

The Use of Intra-Aortic Balloon Pump: IABP

Teerapong Tocharoenchok*, Pichej Lerdpunnpongse**

*Division of Cardiothoracic Surgery, Department of Surgery, Faculty of Medicine Siriraj Hospital, Mahidol University, ** Cardiology Center Chulabhorn Chalermparakiet Medical Center Chulabhorn hospital, Thailand.

Abstract

In recent decades, tremendous advances have been achieved in intensive care of patients with cardiogenic shock; however, mortality and morbidity from resultant multiple organ failure remain high. Intra-aortic balloon pump has been the most widely used equipment among mechanical circulatory support devices to help patients stabilize hemodynamics and recover from cardiogenic shock from various etiologies for over half of the century. This device enhances organs and coronary perfusion pressure, reduces left ventricular afterload, and increases the cardiac output by working in synchronization with the cardiac cycle and aortic valve mechanic. In this article, we will highlight the principle of counterpulsation, the recent innovation, which has been greatly developed, including hardware and software, current roles, the latest evidence, technical details of the device usage and patient care, weaning guideline, safe removal, and potential complications of the said device. The distinctive use of an extracorporeal membrane oxygenator in comparison with and conjunction with intra-aortic balloon therapy will also be discussed. To help patients stabilize hemodynamics and recover from critical cardiogenic shock or ischemia-reperfusion injury during the cardiac intervention, detailed knowledge is essential for the medical team to establish the position of the counterpulsation device in this high-risk patient subgroup.

Keywords: Intra-aortic balloon counterpulsation; intra-aortic balloon pump

Correspondence to: Teerapong Tocharoenchok **E-mail:** teerapong.toc@mahidol.ac.th

Received: 11 August 2020 **Revised:** 27 October 2020 **Accepted:** 4 November 2020

<http://dx.doi.org/10.33192/Simedbull.2021.04>

Siriraj Medical Bulletin 2021;14(1):19-29

การใช้เครื่องช่วยการทำงานของหัวใจชนิดบอลลูนในหลอดเลือดแดงเออร์ตา

ธีรพงศ์ โตเจริญโชค*, พิเชษฐ์ เลิศปิ่นนพพงษ์**

**สาขาวิชาศัลยศาสตร์หัวใจและทรวงอก ภาควิชาศัลยศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล,

**ศูนย์หัวใจและหลอดเลือด ศูนย์การแพทย์ฉุกเฉินเฉลิมพระเกียรติ โรงพยาบาลจุฬารัตน์

บทคัดย่อ

เครื่องช่วยการทำงานของหัวใจชนิดบอลลูนในหลอดเลือดแดงเออร์ตา เป็นอุปกรณ์ช่วยพยุงการทำงานของระบบไหลเวียนเลือดชนิดหนึ่งที่มีมานานกว่าครึ่งศตวรรษ และเคยถูกใช้อย่างแพร่หลายในผู้ป่วยที่อยู่ในภาวะช็อกจากหัวใจโดยเฉียบพลันที่เกิดจากกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด โดยจะช่วยเพิ่มความดันกำซาบไปยังกล้ามเนื้อหัวใจขณะหัวใจคลายตัว ช่วยลดแรงต้านขณะบีบตัวของหัวใจห้องล่างซ้าย และเพิ่มปริมาตรเลือดส่งออกจากหัวใจห้องล่างซ้าย โดยทำงานประสานกับการบีบตัวของหัวใจห้องล่างซ้ายและการเปิดปิดของลิ้นหัวใจเออร์ติก บทความนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานของเครื่อง เทคโนโลยีล่าสุดที่ถูกพัฒนาขึ้นอย่างมากมายทั้งที่ตัวบอลลูน ซอฟต์แวร์และส่วนควบคุมภายนอก รวมถึงบทบาทข้อบ่งชี้ในปัจจุบัน ข้อห้ามใช้ รายละเอียดทางเทคนิคของการใส่และการตั้งค่าเครื่อง การดูแลผู้ป่วยในระหว่างใช้เครื่อง แนวทางการยาและการถอดเครื่องอย่างปลอดภัย เพื่อพยุงระบบไหลเวียนเลือดก่อนและระหว่างทำการผ่าตัดหัวใจในการรักษาโรคหลอดเลือดและหัวใจเทียมและช่วยฟื้นตัวในระยะผ่าตัดหัวใจ ข้อเปรียบเทียบและบทบาทที่ใช้ร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนออกซิเจนนอกร่างกาย ตลอดจนภาวะแทรกซ้อนที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้เครื่องและวิธีป้องกันภาวะดังกล่าว เพื่อให้ทีมแพทย์และพยาบาลสามารถใช้เครื่องดังกล่าวได้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ป่วยเสี่ยงสูงกลุ่มนี้

คำสำคัญ: เครื่องช่วยการทำงานของหัวใจชนิดบอลลูนในหลอดเลือดแดงเออร์ตา

บทนำ

หลักการทำงานของ IABP

IABP เป็นอุปกรณ์ประเภทสายสวนขนาดประมาณ 7-8 เฟรนช์ (Fr) มีบอลลูนความจุ 25 ถึง 50 มล. ที่ส่วนปลาย (ภาพที่ 1) ถูกออกแบบมาสำหรับใส่เข้าไปที่ส่วนต้นของหลอดเลือดแดงเออร์ติกาลง (descending thoracic aorta) ผ่านหลอดเลือดแดงส่วนปลาย เช่น หลอดเลือดแดงต้นขา (femoral artery) เพื่อช่วยการทำงานของหัวใจห้องล่างซ้าย โดยอาศัยการแทนที่ปริมาตรและการเปลี่ยนแปลงความดันเลือด อันเป็นผลจากการไหลเข้าออกของก๊าซฮีเลียมจากส่วนควบคุม (console) ภายนอกนอกร่างกาย ทำให้บอลลูนพองตัว (inflation) และหดตัว (deflation) ประสานกับจังหวะการเต้นของหัวใจรวมกับการเปิดปิดของลิ้นหัวใจเออร์ติก (aortic valve) อย่างแม่นยำ ก่อให้เกิดผลทางสรีรวิทยาสามประการ ได้แก่

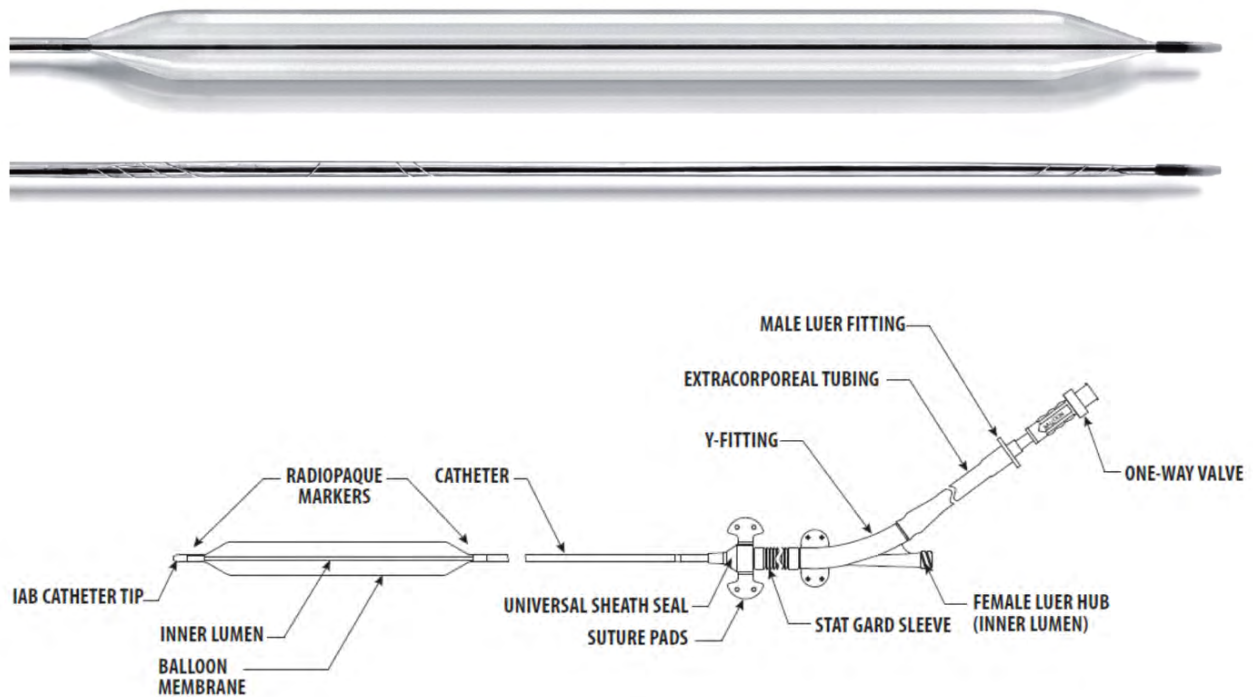
ประการแรก diastolic augmentation เกิดจากบอลลูนพองตัว (inflation) ในช่วงหัวใจห้องล่างซ้ายคลายตัว (ventricular diastole) ส่งผลให้ความดันเลือด (augmented pressure) เพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มความดันกำซาบ (perfusion pressure) ไปยังอวัยวะและเนื้อเยื่อต่างๆ โดยเฉพาะกล้ามเนื้อ

