac trunk” และหลอดเลือดไต (renal artery) มีเส้นเลือดไปเลี้ยงอวัยวะสำคัญในช่องท้อง จึงเป็นส่วนต้องห้ามที่จะไม่ขยายบอลลูนบริเวณนี้

ส่วนที่ 3 เส้นเลือดแดงใหญ่ในช่องท้อง (Zone 3 – Lowest renal artery to aortic bifurcation)

ใช้ในกรณีที่สงสัยเลือดออกในเชิงกรานหรือรยางค์ส่วนล่างที่ไม่สามารถกดหยุดห้ามเลือดได้

3. การยืนยันตำแหน่งของบอลลูน (Confirmation of the balloon position)

หลังจากทราบตำแหน่งที่ต้องการจะวางบอลลูน ให้ทำการเคลื่อนอุปกรณ์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ในขั้นตอนนี้ หากใช้การเข้าถึงหลอดเลือดแดงโดยการผ่าตัดเปิดจะสามารถเคลื่อนบอลลูนได้ง่ายกว่าเนื่องจากปลอกหุ้มอุปกรณ์ (vascular sheath) มีความยาวสารมารถไปถึงตำแหน่งที่ต้องการได้ง่าย วิธีตรวจสอบตำแหน่งของบอลลูนสามารถทำได้โดย



รูปที่ 2 การแบ่งตำแหน่งที่จะพองบอลลูน REBOA ตามกายวิภาคของเส้นเลือดแดงใหญ่[22,27,30]

1) อาศัยภาพถ่ายทางรังสี ประกอบไปด้วย[24]

- การใช้เครื่องส่องภาพรังสี (fluoroscopic machine) เป็นวิธีที่แม่นยำที่สุด เนื่องจากเห็นภาพการทำงานอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการคลาดเคลื่อนของตำแหน่งได้น้อย นิยมทำในสถาบันใหญ่ๆ

- การใช้ภาพถ่ายรังสีธรรมดา (plain x-ray) สามารถเห็นตำแหน่งของบอลลูนได้เมื่อจบหัตถการแล้ว จึงไม่ค่อยนิยมในการทำ

- การใช้เครื่องอัลตราซาวน์ (ultrasonography) เพื่อยืนยันตำแหน่ง มักต้องอาศัยประสปการณ์ของผู้ทำหัตถการ (operator dependent) จึงไม่เป็นที่นิยมนัก

โดยสองวิธีแรก จะต้องใช้สารทึบรังสี (contrast media) เป็นส่วนผสมในสารน้ำที่จะทำการพองบอลลูน ซึ่งแนะนำให้ใช้สารทึบรังสีที่ละลายน้ำได้ (water soluble contrast) ผสมกับน้ำเกลือ (normal saline solution) ในอัตราส่วน 1:1 จะทำให้เห็นตำแหน่งของบอลลูนชัดเจน ส่วนการใช้เครื่องอัลตราซาวน์อาจใช้แค่น้ำเกลือในการพองบอลลูน

2) การตรวจสอบตำแหน่งโดยไม่ใช้ภาพถ่ายทางรังสี สามารถทำได้โดย

- การใช้กายวิภาคเป็นจุดอ้างอิง (external landmarks) มีการศึกษาถึงตำแหน่งของการใส่ REBOA โดยร่างอาจารย์ใหญ่ พบว่า สามารถใช้ระยะจากขาหนีบไปจนถึงตำแหน่งอ้างอิงได้ กล่าวคือ ส่วนที่ 1 อ้างอิงจากระดับบนสุดจนถึงกึ่งกลางของกระดูกสันอก (Zone 1 – sternal notch to mid-sternum) และส่วนที่ 3 อ้างอิงจากใต้ลิ้นปี่จนถึงสะดือ (Zone 3 – epigastrium to umbilicus)[22,28,29]

- การตอบสนองของสัญญาณชีพที่เปลี่ยนแปลงหลังจากทำการขยายบอลลูน เช่น ความดันซิสโตลิก (SBP) บริเวณเหนือต่อตำแหน่งของบอลลูนมีค่าเพิ่มขึ้น หรือการคลำชีพจรบริเวณใต้ต่อบอลลูนไม่ได้ หมายความว่าสามารถอุดตันเส้นเลือดแดงใหญ่ได้สำเร็จ เป็นต้น

