

การประยุกต์ใช้คลื่นเสียงสะท้อนหัวใจช่วยในระหว่างให้การรักษาโรคหัวใจผ่านสายสวน

อุเทน บุญมี

ภาควิชากุมารเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

Received: March 20, 2023

Revised: April 2, 2023

Accepted: June 16, 2023

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการรักษาโรคหัวใจเด็กผ่านสายสวนถูกพัฒนาจนเป็นที่รู้จักในแวดวงสุขภาพและได้รับความนิยมมากขึ้น เช่นเดียวกับการตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจที่ถูกพัฒนาเทคนิคและประสิทธิภาพเครื่องทำให้การตรวจวัดรวดเร็วแม่นยำมากกว่าในอดีต จึงมีการประยุกต์ใช้การตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจเพื่อช่วยหัตถการในการรักษาผ่านสายสวนหลากหลายหัตถการ ดังตัวอย่างของสาขาวิชาโรคหัวใจ ภาควิชากุมารเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี ได้แก่ 1) การอุดรูรั่วผนังหัวใจห้องบน 2) การอุดรูรั่วผนังหัวใจห้องล่าง 3) การกระตุกขยายรูผนังกันหัวใจห้องบนด้วยลูกโป่ง 4) การอุดรู Fenestrated ในโรคหัวใจพิการแต่กำเนิดชนิดเขียวที่รับการผ่าตัด Fontan 5) การเจาะและใส่สายระบายน้ำในเยื่อหุ้มหัวใจผ่านสายสวน โดยมีนักเทคโนโลยีหัวใจและทรวงอกเป็นผู้ควบคุมเครื่องและแสดงภาพเพื่อให้แพทย์ผู้รักษาสามารถมองเห็นรอยโรคติดตามตำแหน่งอุปกรณ์และให้การรักษาได้อย่างแม่นยำ ลดปริมาณการใช้รังสีจึงเพิ่มความสะดวกและปลอดภัยมากขึ้น บทความนี้จึงมุ่งนำเสนอให้เห็นคุณประโยชน์ของการตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจและลักษณะการประยุกต์ใช้กับงานอื่นๆ นอกเหนือจากการตรวจวินิจฉัยโรคเพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นสิ่งที่บุคลากรสุขภาพจะต้องเรียนรู้และพัฒนาทักษะเพื่อให้สามารถนำไปปรับใช้ได้อย่างหลากหลายโดยเฉพาะในสถาบันที่มีความพร้อมด้านเครื่องมือและบุคลากร

คำสำคัญ: การตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจ; โรคหัวใจเด็ก; การรักษาโรคหัวใจเด็กผ่านสายสวน

ผู้สนับสนุนประสานงาน:

อุเทน บุญมี

ภาควิชากุมารเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

270 ถนนพระราม 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400

อีเมล: Utan_bunmee@hotmail.com

Application of peri-procedure echocardiography guide intervention

Uthen Bunmee

Department of Pediatrics, Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital, Mahidol University

Abstract

Currently, intervention and catheterization were popular procedures in cardiology and health science, as well as an echocardiography, was developing quickly in terms of processing and an advanced technique. Division of Cardiology in the Department of Pediatrics at Ramathibodi Hospital had a 5 procedure used a guide procedure echocardiography or GPE, and consisted of the following: 1) Septal defect occlusion; 2) Fenestrated Fontan occlusion; 3) Balloon atrial septostomy; 4) Transcatheter ventricular septal defect closure; and 5) Transcatheterization pericardiocentesis. The sonographer was an experienced cardio-thoracic technologist who performed and showed an echo image peri-procedure. This article aims to remind users of the advanced benefits of GPE about the precision of treatment, and decreased radiation dose other than treatment only. Health workers should learn and develop skills in these procedures in order to be able to apply them, especially when adapting to a center that is ready for equipment and personnel.

Keywords: echocardiography; pediatric cardiac disease; pediatric interventional cardiac procedure

Corresponding Author:

Uthen Bunmee

Department of Pediatrics, Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital, Mahidol University
270 Rama-6 Road, Ratchathewi, Bangkok 10400, Thailand.