หัวใจห้องล่างซ้าย ซึ่งรับเลือดในจังหวะหัวใจคลายตัวเป็นหลัก โดยผลในการเพิ่มการขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อหัวใจ (myocardial oxygen delivery) จะเด่นชัดในกรณีที่กล้ามเนื้อหัวใจมีภาวะขาดเลือดและเสีย coronary autoregulation reserve^{4,5}

ประการที่สอง afterload reduction เกิดจากบอลลูนหดตัว (deflation) ในช่วงหัวใจห้องล่างซ้ายบีบตัว (ventricular systole) ส่งผลลดแรงต้านการบีบตัวของหัวใจห้องล่างซ้าย (ventricular afterload) โดยตรง ซึ่งเป็นการลดการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อหัวใจ (myocardial oxygen consumption)⁵ และเพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียนออกจากหัวใจห้องล่างซ้ายผ่านลิ้นหัวใจเออร์ติก ซึ่งช่วยบรรเทาภาวะช็อกที่เกิดจากลิ้นหัวใจไม่ตรัสรั่วเฉียบพลัน (acute mitral regurgitation) และผนังกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างขาดจากการขาดเลือด (infarcted ventricular septal rupture) ได้

ประการที่สาม cardiac output enhancement การทำงานของ IABP สามารถเพิ่มปริมาตรเลือดส่งออกจากหัวใจห้องล่างซ้าย (cardiac output) ได้

ภาพที่ 1 ส่วนปลายของสายสวนหลอดเลือดแดงเออร์ตา (IAB catheter) ในขณะที่พองตัวและหดตัว (บน) และส่วนประกอบของ IAB catheter (ล่าง)



ที่มา: บริษัท เกทท์ทิงเก (ไทยแลนด์) จำกัด เผยแพร่โดยได้รับอนุญาต

มากถึง 1 ลิตร (ร้อยละ 30) ค่ากลางความดันหลอดเลือดแดง (mean arterial pressure) จะสูงขึ้น โดยจะให้ผลสูงสุดในผู้ป่วยที่มี cardiac output ต่ำ แต่ปริมาณนี้อาจไม่เพียงพอหากผู้ป่วยต้องการความช่วยเหลือในระดับที่สูงกว่านั้น

เนื่องจาก IABP แต่ละรุ่นมีรายละเอียดบางประการแตกต่างกัน ผู้อ่านควรศึกษาถึงวิธีการใช้งานของรุ่นที่มีในโรงพยาบาลของตนเองอย่างละเอียด รุ่นและยี่ห้อของ IABP ที่ใช้อยู่ในประเทศไทยในปัจจุบัน ได้แก่ CS300 (Maquet) Cardiosave hybrid (Maquet) Cardiosave Rescue (Maquet) AutoCAT2 Wave (Arrow) และ AC3 Optimus (Arrow)

เทคโนโลยีล่าสุดของ IABP

IABP ในยุคแรกยังมีปัญหาด้านความช้าและไม่แม่นยำของคลื่นความดันหลอดเลือดแดง (arterial pressure wave) การรบกวนภาพคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (electrocardiogram: ECG) ในกรณีหัวใจเต้นเร็วหรือเต้นผิดจังหวะ ความเสถียร

ของจังหวะของการไหลของก๊าซฮีเลียม IAB catheter และ console ที่มีขนาดใหญ่ และการทำงานที่มีเสียงดัง นอกจากขนาดของ IAB catheter ที่มีให้เลือกมากขึ้นแล้ว ปัจจุบันมีการพัฒนา IABP ให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในหลายด้าน ดังตัวอย่างต่อไปนี้

รูปแบบการรับสัญญาณความดันหลอดเลือดแดง เดิม IABP ต้องอาศัยการรับข้อมูลความดันหลอดเลือดแดงเฉพาะจากตัวแปรสัญญาณความดัน (pressure transducer) ภายนอกร่างกาย ซึ่งสามารถถูกรบกวนได้จากปัจจัยภายนอกหลายประการ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาตัววัดความดันหลอดเลือดแดงผ่านตัวรับรู้เส้นใยนำแสง (fiber optic sensor) ที่ปลาย IAB catheter (ภาพที่ 2) ซึ่งจะตัดปัจจัยรบกวนการส่งสัญญาณความดันผ่านของเหลว เช่น การแกว่งกวัดแบบหน่วงของความดัน (pressure damping) การเคลื่อนไหวของสายสวนภายนอก หรือการบิดเบือนหรือสูญหายของ arterial pressure wave นอกจากนี้ยังมีความเร็วในการรับส่งสัญญาณที่ดีกว่าระบบ pressure transducer ประมาณ 50 มิลลิวินาที⁷

ขั้นตอนวิธีในการกำหนดเวลาจ่ายก๊าซซีเลียม (timing algorithm)

ปัจจุบันมีการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ที่ช่วยปรับปรุงเวลาการจ่ายก๊าซให้แม่นยำและเหมาะสมตามพยาธิสรีรวิทยาของผู้ป่วยที่เปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา โดยสามารถปรับปรุงได้ถึงระดับครั้งต่อครั้งของการเต้นหัวใจ (beat per beat)

การจ่ายก๊าซเข้าและออกจากบอลลูน ก๊าซซีเลียมเป็นก๊าซเฉื่อยที่ถูกนำมาใช้ใน IABP เนื่องจากมีมวลโมเลกุลต่ำสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว จากเดิม IABP อาศัยหลักการคงตัวของปริมาตรก๊าซที่เข้าบอลลูน (volume fill) ทำให้มีโอกาสเกิดความดันก๊าซภายในสูงผิดปกติจนบอลลูนแตกได้ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาการเติมก๊าซเข้าบอลลูนให้ได้ความดันตามเป้า (pressure fill) ซึ่งสามารถป้องกันความดันก๊าซในบอลลูนสูงผิดปกติ นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีกำจัดไอน้ำจากการควบแน่นในระบบ ซึ่งส่งผลเพิ่มประสิทธิภาพและความเร็วการพองตัวและหดตัวของบอลลูน โดยเฉพาะในกรณีหัวใจเต้นเร็ว