4. การพองบอลลูน (Balloon inflation)

เมื่อเคลื่อนบอลลูนถึงตำแหน่งที่ต้องการ ให้ใช้กระบอกฉีดยา (syringe) ขนาด 30-60 มล. บรรจุส่วนผสมของสารทึบรังสีหรือสารละลายน้ำเกลือต่อกับอุปกรณ์ 3-way stopcock ค่อยๆทำการฉีดสารละลายเข้าไปยังบอลลูนอย่างระมัดระวัง ประมาณ 20-30 มล. แล้วทำการประเมินการตอบสนองของสัญญาณชีพร่วมกับภาพถ่ายทางรังสี (หากมี)[19]

ตลอดเวลาที่ทำหัตถการควรมีการยึดตรึงอุปกรณ์ไม่ให้ขยับตลอดเวลา โดยเฉพาะหลังจากพองบอลลูนแล้ว เนื่องจากจะมีแรงดันของกระแสโลหิตในเส้นเลือดแดงใหญ่ดันบอลลูนออกมา

ในปัจจุบันมีหลักในการพองบอลลูนโดยแบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1) การพองบอลลูนทั้งหมด (total REBOA, t-REBOA) ซึ่งเป็นมาตรฐานการรักษาในปัจจุบัน

2) การพองบอลลูนแค่บางส่วน (partial REBOA, p-REBOA) เป้าหมายมุ่งเน้นให้มีเลือดบางส่วนไหลลงไปเลี้ยงอวัยวะส่วนใต้ต่อการอุดตันเส้นเลือดแดงใหญ่ เชื่อว่าจะสามารถลดภาวะแทรกซ้อนจากการขาดเลือดได้ แต่จากการศึกษาพบว่ายังไม่มีความแตกต่างกันในเรื่องผลการรักษา อาจต้องศึกษาเพิ่มเติมต่อไป[30-32]

3) การพองบอลลูนแบบไม่ต่อเนื่อง (intermittent REBOA, i-REBOA) เชื่อว่าสามารถที่จะลดภาวะแทรกซ้อนจากการขาดเลือดของอวัยวะส่วนล่างได้เช่นเดียวกันกับ p-REBOA แต่จากข้อมูลในปัจจุบันพบว่า ยังขัดกับหลักการที่มุ่งเน้นที่จะหยุดเลือดผู้บาดเจ็บ อีกทั้งข้อมูลยังไม่มากพอ จึงต้องรอข้อมูลศึกษาต่อไป[33]

การย้ายผู้บาดเจ็บจากห้องฉุกเฉินไปยังห้องผ่าตัดเพื่อทำการห้ามเลือด

เมื่อทำการขยายบอลลูนแล้วพบว่าผู้บาดเจ็บมีสัญญาณชีพที่ดีขึ้น จะต้องทำการยึดตรึงอุปกรณ์ทุกอย่าง เช่น บอลลูน ปลอกหุ้มหลอดเลือด ลวดนำทาง ให้อยู่กับที่ โดยมากมักให้ผู้ช่วยศัลยแพทย์เป็นผู้จับอุปกรณ์ไว้ แล้วรีบย้ายผู้บาดเจ็บเข้าห้องผ่าตัด เพื่อทำการผ่าตัดห้ามเลือดโดยเร็ว ซึ่งการผ่าตัดจะเป็นเพียงการผ่าตัดเพื่อควบคุมความเสียหาย (damage control surgery) โดยมุ่งเน้นเพียงการห้ามเลือดโดยเร็วเท่านั้น[24]

ระยะเวลาที่เหมาะสมในการขยายบอลลูนเพื่ออุดตันเส้นเลือดแดงใหญ่แล้วไม่ทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนจากอวัยวะส่วนปลายขาดเลือดนั้นสัมพันธ์กับตำแหน่งของบอลลูน กล่าวคือ หากทำการใส่บอลลูนในส่วนที่ 1 (zone 1) ไม่ควรเกิน 30 นาที และในส่วนที่ 2 (zone 2) ไม่ควรเกิน 2 ชั่วโมง[34-37]