E-mail: Utan_bunmee@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบันวิวัฒนาการทางการแพทย์เจริญรุดหน้าอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะวิธีการรักษาโรคหัวใจผ่านสายสวนที่เข้ามามีบทบาทอย่างมากทั้งเพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงจากการผ่าตัดใหญ่และลดการรบกวนชีวิตที่ยาวนาน วิธีการรักษาผ่านสายสวนนี้มีหลายประเภท บางประเภทต้องใช้ในการตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจช่วยขณะทำการหัตถการเพื่อให้แพทย์สามารถมองเห็นตำแหน่งอุปกรณ์และสายสวนขณะอยู่ภายในหัวใจได้ ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำในการมองเห็นมากกว่าการถ่ายภาพเอกซเรย์อย่างเดียว และยังทำให้ผู้ป่วยได้รับความปลอดภัยเนื่องจากลดการใช้รังสีและใช้สารทึบรังสีน้อยลงจึงเป็นที่นิยมมากในวงการแพทย์ทั้งในและต่างประเทศ¹ โดยในต่างประเทศนั้นมักมีรายงานการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอยู่มาก แม้ในประเทศไทยเองก็มีรายงานการศึกษาอยู่บ้างเช่นกันแต่มักจำกัดอยู่ในโรงเรียนแพทย์ เนื่องจากการใช้เครื่องมือและขั้นตอนที่มีความซับซ้อนและค่ารักษาพยาบาลโดยรวมยังมีราคาสูง แม้ปัจจุบันชุดอุปกรณ์และสายสวนหลายประเภทจะผ่านเกณฑ์การพิจารณาของกระทรวงสาธารณสุขให้ครอบคลุมถึงผู้ใช้สิทธิบัตรทองประกันสุขภาพถ้วนหน้าแล้วก็ตาม แต่เนื่องจากความสำเร็จของหัตถการและความปลอดภัยของผู้ป่วยขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของแพทย์และบุคลากร โดยเฉพาะการตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจที่จะช่วยให้สามารถมองเห็นตำแหน่งรอยโรค ทิศทาง และลักษณะการวางตัวของอุปกรณ์ได้² ซึ่งต้องอาศัยบุคลากรเฉพาะที่มีประสบการณ์ในการตรวจวัดด้วยหัตถการเหล่านี้จึงจำกัต้องเฉพาะในศูนย์โรคหัวใจที่มีความพร้อมเท่านั้น ทำให้ความรู้เรื่องการประยุกต์ใช้เครื่องตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจช่วยในระหว่างให้การรักษาผ่านสายสวนในประเทศไทยยังมีไม่หลากหลาย จึงต้องการนำเสนอลักษณะวิธีการประยุกต์ใช้งานเครื่องตรวจขึ้นเพื่อเป็นความรู้แก่ผู้สนใจโดยเฉพาะในโรงพยาบาลที่มีเครื่องตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจอยู่แล้ว

การรักษาโรคหัวใจผ่านสายสวน

การสวนหัวใจ (cardiac catheterization) คือการใส่สายสวนเข้าสู่หัวใจและหลอดเลือดหัวใจเพื่อจุดประสงค์ต่างๆ เช่น วินิจฉัย รักษา หรือติดตามการทำงาน โดยการสวนหัวใจเพื่อรักษา คือ การใส่สายสวนเข้าสู่หัวใจและหลอดเลือดหัวใจเพื่อหวังผลในการรักษาโรคของระบบหัวใจและหลอดเลือด การวางหรือสอดใส่อุปกรณ์ (cardiac intervention) เป็นอีกหนึ่งหัตถการทางเลือกสำหรับผู้ป่วยที่ต้องการหลีกเลี่ยงผลข้างเคียงจากการผ่าตัดปัจจุบันมีหลายชนิด เช่น การใส่ลิ้นหัวใจเทียมผ่านสายสวน การใส่อุปกรณ์อุดหลอดเลือดเกินการใส่ขดลวดค้ำยันบริเวณที่มีจุดตีบแคบ การเจาะน้ำในเยื่อหุ้มหัวใจ และการแทงเส้น³⁻⁵ เป็นต้น หัตถการเหล่านี้นอกจากจะต้องใช้อุปกรณ์และเครื่องมือที่หลากหลายแล้วยังต้องใช้บุคลากรที่เชี่ยวชาญในหลายด้าน อาทิ แพทย์โรคหัวใจ วิทยุแพทย์ นักเทคโนโลยีหัวใจและทรวงอก พยาบาลวิชาชีพ นักรังสีเทคนิค เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ป่วยทั้งในระยะก่อนทำการหัตถการ ขณะทำการหัตถการ หลังทำการหัตถการและระยะพักฟื้น ซึ่งสถาบันที่จะทำการหัตถการเหล่านี้ได้จำเป็นต้องมีทีมศัลยกรรมหัวใจและทรวงอกคอยเตรียมพร้อมสำหรับแก้ไขเมื่อเกิดภาวะแทรกซ้อนด้วย

การประยุกต์ใช้คลื่นเสียงสะท้อนหัวใจช่วยในหัตถการการรักษาผ่านสายสวน

เมื่อการตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจเพื่อช่วยหัตถการ (guide procedure echocardiography; GPE) มีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวช่วยให้การรักษาผ่านสายสวนสามารถทำได้สะดวกและสำเร็จเรียบร้อย (success) จึงนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งแบบผ่านผนังทรวงอก (transthoracic echocardiography; TTE) และแบบผ่านหลอดอาหาร (transesophageal echocardiography; TEE)⁶⁻⁷ ซึ่งในการปฏิบัติงานจริงนั้นเมื่อกุมารแพทย์โรคหัวใจทำหน้าที่เป็นผู้ให้การรักษา (interventionist) จะต้องสวมชุดปลอดเชื้อเพื่อ

ควบคุมสายสวนและวางอุปกรณ์ด้วยตนเองจึงไม่สามารถทำหน้าที่ควบคุมเครื่องตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจไปพร้อมกันได้ นักเทคโนโลยีหัวใจและทรวงอก (echocardiographer/echotechnologist) จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการเป็นผู้ตรวจ แสดงภาพ และควบคุมเครื่องตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจทั้งชนิดผ่านผนังทรวงอก (transthoracic echocardiography; TTE) และชนิดผ่านหลอดอาหาร (transesophageal echocardiography; TEE) ซึ่งบางโรงพยาบาลที่ไม่มีบุคลากรอาชีพนี้อาจใช้สัญญาณแพทย์หรือผู้มีประสบการณ์ด้าน Imaging เข้ามาช่วยแทน