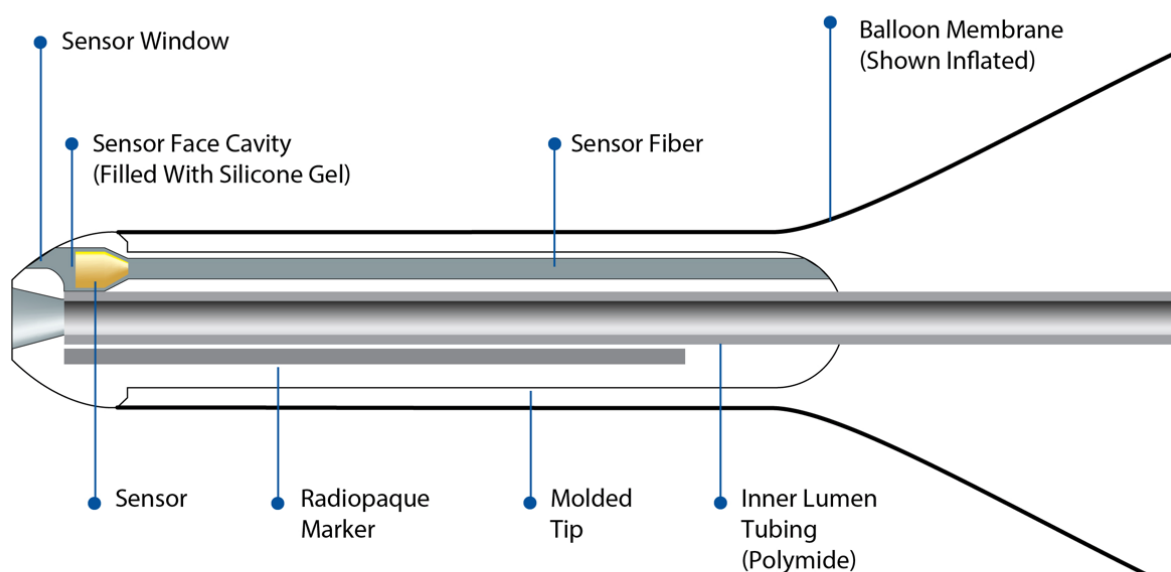
ความปลอดภัยของผู้ป่วยและความสะดวกของทีมผู้ดูแล

รูปแบบการใช้งานที่สะดวกและปลอดภัยขึ้น เช่น ระบบควบคุมและแสดงผลโดยหน้าจอสัมผัสขนาดใหญ่ ระบบแบตเตอรี่สำรอง เสียงการทำงานของระบบที่เบาลง console ที่มีรูปร่างกระทัดรัด น้ำหนักเบาซึ่งสะดวกต่อการขนย้ายไปพร้อมกับผู้ป่วย

ข้อบ่งชี้และข้อห้ามของ IABP^{1,8,9}

บทบาทที่ใช้ของ IABP แต่เดิมได้แก่ ผู้ป่วยที่มีภาวะช็อกจากหัวใจ ผู้ป่วยกล้ามเนื้อหัวใจตายเฉียบพลันโดยไม่มีภาวะช็อก ผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงสูงในการขยายหลอดเลือดหัวใจผ่านทางสายสวน และผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงสูงในการผ่าตัดหัวใจ ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างการศึกษาการใช้ IABP ในผู้ป่วยกลุ่มต่างๆ

ภาพที่ 2 ส่วนปลายของ IAB catheter ที่มี fiber optic sensor



Graphic Representation of Catheter
Drawing Not To Scale

ที่มา: บริษัท เกททีงเค (ไทยแลนด์) จำกัด เผยแพร่โดยได้รับอนุญาต

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างการศึกษาการใช้ IABP ในผู้ป่วยที่มีข้อบ่งชี้ต่าง ๆ

ข้อบ่งชี้/กลุ่มผู้ป่วย	รูปแบบการศึกษา	ผลทางคลินิก	ปีที่ตีพิมพ์
ภาวะกล้ามเนื้อหัวใจด้านหน้าตายขนาดใหญ่ที่มีการขาดเลือดอย่างต่อเนื่องภายหลังการขยายหลอดเลือดหัวใจผ่านทางสายสวน	RCT (CRISP-AMI substudy)	ลดอัตราการตายที่ 6 เดือน จากร้อยละ 24 เหลือร้อยละ 0	2015 ¹⁰
ภาวะช็อกจากกล้ามเนื้อหัวใจตายที่ได้รับการขยายหลอดเลือดหัวใจผ่านทางสายสวน	RCT (IABP-SHOCK II)	อัตราการตายที่ 30 วัน 1 ปี และ 6 ปี ไม่แตกต่างกัน	2013 ³ 2019 ¹¹
ก่อนผ่าตัดบายพาสหลอดเลือดหัวใจ (ใช้และไม่ใช้เครื่องปอดและหัวใจเทียม)	Meta-analysis of RCTs	ลดอัตราการตายในโรงพยาบาล	2016 ¹²
ก่อนผ่าตัดบายพาสหลอดเลือดหัวใจ (ใช้และไม่ใช้เครื่องปอดและหัวใจเทียม)	Meta-analysis	ลดอัตราการตายในโรงพยาบาล และที่ 30 วัน	2016 ¹³
ก่อนผ่าตัดบายพาสหลอดเลือดหัวใจโดยไม่ใช้เครื่องปอดและหัวใจเทียม ในผู้ที่มีการบีบตัวของห้องหัวใจล่างซ้ายต่ำกว่าร้อยละ 35	Propensity score matching	ลดอัตราการตายที่ 30 วัน จากร้อยละ 8.5 เหลือร้อยละ 1.6	2016 ¹⁴
ภาวะช็อกจากหัวใจที่รักษาด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนออกซิเจนนอกร่างกาย (ECMO)	Propensity score matching	ลดอัตราการตายในโรงพยาบาล และที่ 28 วัน	2016 ¹⁵
ช็อกจากหัวใจที่รักษาด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนออกซิเจนนอกร่างกาย (ECMO)	Meta-analysis	ลดอัตราการตายในโรงพยาบาล	2019 ¹⁶

ตัวย่อ: ECMO, extracorporeal membrane oxygenation; RCT, randomized control trial

ในปัจจุบันมีหลักฐานเชิงประจักษ์จากการศึกษาแบบสุ่มที่พบว่าการใช้ IABP ในผู้ป่วยกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดที่มีภาวะช็อกหรือไม่ภาวะช็อกจากหัวใจไม่เพิ่มอัตราการรอดชีวิต แต่อาจจะเพิ่มภาวะแทรกซ้อน ถึงแม้ว่าการศึกษามีกำลังทางสถิติไม่พอ (underpower) และมีอัตราการข้ามกลุ่ม (crossover) สูง¹¹ แต่มีผลทำให้คำแนะนำการใช้ IABP ในภาวะช็อกจากกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดทั่วไปถูกลดระดับลงมาอยู่ในชั้นสาม อันตราย (class III harm)¹⁷⁻¹⁹ อีกทั้งการศึกษาเปิดหลอดเลือดหัวใจมีประสิทธิผลสูงขึ้น และทางเลือกของอุปกรณ์ช่วยการทำงานของระบบไหลเวียนเลือดที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้บทบาทของ IABP ในผู้ป่วยกลุ่มนี้ลดลง

สำหรับผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงสูงในการขยายหลอดเลือดหัวใจผ่านทางสายสวน มีการศึกษาแบบสุ่มพบว่าการใส่ IABP แบบวางแผนล่วงหน้าก่อนขยายหลอดเลือดสามารถลดอัตราการตายได้ในผู้ป่วยหลอดเลือดหัวใจตีบขั้นรุนแรงที่มีการบีบตัวของห้องหัวใจล่างซ้ายไม่ดีและไม่ภาวะช็อก เมื่อเทียบกับการใส่ IABP แบบไม่ได้วางแผนไว้ล่วงหน้า²⁰

สำหรับผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงสูงในการผ่าตัดหัวใจ บทบาทของ IABP สามารถแบ่งตามระยะเวลาการใช้ IABP ได้แก่ ก่อนการผ่าตัด ในระหว่างการผ่าตัด และภายหลังการผ่าตัด