จากข้อมูลที่มีในปัจจุบันจึงสรุปแนวทางในการใช้บอลลูนอุดตันเส้นเลือดแดงใหญ่เพื่อกู้ชีวิต (แผนภูมิที่ 1)

การยุติหัตถการ

หลังจากที่ทำการผ่าตัดเพื่อห้ามเลือดในช่องท้องหรือเชิงกรานสำเร็จ ควรที่จะทำการยุบบอลลูนโดยทันที เพื่อให้เลือดไหลลงไปเลี้ยงอวัยวะใต้ต่อจุดอุดตัน เป็นการลดอัตราการเกิดภาวะแทรกซ้อนของอวัยวะส่วนปลายขาดเลือด โดยจะประกอบไปด้วย การยุบบอลลูน และการถอนปลอกหุ้มอุปกรณ์

การยุบบอลลูน (balloon deflation)

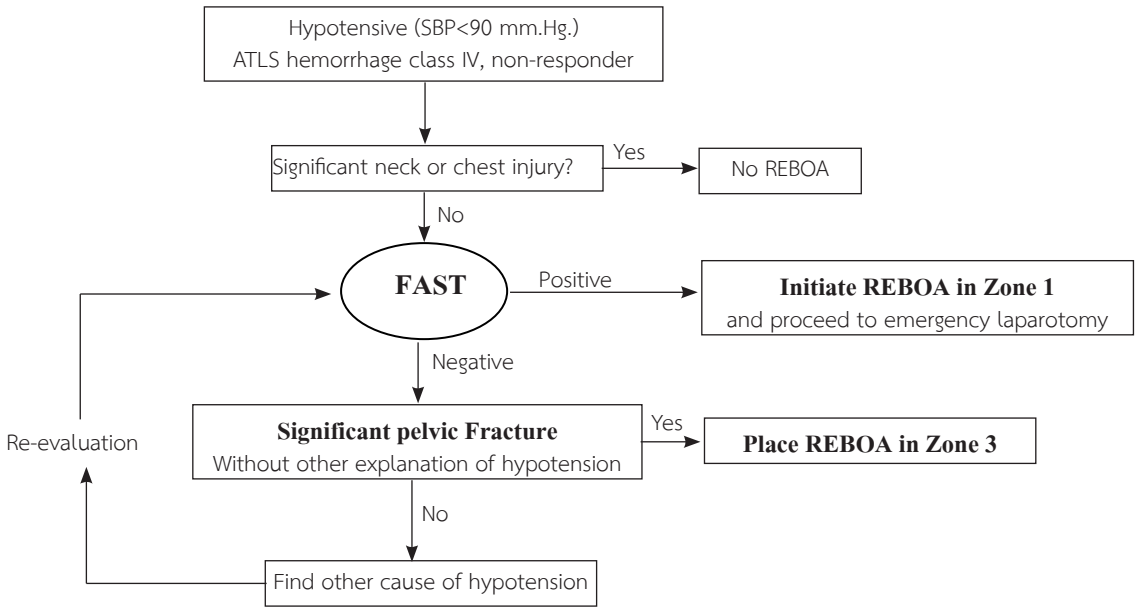
เมื่อผู้บาดเจ็บมีสัญญาณชีพคงที่ ก่อนที่จะยุบบอลลูนควรที่จะสื่อสารกับวิสัญญีแพทย์ตลอดเวลา เนื่องจากทันทีที่ยุบบอลลูน ความดันโลหิตจะลดลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นจึงค่อยๆ ยุบบอลลูนครั้งละ 1-2 มล. และประเมินสัญญาณชีพเป็นระยะ รวมถึงเฝ้าระวังภาวะ reperfusion syndrome

การถอนปลอกหุ้มอุปกรณ์ (vascular sheath removal)