ในอดีตที่ยังไม่มีการประยุกต์ใช้ GPE เข้ามาช่วยหัตถการนั้น แพทย์จะใช้วิธีฉีดสารทึบรังสีเพื่อมองเห็นรอยโรค ตำแหน่งสาย ตำแหน่งอุปกรณ์และตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำผ่านการฉีดสารทึบรังสีหรือถ่ายภาพเอกซเรย์แบบเคลื่อนไหว (cine angiography) ซึ่งผู้ป่วยจะต้องสัมผัสรังสีซึ่งหากได้รับรังสีในปริมาณเกินกำหนดอาจมีโอกาสเกิดโรคต่อ (catalac) โรคมะเร็ง (cancer) และระบบพันธุกรรมในร่างกายผิดปกติ (genetic abnormality) หากผู้ป่วยได้รับสารทึบรังสี (contrast media) ที่เกินระดับปลอดภัย อาจส่งผลให้ไตทำงานหนักขึ้นเพื่อขับสารดังกล่าวออก การนำ GPE เข้ามาช่วยจึงลดความเสี่ยงเหล่านั้นลงได้

จากการศึกษาของ Bartel T และคณะ ที่ศึกษาหัตถการการอุดรูผนังกันหัวใจห้องบน (transcatheter atrial septal defect closure) และการศึกษาของ Zamorano JL และคณะ เกี่ยวกับการ

ใส่ลิ้นหัวใจเทียมผ่านสายสวนและการศึกษาของ Cowley CG และคณะที่ศึกษาการใส่อุปกรณ์ปิดรู fenestrated Fontan ยืนยันว่าหากใช้ GPE เข้ามาช่วยหัตถการจะเพิ่มความสะดวกและมีโอกาสที่หัตถการดังกล่าวจะสำเร็จภายใต้ความเสี่ยงต่ำลง^{4,5,9}

จากสถิติของสาขาวิชาโรคหัวใจ ภาควิชากุมารเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี ปี พ.ศ. 2563 มีการให้บริการตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจในปี 2563 จำนวน 1,324 ครั้ง โดยมีเครื่องตรวจทั้งสิ้น 6 เครื่อง ประกอบด้วย Echo lab 3 เครื่อง Portable 2 เครื่อง และเครื่องประจำหอผู้ป่วยเด็ก 1 เครื่อง พบว่ามีการประยุกต์ใช้คลื่นเสียงสะท้อนหัวใจช่วยในระหว่างให้การรักษาโรคหัวใจผ่านสายสวนทั้งสิ้น 5 หัตถการ โดยใช้กับหัตถการ atrial septal defect occlusion บ่อยที่สุดร้อยละ 46/ปี รองลงมาคือการใช้กับหัตถการทำ balloon atrial septostomy และ pericardiocentesis อย่างละเท่าๆ กัน ร้อยละ 35/ปี แต่พบว่าการใช้กับหัตถการ ventricular septal defect occlusion มีน้อยเพียงร้อยละ 3.2/ปี เนื่องจากในงานวิจัยต่างประเทศยังคงรายงานภาวะแทรกซ้อนจากหัตถการนี้เป็นระยะ ทำให้การวางแผนรักษาด้วยวิธีนี้ต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมากและมี Inclusion criteria ที่หลากหลาย โดยจะเลือกทำเฉพาะในรายที่ผ่าตัดปิดรู ventricular septal defect แล้วแต่เหลือรูรั่วตกค้างบริเวณขอบของวัสดุสังเคราะห์หรือตำแหน่งรอยเย็บเท่านั้น ทำให้ปี พ.ศ. 2563 มีสถิติหัตถการนี้เพียง 2 ราย/ปี ดังตารางที่ 1 (Table 1)

Table 1 The number of echocardiography guided interventions in the Department of Pediatric Cardiology, Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital, Mahidol University in 2020.

Type of procedure	Number (%)	Gender		Age
		Male	Female	
Atrial septal defect occlusion	29 (46.0%)	13 (44.8%)	16 (55.1%)	2 - 20 years
Balloon atrial septostomy	11 (17.5%)	8 (72.7%)	3 (27.2%)	1 day - 2 month
Fenestrate Fontan occlusion	10 (15.8%)	4 (40%)	6 (60%)	3 - 14 years
Ventricular septal defect occlusion	2 (3.2%)	1 (50%)	1 (50%)	6 - 14 years
Pericardiocentesis	11 (17.5%)	4 (36.4%)	7 (63.6%)	5 - 11 years
Summary	63 (100%)	30 (47.6%)	33 (52.4%)	1 day - 20 years