ในระยะก่อนการผ่าตัด ผู้ป่วยกลุ่มอาการหลอดเลือดหัวใจเฉียบพลัน (acute coronary syndrome) ที่มีภาวะช็อกจากหัวใจ อาการปวดเค้นที่ตื้อการรักษา (refractory angina) และผู้ป่วยที่มีภาวะแทรกซ้อนเชิงกล (mechanical complication) จากกล้ามเนื้อหัวใจตายเฉียบพลันมักจะได้รับการใส่ IABP โดยอายุรแพทย์โรคหัวใจระหว่างทำการฉีดสีตรวจหลอดเลือดหัวใจ (coronary angiography) เพื่อช่วยการทำงานของหัวใจระหว่างรอผ่าตัดบายพาสหลอดเลือดหัวใจ (coronary artery bypass grafting: CABG) แบบแรงดัน อีกทั้งในกรณีผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงสูง เช่น severe left main stenosis หัวใจห้องล่างซ้ายทำหน้าที่ผิดปกติ (left ventricular dysfunction) การผ่าตัดบายพาสหลอดเลือดหัวใจซ้ำ (reoperative CABG) อาการปวดเค้นที่ตื้อการรักษา (refractory angina) ภาวะกล้ามเนื้อหัวใจตาย (recent myocardial infarction) และภาวะกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างซ้ายหนา (left ventricular hypertrophy) พบว่าการใส่ IABP ก่อนผ่าตัดอาจลดอัตราการตายระยะผ่าตัด (perioperative mortality) ได้²¹ นอกจากนี้ในผู้ป่วยโรคหัวใจร่วมกับภาวะช็อก เช่น ลิ้นหัวใจเอออร์ติกตีบ (aortic stenosis) หรือลิ้นหัวใจไม่ตรึงรั่ว (mitral regurgitation) ยังสามารถใช้ IABP ระหว่างรอผ่าตัดลิ้นหัวใจได้เพื่อประคับประคองการทำงานของหัวใจให้ดีขึ้นก่อนทำการผ่าตัด โดยผู้ป่วยที่ได้รับการใส่ IABP ก่อนผ่าตัดส่วนใหญ่มีใส่ IABP ต่อเนื่องไปจนถึงระยะหลังผ่าตัด

การใช้ IABP พยายามการทำงานของหัวใจในระหว่างผ่าตัด มีที่ใช้ในการผ่าตัดบายพาสหลอดเลือดหัวใจโดยไม่ใช้เครื่องปอดหัวใจเทียม (off-pump

coronary artery bypass: OPCAB) เพื่อช่วยการทำงานของหัวใจระหว่างผ่าตัดโดยเฉพาะในผู้ป่วยที่มีการทำงานของหัวใจไม่ดี หรือใช้พองการทำงานของหัวใจที่มีพยาธิสภาพในระหว่างการตัดอวัยวะที่ไม่ใช่หัวใจ และสามารถช่วยขยายเครื่องปอดและหัวใจเทียมในการผ่าตัดหัวใจแบบเปิดที่ใช้เครื่องปอดและหัวใจเทียม

ในช่วงระยะหลังผ่าตัด IABP มีที่ใช้ในภาวะช็อกหลังผ่าตัดหัวใจ (post-cardiotomy shock) โดยไม่จำกัดเฉพาะหลัง CABG เท่านั้น และมีหลักฐานว่าการใส่ IABP เร็วหรือใส่ตั้งแต่ก่อนผ่าตัดอาจให้ผลดีกว่าใส่ IABP ล่าช้า²²

นอกจากข้อบ่งชี้ที่กล่าวข้างต้น ปัจจุบัน IABP สามารถใช้ร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนออกซิเจนนอกร่างกาย (Extracorporeal membrane oxygenation: ECMO) เนื่องจากการพองระบบไหลเวียนเลือดของอุปกรณ์ทั้งสองชนิดมีทั้งข้อดีและข้อจำกัดที่สอดคล้องกัน ดังจะกล่าวต่อไป

ข้อห้ามของการใช้ IABP ได้แก่ ภาวะลิ้นหัวใจเอออร์ติกรั่วระดับปานกลางถึงระดับรุนแรง (moderate-severe aortic regurgitation) หลอดเลือดแดงเอออร์ตาฉีกขาดหรือโป่งพอง (aortic dissection or aneurysm) การมีขดลวดหลอดเลือดเทียมเอออร์ติก (aortic stent) ภาวะการแข็งตัวของเลือดผิดปกติอย่างรุนแรง (severe coagulopathy) และในผู้ป่วยที่มีโรคหลอดเลือดแดงส่วนปลายที่รุนแรง (severe peripheral artery disease) ควรเปลี่ยนตำแหน่งการเข้าถึงหลอดเลือดไปที่บริเวณอื่นแทนบริเวณต้นขา

การใช้ IABP ร่วมกับ ECMO

ทั้ง IABP และ ECMO ต่างจัดเป็นเครื่องพองระบบไหลเวียนเลือดแบบระยะสั้นที่มีใช้ในประเทศไทยในหลายโรงพยาบาล ตารางที่ 2 แสดงข้อแตกต่างของอุปกรณ์ทั้งสองชนิด พบว่า IABP ช่วยลด afterload ที่เกิดจากแรงส่งเลือดจาก ECMO ในขณะที่ ECMO มีศักยภาพในการพองระบบไหลเวียนเลือดของผู้ป่วยได้ในกรณีที่ผู้ป่วยมี cardiac output ต่ำมากจน IABP ไม่สามารถช่วยได้เพียงพอ โดยอาจจะใช้ IABP อยู่ก่อนแล้วใส่ ECMO เพิ่มเติมภายหลัง หรือใส่ IABP ตามหลังในผู้ป่วยที่มี ECMO อยู่แล้ว

หลักฐานจากการศึกษาขนาดใหญ่พบว่า¹⁵ การใช้ IABP ร่วมกับ ECMO ช่วยลดอัตราการเสียชีวิตเมื่อเทียบกับการใช้ ECMO เพียงอย่างเดียวที่อัตราส่วนอันตราย (hazard ratio) 0.74 และผู้ป่วยที่มี ECMO ร่วมกับ IABP ยังสามารถหย่าเครื่อง ECMO ได้มากกว่ากลุ่มที่ใช้ ECMO เพียงอย่างเดียว (ร้อยละ 82.6 เทียบกับร้อยละ 73.4) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่าผู้ป่วยที่มี ECMO ร่วมกับ IABP สามารถช่วยให้ลิ้นหัวใจเอออร์ติกที่ปิดตลอดเวลาจากการบีบตัวของหัวใจห้องล่างซ้ายไม่ดี สามารถกลับมาเปิดออกได้เมื่อหัวใจห้องล่างบีบตัว²³

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่าง IABP และ ECMO^{24,25}

คุณสมบัติ	IABP	ECMO
ขนาดของสายสวน	7-8 Fr	16-21 Fr
การเพิ่มปริมาตรเลือดส่งออก จากหัวใจต่อนาที	0.5-1 ลิตร	7 ลิตร
วิธีใส่	ใส่ผ่านผิวหนัง	ใส่ผ่านผิวหนังหรือการผ่าตัด
ความเร็วในการใส่	เร็วกว่า	ช้ากว่า
การพองหัวใจห้องล่างซ้าย	ลด afterload	ลด preload แต่เพิ่ม afterload
การพองหัวใจห้องล่างขวา	เพิ่มเลือดเลี้ยงหัวใจ	ลด preload
การเพิ่มเลือดเลี้ยงหัวใจ	เพิ่ม	ไม่มีผล
การช่วยการแลกเปลี่ยนก๊าซ	ไม่มีผล	ช่วย
ความจำเป็นของยาต้านการ แข็งตัวของเลือด	น้อย	มาก
โอกาสเกิดภาวะแทรกซ้อน	น้อยกว่า	มากกว่า