ในขั้นตอนนี้ หากทำหัตถการโดยการผ่าตัดเปิดเส้นเลือดแดงและใช้ปลอกหุ้มหลอดเลือดขนาด 8Fr ขึ้นไป มีความจำเป็นที่จะต้องเย็บซ่อมหลอดเลือดร่วมด้วย แต่หากทำหัตถการโดนการเจาะผนังหลอดเลือดและใช้ปลอกหุ้มอุปกรณ์ขนาดเล็กกว่า 8Fr นั้นไม่จำเป็นต้องเย็บซ่อมผนังหลอดเลือด และพิจารณาทำการกดห้ามเลือด แต่ต้องพึงระลึกเสมอว่า ผู้บาดเจ็บมีการเสียเลือดรุนแรงย่อมมีภาวะการแข็งตัวของเลือดผิดปกติ (trauma coagulopathy) ร่วมด้วยเสมอ อาจต้องใช้เวลาในการกดห้ามเลือดนานกว่าปกติ[38]

ภาวะแทรกซ้อนที่อาจเกิดขึ้นได้[19]

1. ภาวะแทรกซ้อนจากการเข้าถึงเส้นเลือดที่ขาหนีบ (Vascular access complications) เช่น ภาวะเลือดออกเส้นเลือดฉีกขาด หรือการเกิดลิ่มเลือดอุดตัน (thrombosis)
2. ภาวะ reperfusion syndrome จากการทำหัตถการเป็นเวลานาน



แผนภูมิที่ 1 แนวทางปฏิบัติในการใช้บอลลูนอุดตันเส้นเลือดแดงใหญ่เพื่อกู้ชีวิตในผู้บาดเจ็บ

3. ภาวะอักเสบ (systemic inflammatory response syndrome – SIRS)

4. อาการของอวัยวะในช่องท้องหรือรยางค์ส่วนล่างขาดเลือด เช่น abdominal compartment syndrome หรือ ischemia organ failure เป็นต้น

การใช้ REBOA ในอนาคต

การใช้ REBOA ณ ห้วงก่อนโรงพยาบาล (Pre-hospital REBOA)

ในปัจจุบันมีการศึกษาและพยายามใช้ REBOA อย่างแพร่หลายมากยิ่งขึ้น รวมไปถึงการทำหัตถการเพื่อช่วยเหลือผู้บาดเจ็บ ณ ห้วงก่อนโรงพยาบาล ซึ่งข้อมูลในปัจจุบันยังไม่มากจนถึงขั้นสรุปว่ามีประโยชน์ มีความจำเป็นหรือไม่39,40 แต่ก็มีรายงานผู้บาดเจ็บในปี ค.ศ. 2016 จำนวน 1 รายที่รอดชีวิตจากการทำหัตถการนี้ ณ จุดเกิดเหตุ โดยทีมแพทย์ของ London's Air-Ambulance Physician and Paramedic team ซึ่งเป็นการจุดประกายความเป็นไปได้ในการศึกษาเพื่อขยายข้อบ่งชี้ในการทำหัตถการนี้ต่อไป[41]

การใช้บอลลูนอุดตันเส้นเลือดดำใหญ่ (Resuscitative Balloon Occlusion of the Vena Cava – REBOVC)

เนื่องจากการบาดเจ็บของตับและเส้นเลือดดำใหญ่หลังตับ (retrohepatic IVC) มีอัตราการรอดชีวิตที่ค่อนข้างต่ำ จึงมีการนำแนวคิดของการทำหัตถการ REBOA แต่นำมาใช้ในเส้นเลือดดำใหญ่ (Vena Cava) เรียกว่า Resuscitative Balloon Occlusion of the Vena Cava – REBOVC กล่าวคือ ผู้บาดเจ็บที่มีภาวะเลือดออกที่บริเวณหลังตับ จะได้รับการเปิดเส้นเลือดที่ขาหนีบทั้ง 2 ข้าง โดยทำการใส่บอลลูนที่เส้นเลือดแดงใหญ่ส่วนที่ 1 (REBOA – Zone 1) และใส่บอลลูนที่เส้นเลือดดำใหญ่เหนือตับ (suprahepatic REBOVC) และใส่บอลลูนที่เส้นเลือดดำใหญ่ใต้ตับ (infrahepatic REBOVC) ที่ขาอีกข้างหนึ่ง จากนั้นทำการผ่าตัดช่องท้องเพื่อทำหัตถการ Pringle's maneuver ถือเป็นการหยุดเลือดที่ตับอย่างสิ้นเชิง (total hepatic vascular isolation) อย่างไรก็ตาม แนวคิดนี้ยังคงอยู่ในสัตว์ทดลอง และจากการอุดตันเส้นเลือดดำใหญ่จะทำให้เลือดไหลกลับหัวใจลดลง อีกทั้งเป็นหัตถการที่ซับซ้อนและใช้เวลานาน จึงยังต้องรอดูข้อมูลศึกษาต่อไป[42,43]