นอกจากการรักษาผ่านสายสวนจะเป็นทางเลือกในการรักษาโรคที่ทันสมัย ลดความเสี่ยง และลดระยะเวลาการรอคิวรักษาด้วยวิธีเก่าแล้ว ยังทำให้การตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจมีบทบาทเพิ่มขึ้นในแง่ของการเป็นตัวช่วยที่สำคัญที่ทำให้มองเห็นรอยโรคและทำให้หัตถการสำเร็จลุล่วงไปได้ นักเทคโนโลยีหัวใจและทรวงอก แพทย์ และบุคลากรสุขภาพจึงควรตระหนักถึงคุณค่า เรียนรู้เทคนิคการประยุกต์ใช้คลื่นเสียงสะท้อนหัวใจช่วยในหัตถการการรักษาผ่านสายสวนให้คุ้นเคยหรือฝึกปฏิบัติในแต่ละชนิดหัตถการให้เกิดความชำนาญ ดังนี้

หัตถการการรักษาผ่านสายสวนที่ใช้คลื่นเสียงสะท้อนหัวใจช่วย

1. การอุดรูรั่วของผนังกันหัวใจห้องบนผ่านสายสวน (transcatheter Atrial septal defect occlusion)

โรคผนังกันหัวใจห้องบนรั่ว (atrial septal defect; ASD) คือ ความผิดปกติของหัวใจตั้งแต่กำเนิด (congenital heart disease) ที่พบได้บ่อยในผู้ป่วยเด็ก เป็นช่องทางทำให้เลือดจากหัวใจห้องบนซ้ายไหลไปรวมกันที่ฝั่งขวาส่งผลให้ปริมาณเลือดที่ไปปอดมีมากกว่าปกติ ซึ่งผู้ป่วยเด็กเล็กบางรายอาจมีภาวะเหนื่อยเนื่องจากมีปริมาณเลือดในปอดมาก และบางรายยังพบภาวะติดเชื้อในปอดบ่อยครั้ง นอกจากนี้ โรคผนังหัวใจห้องบนรั่ว

(ASD) ยังเป็นโรคกลุ่ม congenital heart disease ที่บังเอิญพบได้บ่อยในวัยผู้ใหญ่ด้วยเนื่องจากเป็นภาวะที่แสดงอาการน้อยในวัยเด็ก แต่ส่วนใหญ่ผู้ป่วยจะทราบภายหลังว่าตนเองเป็นโรคนี้นี้เมื่ออายุมากขึ้น ซึ่งมักมีอาการจนทำให้ต้องมารับการตรวจและนั่นก็เป็นช่วงที่ความรุนแรงของโรคดำเนินไปมากจนแสดงอาการของผลข้างเคียงแล้ว เช่น ภาวะความดันในปอดสูงถาวร (Eisenmenger syndrome) ส่งผลให้การปิตูรู่วทำได้ยากหรือไม่สามารถทำได้¹⁰

โดยทั่วไปมีโอกาสพบโรค ASD ชนิด secundum ได้บ่อยที่สุด รองลงมาคือ primum และ sinus venosus โดยเฉพาะชนิด secundum ซึ่งเป็นชนิดที่เหมาะสมต่อการรักษาผ่านสายสวนด้วยการใส่อุปกรณ์อุด (ASD device occlusion)¹⁰ เนื่องจากเป็นชนิดที่รอยโรคอยู่ตรงกลางผนังและเหลือพื้นที่เพียงพอสำหรับให้ขอบทุกด้านยึดเกาะ ในผู้ป่วยเด็กเล็กนั้นการใส่อุปกรณ์จะทำเมื่อเด็กมีน้ำหนัก 10-15 กิโลกรัมขึ้นไปเนื่องจากชุดสายส่ง (delivery system) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสายสวนที่ค่อนข้างใหญ่การทำหัตถการในเด็กที่มีน้ำหนักน้อยหรือขนาดหลอดเลือดเล็กมากอาจทำให้เกิดผลข้างเคียงกับหลอดเลือดได้^{11,12} ระหว่างทำผู้ป่วยจะได้รับยาดมสลบโดยทีมวิสัญญีแพทย์ มีการติดตามการทำงานของหัวใจอย่างใกล้ชิด ในห้องสวนหัวใจ โดยแพทย์ทำการใส่สายสวนเข้าสู่หัวใจวัดปริมาณออกซิเจนและความดันในห้องหัวใจเพื่อ

คำนวณค่าต่างๆ ทางระบบไหลเวียน (hemodynamic data) ซึ่งในรายที่ปลอดภัยต้องปราศจากภาวะ Pulmonary hypertension และ Eisenmenger syndrome จึงจะสามารถใส่เครื่องมือเพื่ออุดรูรั่วได้ ขณะเดียวกันแพทย์อีกคนหรือนักเทคโนโลยีหัวใจและทรวงอก จะเป็นผู้ตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจผ่านหลอดอาหารเพื่อแสดงภาพลักษณะและตำแหน่งของรูรั่ว บางช่วงอาจต้องติดตามตำแหน่งของปลายสายสวน เพื่อให้แพทย์สามารถมองเห็นอุปกรณ์และการวางตัวในตำแหน่งที่ต้องการได้ บางสถาบันอาจมีขั้นตอน