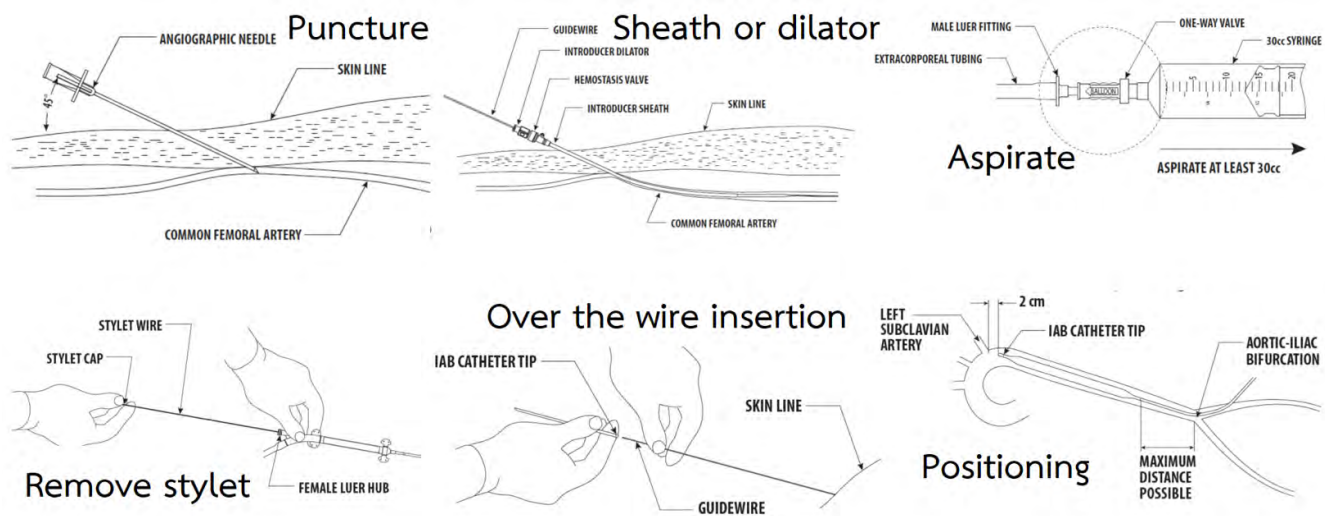
ตัวย่อ: ECMO, extracorporeal membrane oxygenation; Fr, French; IABP, Intra-aortic balloon pump

รายละเอียดทางเทคนิคของการใช้ IABP

การใส่ IAB catheter ผ่านหลอดเลือดแดงต้นขา (femoral artery)
มีขั้นตอนดังนี้ (ภาพที่ 3) ควรใช้เครื่องกำเนิดภาพรังสีช่วยใส่ (fluoroscopic guidance) เลือกขนาด IAB catheter ที่เหมาะสม (พิจารณาตามความสูงของผู้ป่วย ขึ้นกับรุ่นและยี่ห้อ) จากนั้นทำทางเข้าถึงหลอดเลือด (vascular access) ด้วยปลอกนำทาง (introducer sheath) ที่มีไนซูดอุปกรณ์ใส่ (insertion kit) ที่หลอดเลือดแดงต้นขา ในตำแหน่งที่สามารถกดห้ามเลือดได้ภายหลัง โดยใช้เทคนิคดัดแปลงของ Seldinger เตรียม IAB catheter โดยการดูดลมออกจากบอลลูนผ่านลิ้นทางเดียว (one-way valve) อย่างน้อย 30 มล. วัดระยะความลึกของการใส่จากมุมกระดูกสันอก (sternal angle) ถอนเข็มแกน

(stylet) ออกและฉีดน้ำเกลือใส่ช่องภายใน (inner lumen) แล้วใส่ IAB catheter ผ่านเข้า หลอดเลือดแดงต้นขา ด้วยเทคนิคที่ใช้ลวดเป็นแกนค้ำยัน (over the wire) โดยสามารถใส่ผ่านปลอกนำทาง หรือไม่ใช้ปลอกนำทางก็ได้ (sheathless) ปรับตำแหน่งปลาย IAB catheter ให้ห่างจากโคนหลอดเลือดแดงใต้กระดูกไหปลาร้าซ้าย (left subclavian artery) ประมาณ 2 ซม. ประกอบ IAB catheter เข้ากับ transducer วัดความดันและ console แล้วเย็บยึดตรึงระยะกับผิวหนังผู้ป่วย เพื่อป้องกันการหลุดเลื่อน จากนั้นยืนยันตำแหน่งด้วยภาพถ่ายรังสีเอกซ์ทรวงอกเคลื่อนย้ายได้ (portable chest x-ray) (หากไม่ใช้ fluoroscopy)

ภาพที่ 3 ขั้นตอนการใส่ IAB catheter ทางหลอดเลือดแดงต้นขาแบบใช้ปลอกนำทาง แนะนำให้ใช้ปลอกนำทางในผู้ป่วยที่อ้วนมาก หรือมีแผลเป็นที่ขาหนีบ



ที่มา: บริษัท เกทท์ทิงเก (ไทยแลนด์) จำกัด เผยแพร่โดยได้รับอนุญาต

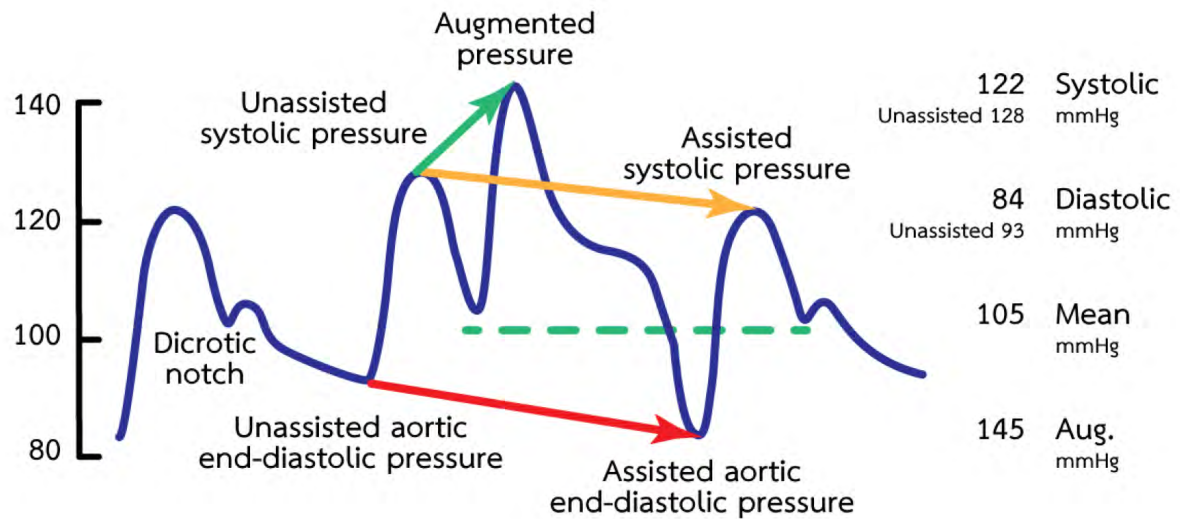
การดูแลภายหลังการใส่ IAB catheter ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้ การตรวจสอบตำแหน่ง IAB catheter ให้เหมาะสม (ต่ำกว่าหลอดเลือดแดง subclavian ซ้ายเล็กน้อยและเหนือหลอดเลือดแดงเลี้ยงไต (renal arteries)) ทำได้โดยการตรวจสอบความยาวของ IAB catheter ส่วนที่วางอยู่ภายนอกตัวผู้ป่วย คลาสสิเฟอร์หรือวัดความดันแขนซ้าย ดูปริมาณปัสสาวะและ chest x-ray ทุกวัน เพื่อดูตำแหน่งปลายของ IAB catheter (ใกล้ aortic knob หรือ 2 ซม.เหนือ carina²⁶) ตรวจสอบการทำงานของ IABP การตอบสนองของผู้ป่วยต่อ IABP ซึ่งจะได้บรรยายต่อไป การเฝ้าระวังการเกิดภาวะแทรกซ้อน เช่น ตรวจสอบ perfusion ของรยางค์ โดยวัดดัชนีข้อเท้า-แขน (ankle-brachial index) สัญญาณการไหลของหลอดเลือด (Doppler flow signal) ของหลอดเลือดแดงปลายขา ตรวจหาเลือดออกที่ตำแหน่งใส่สายสวน และตรวจวัดปริมาณเกล็ดเลือด แนะนำให้ยาต้านการแข็งตัวของเลือดทั้งร่างกาย (systemic anticoagulation) หากไม่มีข้อห้าม โดยเฉพาะในขณะหย่าเครื่องเพื่อป้องกันภาวะแทรกซ้อนจากการเกิดลิ่มเลือด (embolic complication) โดยอาจใช้เฮปารินโมเลกุลใหญ่ (unfractionated heparin) บริหารต่อเนื่องทางหลอดเลือดดำ และตรวจเลือดติดตามให้ได้ค่าการแข็งตัวของเลือด activated partial thromboplastin time (aPTT) ที่ 50 ถึง 70 วินาที หรือ aPTT ratio ที่ 1.5 ถึง 2.5 เท่า หรือใช้เฮปารินน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (low molecular weight heparin: LMWH) บริหารทางใต้ผิวหนังทดแทน โดยไม่จำเป็นต้องตรวจระดับการแข็งตัวของเลือด โดยมีการศึกษาพบว่าอาจช่วยลดภาวะเลือดออกในผู้ป่วยที่ใช้ IABP ได้²⁷ กรณีภายหลังการผ่าตัดใหญ่อาจรอได้ 24-48 ชม. และหากผู้ป่วยมีความเสี่ยงต่อเลือดออกมากให้หลีกเลี่ยงการให้ยาต้านการแข็งตัวของเลือด