สรุป

การใช้บอลลูนอุดตันเส้นเลือดแดงใหญ่เพื่อห้ามเลือดในการกู้ชีวิตผู้บาดเจ็บ ณ ห้องฉุกเฉิน (Emergency room resuscitation balloon occlusion of the aorta – ER-REBOA) สามารถใช้เพื่อเพิ่มความดันโลหิตในผู้บาดเจ็บเลือดออกในช่องท้องหรือเชิงกรานที่ไม่สามารถกดหลุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตาม ข้อมูลและข้อตกลงมาตรฐานในปัจจุบันแนะนำว่าควรทำหัตถการในโรงพยาบาลที่มีความพร้อมและกระทำโดยศัลยแพทย์ที่มีความรู้พื้นฐานในการทำหัตถการผ่าตัด[18]

เอกสารอ้างอิง

1. Beekley AC, Sebesta JA, Blackbourne LH, Herbert GS, Kauvar DS, Baer DG, et al. Prehospital tourniquet use in operation iraqi freedom: effect on hemorrhage control and outcomes. J Trauma 2008 ; 64(2 Suppl): S28–37.
2. Tien HC, Spencer F, Tremblay LN, Rizoli SB, Brenneman FD. Preventable deaths from hemorrhage at a level i canadian trauma center. J Trauma 2007; 62(1): 142–146.
3. Kragh JF, Walters TJ, Baer DG, Fox CJ, Wade CE, Salinas J, et al. Practical use of emergency tourniquets to stop bleeding in major limb trauma. JTrauma 2008; 64(2 Suppl): S38–50.
4. Mill V, Wellme E, Montán C. Trauma patients eligible for resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA), a retrospective cohort study. Eur J Trauma Emerg Surg [Internet]. 2020 Mar 23 [cited Jan 12, 2021]; Available from: http://link.springer.com/10.1007/s00068-020-01345-w
5. Borger van der Burg BLS, van Dongen TTCF, Morrison JJ, Hedeman Joosten PPA, DuBose JJ, Hörer TM, et al. A systematic review and meta-analysis of the use of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta in the management of major exsanguination. Eur J Trauma Emerg Surg 2018; 44(4): 535–550.
6. Gamberini E, Coccolini F, Tamagnini B, Martino C, Albarello V, Benni M, et al. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta in trauma: a systematic review of the literature. World J Emerg Surg 2017; 12(1): 42.
7. Manzano Nunez R, Naranjo MP, Foianini E, Ferrada P, Rincon E, García-Perdomo HA, et al. A meta-analysis of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) or open aortic cross-clamping by resuscitative thoracotomy in non-compressible torso hemorrhage patients. World J Emerg Surg 2017; 12(1): 30.
8. DuBose JJ, Scalea TM, Brenner M, Skiada D, Inaba K, Cannon J, et al. The AAST prospective aortic occlusion for resuscitation in trauma and acute care surgery (AORTA) registry: Data on contemporary utilization and outcomes of aortic occlusion and resuscitative balloon occlusion of the aorta (REBOA). J Trauma Acute Care Surg 2016; 81(3): 409–419.
9. Feliciano DV, Mattox KL, Moore EE, Ball CG, Kozar R, Alam HB, et al, editors. Trauma. Ninth. New York: McGraw-Hill; 2020.
10. Nevins EJ, Bird NTE, Malik HZ, Mercer SJ, Shahzad K, Lunevicius R, et al. A systematic review of 3251 emergency department thoracotomies: is it time for a national database? Eur J Trauma Emerg Surg 2019; 45(2): 231–243.

11. Burlew CC, Moore EE, Moore FA, Coimbra R, McIntyre RC, Davis JW, et al. Western trauma association critical decisions in trauma: resuscitative thoracotomy. J Trauma Acute Care Surg 2012; 73(6): 1359–1363.