การใช้ลูกโป่งวัดขนาด (balloon sizing) โดยการกางลูกโป่งด้วยสารทึบรังสีเมื่ออยู่บริเวณกึ่งกลางรูรั่ว แล้วจึงถ่ายภาพเอกซเรย์วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจากรอยคอดเพื่อใช้เลือกขนาดของอุปกรณ์ให้เหมาะสม โดยต้องคำนึงถึงขอบของรูรั่วและตำแหน่งที่จะวางอุปกรณ์ ดังรูปที่ 1-2 (Figure 1-2) ซึ่งการศึกษาของ Hascoet S และคณะพบว่าการตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจเพื่อช่วยชี้ตำแหน่งขณะทำการหัตถการสามารถทดแทนขั้นตอนการใช้ balloon sizing ได้ โดยเฉพาะการตรวจแบบ 3 มิติ¹¹ ดังรูปที่ 3 (Figure 3)

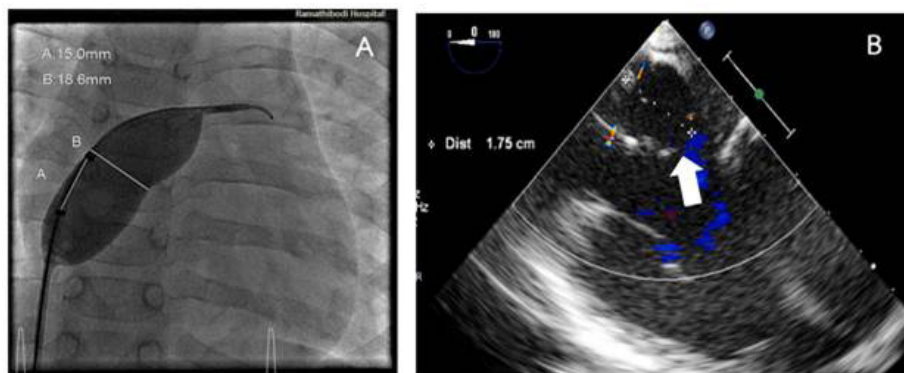


Figure 1 A) The anteroposterior view of the angiogram shows the inflated balloon used to measure the ASD diameter at the narrowest point compared with B) the 0-degree level in the mid esophagus from TEE. (Arrow = Balloon)

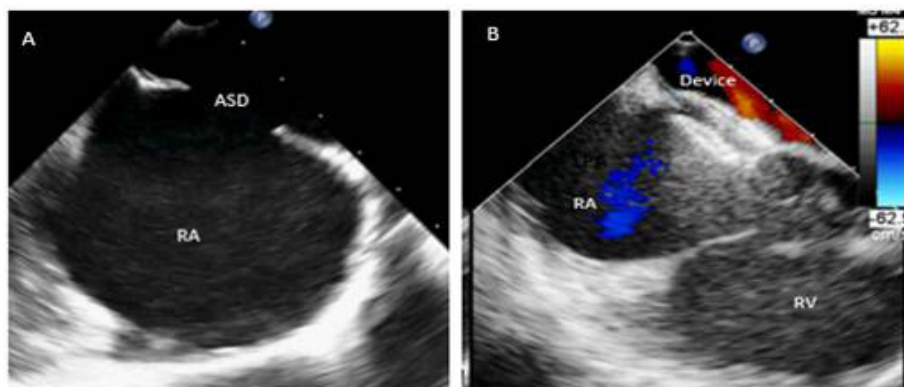


Figure 2 A) The short axis view at angle of 45 degrees from TEE was shown ASD secundum type. B) Demonstrated device after occlusion (ASD; Atrial septal defect, RA; Right atrium, RV; Right ventricle)

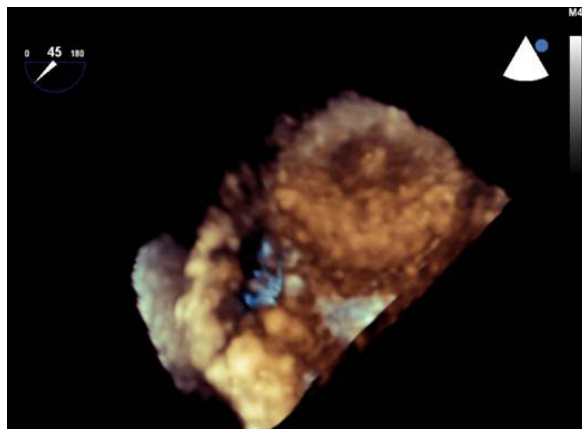


Figure 3 At 45 degrees, the mid-esophageal plane of 3D-TEE was demonstrated by an ASD device surface

2. การอุดรู Fenestrated ในโรคหัวใจ พิการแต่กำเนิดชนิดเขียวที่รับการผ่าตัด Fontan (fenestrated Fontan occlusion)