การตั้งค่าใช้งาน IABP สามารถทำได้ดังนี้ (แตกต่างกันตามแต่ละรุ่นและยี่ห้อ) **โหมดการทำงาน (operating mode)** จะกำหนดระดับความอัตโนมัติของการทำงาน ได้แก่ โหมด auto ปัญญาประดิษฐ์เลือกแหล่ง trigger และจัดการเวลา (timing) อัตโนมัติ มักใช้เป็นค่าเริ่มต้น โหมด semi-auto ผู้ใช้เป็นผู้เลือก

แหล่ง trigger และ lead ของ ECG โหมด manual ผู้ใช้เป็นผู้เลือกแหล่ง trigger และ timing ของ inflation และ deflation **แหล่ง trigger** กำหนดสัญญาณที่บ่งชี้การเริ่มต้นของรอบหัวใจเต้น (cardiac cycle) ได้แก่ ECG trigger บอกการเริ่ม cardiac cycle โดยสัญญาณ ECG มักใช้เป็นค่าเริ่มต้น pressure trigger บอกการเริ่ม cardiac cycle โดยคลื่นความดันหลอดเลือดแดง (arterial pressure wave) มักใช้เมื่อสัญญาณ ECG ถูกบดบัง ไม่แนะนำกรณีที่มี หัวใจเต้นไม่สม่ำเสมอเป็นเวลานาน pacer trigger บอกการเริ่ม cardiac cycle โดยสัญญาณของตัวคุมจังหวะหัวใจ (pacemaker) internal trigger สั่งการทำงานโดยสัญญาณภายใน console ใช้กรณีหัวใจไม่เต้น (asystole) **ความถี่ของการช่วย (assist frequency)** สัดส่วนของการ inflate บอลลูนต่อ cardiac cycle ได้แก่ 1:1 บอลลูนพองตัวทุก cardiac cycle มักใช้เป็นค่าเริ่มต้น เหมาะในกรณีที่อัตราการเต้นหัวใจไม่เร็วมากนัก (เช่น ต่ำกว่า 150 ครั้ง/นาที) 1:2 บอลลูนพองตัวทุก 2 cardiac cycles ใช้เมื่ออัตราการเต้นหัวใจเร็ว ใช้ตรวจสอบความผิดพลาดของเวลา (timing error) และใช้หย่าเครื่อง 1:3 1:4 1:8 ฯลฯ ใช้หย่าเครื่อง **ระดับ augmentation** คือปริมาณการ inflate บอลลูน มีตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึง ร้อยละ 100 ใช้หย่าเครื่อง โดยทั่วไปไม่ควรลดลงต่ำกว่าร้อยละ 50 เพื่อป้องกันการเกิดลิ่มเลือดรอบบอลลูน

การตรวจสอบ timing สามารถดูได้จาก arterial pressure tracing waveform ใน assist frequency 1:2 (ภาพที่ 4) หรือ 1:3 โดยหาก timing ถูกต้องเหมาะสมจะมีลักษณะสองประการ ได้แก่ diastolic inflation เกิดในขณะที่กำลังจะถึงรอยบากของโคโรติค (dicrotic notch) ซึ่งตรงกับการปิดของลิ้นหัวใจเอออร์ติกส่งผลให้ความดัน augmented สูงกว่าความดัน systolic และ systolic deflation เกิดในช่วงเริ่มต้นของ ventricular systole ในช่วง isovolumic contraction ส่งผลให้ความดัน end-diastolic ลดต่ำลง และความดัน systolic ของ cycle ถัดไปลดต่ำลง

ภาพที่ 4 Arterial pressure tracing ของ IABP timing ที่เหมาะสม: augmented pressure สูงกว่า unassisted systolic pressure (ลูกศรสีเขียว), assisted end-diastolic pressure ต่ำกว่า unassisted end-diastolic pressure (ลูกศรสีแดง) และ assisted systolic pressure ต่ำกว่า unassisted systolic pressure (ลูกศรสีส้ม)



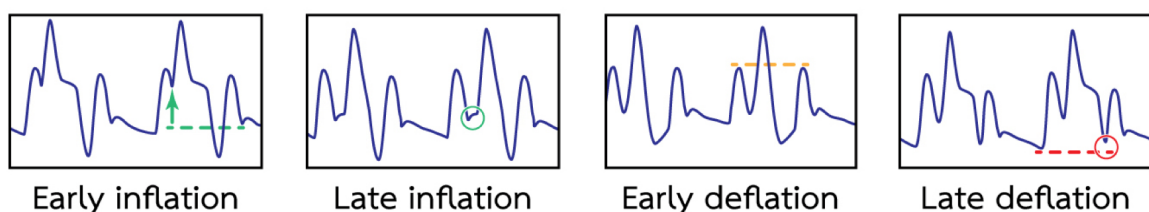
ที่มา: ผู้นิพนธ์จัดทำขึ้น

Timing errors เกิดจากความผิดพลาดของเวลาที่บอลลูนพองตัวหรือหดตัวในจังหวะที่ไม่เหมาะสมใน cardiac cycle ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของการพองการทำงานของหัวใจไม่ดีเท่าที่ควร (late inflation และ early deflation) หรือแม้แต่ว่าส่งผลเพิ่มภาระการทำงานของหัวใจ (early inflation และ late deflation) แบ่งได้เป็น 4 ชนิด (รูปที่ 5) ได้แก่ 1. early inflation เกิดจากบอลลูนพองตัวเร็วเกินไป ส่งผลให้ลิ้นหัวใจเอออร์ติกปิดก่อนเวลา ลด stroke volume เพิ่ม left ventricular end diastolic volume และ wall tension 2. late inflation เกิดจากบอลลูนพองตัวหลังลิ้นหัวใจเอออร์ติก ปิด