12. Seamon MJ, Haut ER, Van Arendonk K, Barbosa RR, Chiu WC, Dente CJ, et al. An evidence-based approach to patient selection for emergency department thoracotomy: A practice management guideline from the Eastern Association for the Surgery of Trauma. J Trauma Acute Care Surg 2015; 79(1): 159–173.

13. Otsuka H, Sato T, Sakurai K, Aoki H, Yamagiwa T, Iizuka S, et al. Effect of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta in hemodynamically unstable patients with multiple severe torso trauma: a retrospective study. World J Emerg Surg 2018 ;13(1): 49.

14. Morrison JJ, Galgon RE, Jansen JO, Cannon JW, Rasmussen TE, Eliason JL. A systematic review of the use of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta in the management of hemorrhagic shock: J Trauma Acute Care Surg 2016; 80(2): 324–334.

15. Hughes CW. Use of an intra-aortic balloon catheter tamponade for controlling intra-abdominal hemorrhage in man. Surgery 1954; 36(1): 65–68.

16. Low RB, Longmore W, Rubinstein R, Flores L, Wolvek S. Preliminary report on the use of the percluder® occluding aortic balloon in human beings. Ann Emerg Med 1986; 15(12): 1466–1469.

17. Moore LJ, Martin CD, Harvin JA, Wade CE, Holcomb JB. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta for control of noncompressible truncal hemorrhage in the abdomen and pelvis. Am J Surg 2016; 212(6): 1222–1230.

18. Borger van der Burg BLS, Kessel B, DuBose JJ, Hörer TM, Hoencamp R. Consensus on resuscitative endovascular balloon occlusion of the Aorta: A first consensus paper using a Delphi method. Injury 2019; 50(6): 1186–1191.

19. Moore LJ, Brenner M, Kozar RA, Pasley J, Wade CE, Baraniuk MS, et al. Implementation of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta as an alternative to resuscitative thoracotomy for noncompressible truncal hemorrhage: J Trauma Acute Care Surg 2015; 79(4): 523–32.

20 Saito N, Matsumoto H, Yagi T, Hara Y, Hayashida K, Motomura T, et al. Evaluation of the safety and feasibility of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta. J Trauma Acute Care Surg 2015; 78(5): 897–903; discussion 904.

.21 Biffl WL, Fox CJ, Moore EE. The role of REBOA in the control of exsanguinating torso hemorrhage. J Trauma Acute Care Surg 2015; 78(5): 1054–8.

22. Napolitano LM. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta. Critical Care Clinics 2017; 33(1): 55–70.

23. Kulla M, Popp E, Knapp J. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta: an option for noncompressible torso hemorrhage? Curr Opin Anaesthesiol 2019; 32(2): 213–226.

24. Stannard A, Eliason JL, Rasmussen TE. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (reboa) as an adjunct for hemorrhagic shock. J Trauma 2011; 71(6): 1869–1872.

25. Romagnoli A, Teeter W, Pasley J, Hu P, Hoehn M, Stein D, et al. Time to aortic occlusion: It's all about access. J Trauma Acute Care Surg 2017; 83(6): 1161–1164.

26. Brenner M, Teeter W, Hoehn M, Pasley J, Hu P, Yang S, et al. Use of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta for proximal aortic control in patients with severe hemorrhage and arrest. JAMA Surg 2018; 153(2): 130-135.

27. Abe T, Uchida M, Nagata I, Saitoh D, Tamiya N. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta versus aortic cross clamping among patients with critical trauma: a nationwide cohort study in Japan. Crit Care 2016; 20(1): 400.

28. Linnebur M, Inaba K, Haltmeier T, Rasmussen TE, Smith J, Mendelsberg R, et al. Emergent non–image-guided resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) catheter placement: A cadaver-based study. J Trauma Acute Care Surg 2016; 81(3): 453–457.

29. Teeratakulpisarn P, Angkasith P, Tanmit P, Prasertcharoensuk S, Thanapaisal C, Wongkonkitsin N. Position of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) in Thai people. Srinagarind Med J 2020; 35(6): 662–668.