มีการนำวิธีใส่อุปกรณ์อุดรูรั่วผนังหัวใจห้องบน มาประยุกต์เพื่ออุดรูรั่วอื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายกัน เช่น การใส่อุปกรณ์อุดรูเชื่อมหลอดเลือดในผู้ป่วยโรคหัวใจ พิการแต่กำเนิดชนิดเขียวที่มีเลือดไปปอดน้อย เช่น Pulmonary atresia และ Tricuspid atresia ที่ห้องหัวใจ มีการฝ่อลีบหรือลิ้นหัวใจตีบและต้นจนทำหน้าที่ส่งเลือด จากฝั่งขวาไปสู่ปอดเหมือนคนปกติไม่ได้ โดย Fontan operation คือการสร้างทางลัดหรือสะพานเชื่อม (bridge) ให้เลือดดำจากส่วนบนและส่วนล่างของ ร่างกายสามารถเดินทางไปสู่ปอดได้ มีทั้งวิธีใช้หลอดเลือด ของผู้ป่วยเองและวิธีใช้วัสดุสังเคราะห์เพื่อสร้างทางลัดนี้ ขึ้นมา โดยมีทิศทางจาก inferior vena cava สู่แขนง ของหลอดเลือด pulmonary artery branches รูปที่ 4 (Figure 4) และเจาะรูขนาดประมาณ 5 มิลลิเมตร เชื่อมกับหัวใจห้องบนเพื่อเป็นช่องทางระบายความดัน¹³ รูปที่ 5 (Figure 5) ทั้งนี้ผู้ป่วยจะต้องมีขนาด pulmonary artery branches ที่เจริญเติบโตดีเพียงพอซึ่งมักเป็น

ผลจากการผ่าตัดทำทางลัดด้วยวิธีอื่นมาก่อนแล้ว (promote growth) คำแนะนำจาก McGoon¹³⁻¹⁵

เมื่อผู้ป่วยได้รับการผ่าตัด Fontan แล้วจะได้ รับการตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจเพื่อประเมินขนาด และการไหลของวงจร Fontan circuit ซึ่งบริเวณท่อ Fontan ที่เชื่อมกับหัวใจห้อง atrium นี้แพทย์มักใช้ เส้นเลือดเทียมต่อกับ IVC และเจาะรูเป็นช่องที่ สามารถระบายความดันเลือดได้ รูปที่ 6A (Figure 6A) ระยะหลังผ่าตัดนี้ร่างกายผู้ป่วยจะสามารถนำเลือดไป สู่ปอดและพอกกลับมาได้มากปริมาณออกซิเจนในเลือด จึงสูงขึ้นจนเกิน 90% แต่เมื่อเวลาผ่านไปค่าความดัน ในระบบ Fontan circuit และในร่างกายเปลี่ยนไป เช่น ความดันในปอดสูงขึ้น และภาวะ extra hepatic Porto-Systemic Shunt มีผลทำให้ค่าออกซิเจนใน เลือดต่ำลงจนสังเกตเห็นอาการเขียวได้ ลักษณะเช่นนี้ ผู้ป่วยจำเป็นต้องได้รับการอุดรูเชื่อม (Fenestrated occlude) เพื่อปิดกั้นช่องทางที่เลือดดำไหลมาปนกับ เลือดแดงก่อนออกไปเลี้ยงร่างกายมากเกินไปจนเกิด ภาวะเขียวขึ้นแต่เมื่ออุดรูนี้แล้วค่าออกซิเจนจะกลับมา สูงขึ้นอีก¹⁶

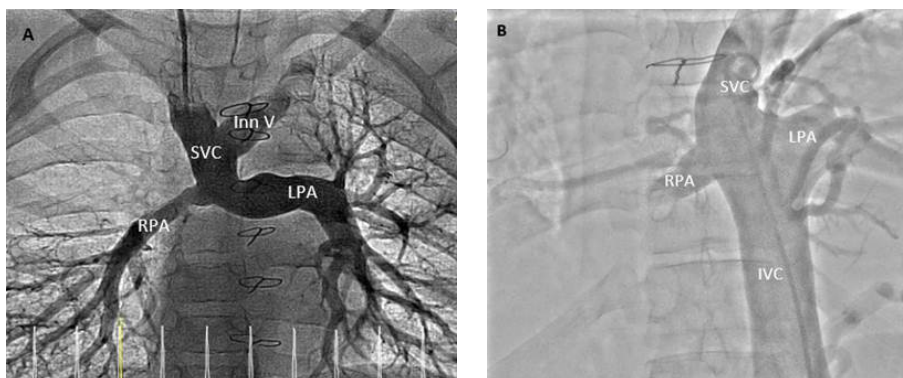


Figure 4 A) Anteroposterior view of angiogram shows superior Glenn (SVC to RPA). B) Fontan circulation IVC (Inferior Glenn) was connected to Superior Glenn. (SVC; Superior vena cava, IVC; Inferior vena cava, RPA; Right pulmonary artery branches, LPA; Left pulmonary artery branches, Inn V; Innominate vein)

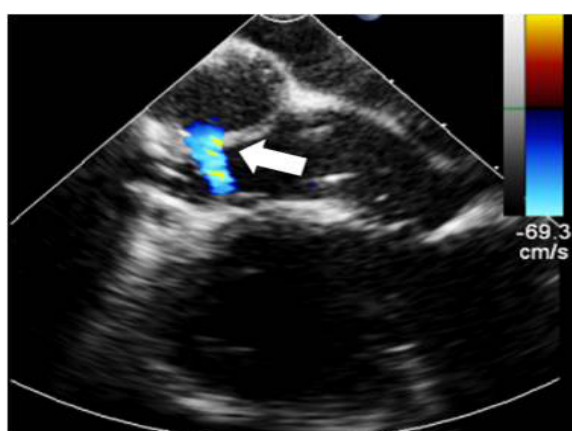


Figure 5 The zero-degree mid-esophageal plane shown by TEE cross-section fenestrate, and the blood directly from the Fontan to the right atrium chamber. (Arrow = Right atrium)