ส่งผลลดช่วงเวลาพองตัวของบอลลูน ลด augmented pressure และ coronary perfusion pressure 3. early deflation เกิดจากบอลลูนยุบตัวก่อนการบีบตัวของหัวใจห้องล่างแบบ isovolumic ทำให้ขาดผลของ afterload reduction และ 4. late deflation เกิดจากบอลลูนยุบตัวหลังการบีบตัวของหัวใจห้องล่างส่งผลเพิ่ม afterload ของหัวใจห้องล่างซ้าย เป็นการเพิ่มการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อหัวใจ

ปัจจุบันระบบประมวลผลใน console ของ IABP พัฒนาขึ้นมาก สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพและปรับแต่งจังหวะเวลาได้อย่างแม่นยำ โดยเฉพาะใน auto mode ที่พบความผิดพลาดค่อนข้างน้อย

ภาพที่ 5 Timing errors 4 ชนิด; early inflation บอลลูนพองตัวก่อนลิ้นหัวใจเอออร์ติกปิดจะสังเกตได้ว่า augmented wave เริ่มต้นที่ความดันสูงกว่า dirotic notch ของ unassisted beat; Late inflation บอลลูนพองตัวหลังลิ้นหัวใจเอออร์ติกปิด จะสังเกตเห็น dirotic notch ก่อน augmented wave; Early deflation บอลลูนยุบตัวก่อนหัวใจห้องล่างบีบตัว จะสังเกตได้ว่า assisted systolic pressure ไม่ต่ำกว่า unassisted beat; Late deflation บอลลูนยุบตัวหลังหัวใจห้องล่างบีบตัว จะสังเกตได้ว่า assisted end-diastolic pressure ไม่ต่ำกว่า unassisted beat



ที่มา: ผู้นิพนธ์จัดทำขึ้น

การพ่าย IABP ควรเริ่มเมื่อหมดข้อบ่งชี้ และ hemodynamics ผู้ป่วยดีเพียงพอด้วยยาเพิ่มการบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจขนาดไม่สูง โดยลด assist frequency จาก 1:1 เป็น 1:2 เป็นเวลา 2-4 ชม. แล้วจึงลดลงต่ำกว่า 1:2 หาก hemodynamic ของผู้ป่วยคงที่เป็นเวลา 1-2 ชม. สามารถถอด IABP ได้ ไม่แนะนำให้ลดระดับ augmentation ลงต่ำกว่าร้อยละ 50 หากไม่ได้ให้ heparin เนื่องจากเสี่ยงต่อการเกิดลิ่มเลือดรอบบอลูน

การถอด IAB catheter เมื่อหมดข้อบ่งชี้ หรือเกิดภาวะแทรกซ้อนจาก IABP โดยผู้ป่วยต้องมีการแข็งตัวของเลือดที่ปกติ มีขั้นตอนดังนี้²⁸ เริ่มจากพักการทำงานของ IABP ชั่วคราว (stand by), ปลดสายก๊าซของ IAB catheter และดูดก๊าซฮีเลียมในบอลูนผ่าน one-way valve ออกจนหมด จากนั้นใช้มือกดหลอดเลือดแดงต้นขา ส่วนปลาย (distal) ต่อตำแหน่ง puncture จนไม่มีซีฟรส่วนปลาย แล้วจึงดึง IAB catheter ออกพร้อมปลอกนำทาง (หากมี) ปลดปล่อยให้เลือดพุ่งออกจาก puncture site ที่ femoral artery เป็นเวลาสั้น ๆ เพื่อไล่ลิ่มเลือดที่อาจก่อตัวอยู่โดยรอบบอลูนออกจากหลอดเลือดแดงฝั่งใกล้หัวใจ (proximal) หลังจากนั้นใช้มืออีกข้างกดหลอดเลือดแดงต้นขาตำแหน่ง proximal ต่อตำแหน่ง puncture จนเลือดหยุดแล้วจึงปล่อยมือข้างที่กดหลอดเลือดแดงต้นขาเพื่อไล่ลิ่มเลือดออกจากหลอดเลือดฝั่งไกลหัวใจ (distal) แล้วใช้ผ้าก๊อชสะอาดกดบน puncture site tract แรงเพียงพอที่จะห้ามเลือด โดยยังสามารถคลำชีพจรส่วนปลายได้ กดต่อเนื่องนาน 15-30 นาที

ภาวะแทรกซ้อนของ IABP^{8,9}

ภาวะแทรกซ้อนของการใช้ IABP พบได้เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ โดยสามารถจัดแบ่งได้เป็นสามกลุ่ม ได้แก่ **ภาวะแทรกซ้อนที่ตำแหน่งเข้าถึงหลอดเลือด** พบได้บ่อยที่สุดประมาณร้อยละ 3-5 คืออย่างก๊อชขาดเลือด (limb ischemia) และเลือดออกจากตำแหน่งเข้าถึงหลอดเลือด มีการศึกษาพบว่าเทคนิคใส่ IAB catheter ผ่าน ปลอกนำทาง ในผู้ป่วยเบาหวานที่มีโรคหลอดเลือดแดงส่วนปลาย (peripheral vascular disease) เพิ่มความเสี่ยงในการเกิดรอยร้าวขาดเลือดมากถึง 35 เท่า จึงแนะนำให้ใช้วิธีไม่ใช้ปลอกนำทาง (sheathless) แทน²⁹ นอกจากนี้ในกรณีผู้ป่วยที่มีโรคหลอดเลือดแดงส่วนปลายหรือผู้ป่วยต้องใส่ IABP เป็นระยะเวลานานยังสามารถเลี้ยงไปใส่ผ่านหลอดเลือดแดงรักแร้ (axillary artery) หรือ หลอดเลือดแดงใต้กระดูกไหปลาร้า (subclavian artery) แทนได้³⁰ **ภาวะแทรกซ้อนเชิงกล** ที่สำคัญ ได้แก่ บอลูนเลื่อนตำแหน่งไปยังหลอดเลือดแดงใต้กระดูกไหปลาร้าหรือเลื่อนมาปิดหลอดเลือดแดงเลี้ยงไต (renal arteries) หรือหลอดเลือดแดงเลี้ยงลำไส้ (mesenteric arteries) ทำให้เกิดอวัยวะส่วนปลายขาดเลือด และบอลูนแตกส่งผลให้เกิดภาวะฟองอากาศอุดหลอดเลือด (air embolism) และบอลูนติดค้างในหลอดเลือดแดง วินิจฉัยได้จากการตรวจพบเลือดในสายก๊าซ และการเตือนก๊าซรั่วไหล (gas leak alarm) รักษาโดย stand by บอลูน และถอด IAB catheter ทันที และ **ภาวะแทรกซ้อนอื่นที่เกิดขึ้นได้** ได้แก่ ภาวะเกล็ดเลือดต่ำ ภาวะติดเชื้อ หรือ ภาวะที่เป็นผลอันเกิดจากลิ่มเลือดอุดหลอดเลือด เช่น อัมพฤกษ์ อัมพาต อวัยวะภายในขาดเลือด เป็นต้น