30. Johnson MA, Neff LP, Williams TK, DuBose JJ. Partial resuscitative balloon occlusion of the aorta (P-REBOA): Clinical technique and rationale. J Trauma Acute Care Surg 2016 ; 81: S133–137.

31. Heindl SE, Wiltshire DA, Vahora IS, Tsouklidis N, Khan S. Partial versus complete resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta in exsanguinating trauma patients with non-compressible torso hemorrhage. Cureus [Internet]. 2020 Jul 4 [cited Jan 16, 2021]; Available from: https://www.cureus.com/articles/34813-partial-versus-complete-resuscitative-endovascular-balloon-occlusion-of-the-aorta-in-exsanguinating-trauma-patients-with-non-compressible-torso-hemorrhage

32. Russo RM, Neff LP, Lamb CM, Cannon JW, Galante JM, Clement NF, et al. Partial resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta in swine model of hemorrhagic shock. J Am Coll Surg 2016; 223(2): 359–368.

33. Johnson MA, Hoareau GL, Beyer CA, Caples CA, Spruce M, Grayson JK, et al. Not ready for prime time: Intermittent versus partial resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta for prolonged hemorrhage control in a highly lethal porcine injury model. J Trauma Acute Care Surg 2020; 88(2): 298–304.

34. Reva VA, Matsumura Y, Hörer T, Sveklov DA, Denisov AV, Telickiy SY, et al. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta: what is the optimum occlusion time in an ovine model of hemorrhagic shock? Eur J Trauma Emerg Surg 2018; 44(4): 511–518.

35. Eliason JL, Myers DD, Ghosh A, Morrison JJ, Mathues AR, Durham L, et al. Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta (REBOA): Zone I Balloon Occlusion Time Affects Spinal Cord Injury in the Nonhuman Primate Model. Annals of Surgery [Internet]. 2019 Jun 7 [cited Jan 16, 2021];Publish Ahead of Print. Available from: https://journals.lww.com/00000658-900000000-95077

36. Yamamoto R, Cestero RF, Muir MT, Jenkins DH, Eastridge BJ, Funabiki T, et al. Delays in Surgical Intervention and Temporary Hemostasis Using Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the aorta (REBOA): Influence of Time to Operating Room on Mortality. Am J Surg 2020; 220(6): 1485–1491.

37. Martinelli T, Thony F, Decléty P, Sengel C, Broux C, Tonetti J, et al. Intra-Aortic Balloon Occlusion to Salvage Patients With Life-Threatening Hemorrhagic Shocks From Pelvic Fractures. J Trauma 2010; 68(4): 942-948.

38. Daley J, Morrison JJ, Sather J, Hile L. The role of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) as an adjunct to ACLS in non-traumatic cardiac arrest. Am J Emerg Med 2017; 35(5): 731–736.

39. Thabouillot O, Bertho K, Rozenberg E, Roche NC, Boddaert G, Jost D, et al. How many patients could benefit from REBOA in prehospital care? A retrospective study of patients rescued by the doctors of the Paris fire brigade. J R Army Med Corps 2018; 164(4): 267–270.

40. Lendrum R, Perkins Z, Chana M, Marsden M, Davenport R, Grier G, et al. Pre-hospital Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta (REBOA) for exsanguinating pelvic haemorrhage. Resuscitation 2019; 135: 6–13.

41. Sadek S, Lockey DJ, Lendrum RA, Perkins Z, Price J, Davies GE. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) in the pre-hospital setting: An additional resuscitation option for uncontrolled catastrophic haemorrhage. Resuscitation 2016; 107: 135–138.

42. Reynolds CL, Celio AC, Bridges LC, Mosquera C, O'Connell B, Bard MR, et al. REBOA for the IVC? Resuscitative balloon occlusion of the inferior vena cava (REBOVC) to abate massive hemorrhage in retrohepatic vena cava injuries: J Trauma Acute Care Surg 2017 ; 83(6): 1041–1046.

43. Wikström MB, Krantz J, Hörer TM, Nilsson KF. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the inferior vena cava is made hemodynamically possible by concomitant endovascular balloon occlusion of the aorta—A porcine study. J Trauma Acute Care Surg 2020; 88(1): 160–168.

SMJ