ผู้ป่วยที่เข้ารับการอุดรูเชื่อมต่อ (Fenestrated Fontan Occlusion) จะได้รับยาตามสลับโดย วัสดุอุดรูที่ผนังหัวใจห้องบน (ASD occlusion) ต่างกัน ที่ตำแหน่งของรูเท่านั้น ทั้งนี้ลักษณะของรูเชื่อมต่อต้องไม่ ชิดกับผนังด้านข้างของหัวใจเกินไป (atrial lateral wall) เนื่องจากอุปกรณ์นี้ต้องการขอบสำหรับยึดเกาะ รูปที่ 6

B,C (Figure 6 B,C) หากรูนี้อยู่ชิดกับผนังนอกจาก จะทำให้อุปกรณ์ทางได้ไม่เต็มที่เป็นสาเหตุของการ อุดรูไม่สนิทแล้วการขยับตัวไปมาของหัวใจอาจทำให้ เกิดการบาดและเสียดสีระหว่างขอบอุปกรณ์กับผนัง ด้านข้างหัวใจได้^{17,18} ซึ่งแพทย์มักตรวจสอบอย่างถี่ถ้วน จากการตรวจ TTE ก่อนนัดหมายผู้ป่วย และขณะทำ หัตถการนักเทคโนโลยีหัวใจและทรวงอก จะเป็น

ผู้ตรวจและแสดงภาพ TEE ให้กุมารแพทย์โรคหัวใจ พิจารณาดำเนินและขนาดอุปกรณ์อีกครั้ง นอกจากนี้ยังพบว่าบางสถาบันอาจมีการใช้ balloon ทดลองอุดรูเชื่อมเพื่อสังเกตความเปลี่ยนแปลงของสัญญาณชีพและค่าออกซิเจนในเลือดก่อนทำการอุดรูจริงด้วยอุปกรณ์ก็ได้^{14,16}

แม้ Ruiz CE และคณะจะเคยศึกษาและรายงานการปิดเองของรูเชื่อม Fontan (spontaneous

closed) จากกลไกและสาเหตุต่างๆ ยังพบเป็นจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับผู้ป่วยที่รับการผ่าตัด Fontan ที่ส่วนใหญ่จะได้รับประทานยาต้านการแข็งตัวของเลือดอยู่จึงมีโอกาสดำที่รูนี้จะปิดได้เองจึงจำเป็นที่จะต้องได้รับการอุดด้วยเครื่องมือในรายที่มีข้อบ่งชี้^{14,16,18} และส่วนใหญ่การทำหัตถการนี้ล้วนต้องอาศัยการใช้คลื่นเสียงสะท้อนหัวใจช่วยระหว่างทำหัตถการ

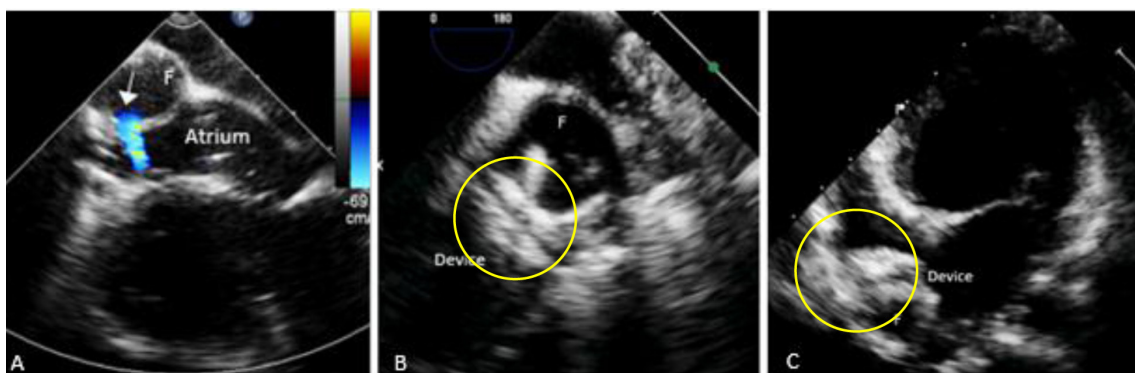


Figure 6 A) The 0 degree mid-esophageal plane of TEE shows the site of fenestration and B) the position of the device after closure, C) Apical 4 chambers view (F; Fontan tunnel, Circle = device)

3. การกระตุกขยายรูผนังกันหัวใจห้องบนด้วยลูกโป่ง (balloon atrial septostomy)

ยังมีรายงานเกี่ยวกับการใช้คลื่นเสียงสะท้อนหัวใจในหัตถการอื่นๆ ที่พบบ่อย เช่น การกระตุกขยายรูผนังกันหัวใจห้องบนด้วยลูกโป่ง (balloon atrial septostomy) เพื่อเปิดทางเดินเลือดโดยในต่างประเทศมีทั้งการใช้วิธีตรวจผ่านผนังทรวงอก (transthoracic echocardiography; TTE) และผ่านหลอดอาหาร (transesophageal echocardiography; TEE)