สรุป

เทคโนโลยีของ IABP ปัจจุบันได้ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว แม้ว่าคำแนะนำในแนวทางเวชปฏิบัติจะลดระดับความสำคัญของการใช้ IABP ในผู้ป่วยหัวใจขาดเลือดลง แต่ IABP ยังมีความสำคัญในการนำมาใช้ช่วยเหลือผู้ป่วยโรคหัวใจที่มีความเสี่ยงสูงในหลายกรณีให้รอดพ้นจากภาวะวิกฤตในช่วงการผ่าตัดหัวใจหรือทำหัตถการขยายหลอดเลือดหัวใจ ทั้งยังมีใช้ร่วมกับ ECMO มากขึ้น ดังนั้นทีมแพทย์และพยาบาล หรือนุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการดูแล IABP ต้องสามารถเลือกผู้ป่วยได้อย่างเหมาะสม เข้าใจหลักการทำงานของ IABP อย่างดี ตลอดจนสามารถป้องกันและตรวจพบภาวะแทรกซ้อนได้อย่างรวดเร็ว IABP จึงจะมีประโยชน์อย่างสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้นิพนธ์ขอขอบคุณบริษัท เกททีน (ไทยแลนด์) จำกัด ที่อนุญาตให้ใช้ภาพประกอบในบทความนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Murli Krishna KZ. Principles of intra-aortic balloon pump counterpulsation. Continuing Education in Anaesthesia, Critical Care & Pain. 2009;9(1):24-9.
2. van Nunen LX, Noc M, Kapur NK, Patel MR, Perera D, Pijls NH. Usefulness of Intra-aortic Balloon Pump Counterpulsation. Am J Cardiol. 2016;117(3):469-76.
3. Thiele H, Zeymer U, Neumann FJ, Ferenc M, Olbrich HG, Hausleiter J, et al. Intra-aortic balloon counterpulsation in acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock (IABP-SHOCK II): final 12 month results of a randomised, open-label trial. Lancet. 2013;382(9905):1638-45.
4. De Silva K, Lumley M, Kailey B, Alastruey J, Guilcher A, Asstress KN, et al. Coronary and microvascular physiology during intra-aortic balloon counterpulsation. JACC Cardiovasc Interv. 2014;7(6):631-40.
5. Schampaert S, van Nunen LX, Pijls NH, Rutten MC, van Tuijl S, van de Vosse FN, et al. Intra-Aortic Balloon Pump Support in the Isolated Beating Porcine Heart in Nonischemic and Ischemic Pump Failure. Artif Organs. 2015;39(11):931-8.
6. Werdan K, Gielen S, Ebelt H, Hochman JS. Mechanical circulatory support in cardiogenic shock. Eur Heart J. 2014;35(3):156-67.
7. Yarham G, Clements A, Morris C, Cumberland T, Bryan M, Oliver M, et al. Fiber-optic intra-aortic balloon therapy and its role within cardiac surgery. Perfusion. 2013;28(2):97-102.
8. de Waha S, Desch S, Eitel I, Fuernau G, Lurz P, Sandri M, et al. Intra-aortic balloon counterpulsation - basic principles and clinical evidence. Vascu Pharmacol. 2014;60(2):52-6.

9. White JM, Ruygrok PN. Intra-aortic balloon counterpulsation in contemporary practice - where are we? *Heart Lung Circ.* 2015;24(4):335-41.
10. van Nunen LX, van 't Veer M, Schampaert S, Rutten MC, van de Vosse FN, Patel MR, et al. Intra-aortic balloon counterpulsation reduces mortality in large anterior myocardial infarction complicated by persistent ischaemia: a CRISP-AMI substudy. *EuroIntervention.* 2015;11(3):286-92.
11. Thiele H, Zeymer U, Thelemann N, Neumann FJ, Hausleiter J, Abdel-Wahab M, et al. Intraaortic Balloon Pump in Cardiogenic Shock Complicating Acute Myocardial Infarction: Long-Term 6-Year Outcome of the Randomized IABP-SHOCK II Trial. *Circulation.* 2018.
12. Pilarczyk K, Boening A, Jakob H, Langebartels G, Markewitz A, Haake N, et al. Preoperative intra-aortic counterpulsation in high-risk patients undergoing cardiac surgery: a meta-analysis of randomized controlled trialsdagger. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2016;49(1):5-17.
13. Poirier Y, Voisine P, Plourde G, Rimac G, Barria Perez A, Costerousse O, et al. Efficacy and safety of preoperative intra-aortic balloon pump use in patients undergoing cardiac surgery: a systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiol.* 2016;207:67-79.
14. Yang F, Wang J, Hou D, Xing J, Liu F, Xing ZC, et al. Preoperative intra-aortic balloon pump improves the clinical outcomes of off-pump coronary artery bypass grafting in left ventricular dysfunction patients. *Sci Rep.* 2016;6:27645.
15. Aso S, Matsui H, Fushimi K, Yasunaga H. The Effect of Intraaortic Balloon Pumping Under Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation on Mortality of Cardiogenic Patients: An Analysis Using a Nationwide Inpatient Database. *Crit Care Med.* 2016;44(11):1974-9.
16. Li Y, Yan S, Gao S, Liu M, Lou S, Liu G, et al. Effect of an intra-aortic balloon pump with venoarterial extracorporeal membrane oxygenation on mortality of patients with cardiogenic shock: a systematic review and meta-analysisdagger. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2019;55(3):395-404.
17. Authors/Task Force m, Windecker S, Kolh P, Alfonso F, Collet JP, Cremer J, et al. 2014 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization: The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS)Developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI). *Eur Heart J.* 2014;35(37):2541-619.
18. Roffi M, Patrono C, Collet JP, Mueller C, Valgimigli M, Andreotti F, et al. 2015 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation: Task Force for the Management of Acute Coronary Syndromes in Patients Presenting without Persistent ST-Segment Elevation of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J.* 2016;37(3):267-315.
19. Ibanez B, James S, Agewall S, Antunes MJ, Bucciarelli-Ducci C, Bueno H, et al. 2017 ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation: The Task Force for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J.* 2018;39(2):119-77.
20. Perera D, Stables R, Clayton T, De Silva K, Lumley M, Clack L, et al. Long-term mortality data from the balloon pump-assisted coronary intervention study (BCIS-1): a randomized, controlled trial of elective balloon counterpulsation during high-risk percutaneous coronary intervention. *Circulation.* 2013;127(2):207-12.
21. Theologou T, Bashir M, Rengarajan A, Khan O, Spyt T, Richens D, et al. Preoperative intra aortic balloon pumps in patients undergoing coronary artery bypass grafting. *Cochrane Database Syst Rev.* 2011(1):CD004472.
22. Arafa OE, Pedersen TH, Svennevig JL, Fosse E, Geiran OR. Intraaortic balloon pump in open heart operations: 10-year follow-up with risk analysis. *Ann Thorac Surg.* 1998;65(3):741-7.
23. Griffin JM, Restaino S, Takeda K, Garan AR. Left ventricular decompression on Veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation with intra-aortic balloon Counterpulsation. *J Cardiothorac Surg.* 2019;14(1):153.
24. Csepe TA, Kilic A. Advancements in mechanical circulatory support for patients in acute and chronic heart failure. *J Thorac Dis.* 2017;9(10):4070-83.
25. Miller PE, Solomon MA, McAreavey D. Advanced Percutaneous Mechanical Circulatory Support Devices for Cardiogenic Shock. *Crit Care Med.* 2017;45(11):1922-9.
26. Kim JT, Lee JR, Kim JK, Yoon SZ, Jeon Y, Bahk JH, et al. The carina as a useful radiographic landmark for positioning the intraaortic balloon pump. *Anesth Analg.* 2007;105(3):735-8.
27. Guan X, Chen M, Li Y, Zhang J, Xu L, Sun H, et al. Comparison of Safety between Different Kinds of Heparins in Patients Receiving Intra-Aortic Balloon Counterpulsation. *Thorac Cardiovasc Surg.* 2020.
28. Rodigas PC, Finnegan JO. Technique for removal of percutaneously placed intraaortic balloons. *Ann Thorac Surg.* 1985;40(1):80-1.
29. Erdogan HB, Goksedef D, Erentug V, Polat A, Bozbuga N, Mansuroglu D, et al. In which patients should sheathless IABP be used? An analysis of vascular complications in 1211 cases. *J Card Surg.* 2006;21(4):342-6.
30. Nwaejike N, Son AY, Milano CA, Daneshmand MA. Is there a role for upper-extremity intra-aortic balloon counterpulsation as a bridge-to-recovery or a bridge-to-transplant in the treatment of end-stage heart failure? *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2017;25(4):654-8.