แต่บางสถาบันรวมทั้งในสาขาวิชาโรคหัวใจ ภาควิชากุมารเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดีนั้นผู้ป่วยที่ต้องได้รับการเจาะผนังหัวใจห้องบนเพื่อเปิดทางเดินเลือด (balloon atrial septostomy) ส่วนใหญ่เป็นผู้ป่วยทารกแรกเกิดจนถึงเด็กเล็กมาก ซึ่งผนังทรวงอกไม่หนาภาพที่ได้จึงมีความคมชัดทำให้สามารถใช้ TTE ในการทำหัตถการได้ ซึ่งปลอดภัยต่อหลอดอาหารและทำได้สะดวกกว่า

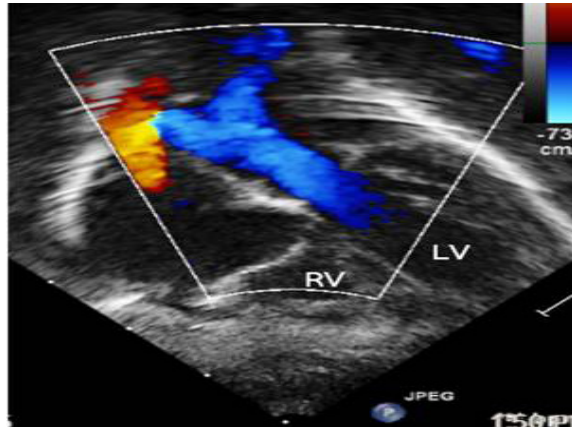


Figure 7 The subcostal 5-chambers view of the TTE showed the character of transposition of the great arteries. The pulmonary artery ascended from the left ventricle. (RV; Right ventricle, LV; Left ventricle)

ภาวะที่จำเป็นต้องได้รับการเจาะผนังหัวใจห้องบนเพื่อเปิดทางเดินเลือดให้เพียงพอ นั้น เช่น ภาวะลิ้นหัวใจ Tricuspid ตันร่วมกับหัวใจห้องขวาฝ่อลีบ (Tricuspid atresia with hypoplastic right ventricle) และภาวะการสลับตำแหน่งของเส้นเลือดใหญ่ (transposition of great arteries; TGA) รูปที่ 7 (Figure 7) เนื่องจากทั้งสองภาวะนี้ปราศจากช่องทางเชื่อมของผนังหัวใจห้องบน (Intact septum) หรือมีทางเชื่อมแต่ตีบแคบลงในเวลาต่อมา (restricted interatrial communication) จนทำให้เลือดที่ออกไปเลี้ยงร่างกายมีแต่เลือดดำเพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นอันตรายและแพทย์ต้องให้การช่วยเหลือด้วยการเปิดหรือขยายช่องทางให้เลือดแดงที่มีปริมาณออกซิเจนสูงกว่าสามารถเข้ามาปะปนและออกไปเลี้ยงร่างกายได้¹⁹ แม้ว่าร่างกายจะอาศัยรูเชื่อมที่มีอยู่โดยธรรมชาติ ได้แก่ Patent ductus arteriosus และ Patent foramen ovale; PFO เป็นเส้นทางนำเลือดแดงข้ามไปยังอีกฝั่งเพื่อให้ปริมาณออกซิเจนสูงขึ้นเล็กน้อยพอประทังชีวิตได้ แต่เนื่องจากกลไกทางเคมีและทางสรีรวิทยาของร่างกายยังดำเนินต่อ รู PDA และ PFO นี้จึงอาจเล็กน้อยตามกระบวนการธรรมชาติร่วมกับกิจกรรมของร่างกายที่ต้องการพลังงานและออกซิเจนมีมากขึ้นทำให้ปริมาณ

ออกซิเจนที่เคยเพียงพอในช่วงแรกนั้นค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งมีอาการเขียวมากขึ้นจนกลายเป็นภาวะฉุกเฉินที่กุมารแพทย์โรคหัวใจจะต้องให้การช่วยเหลือด้วยการเจาะหรือขยายผนังหัวใจห้องบนซึ่งปกติจะทำในห้องสวนหัวใจ แต่ในกรณีเร่งด่วนอาจต้องสามารถเตรียมอุปกรณ์และทำหัตถการนี้ในหอผู้ป่วยวิกฤตได้ทันทีโดยใช้การตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจช่วยในการติดตามตำแหน่งลูกโป่ง ตำแหน่งรู และป้องกันส่วนที่อยู่ข้างเคียงขณะกระตุกหรือดึง ทั้งนี้มีรายงานว่า balloon atrial septostomy ทำครั้งแรกในผู้ป่วย transposition of great arteries; TGA 8 ราย ในปี ค.ศ. 1984 โดย Baker และคณะ¹⁹ เทคนิคนี้ถูกพัฒนาและใช้อย่างต่อเนื่อง

การกระตุกขยายรูผนังกันหัวใจห้องบนด้วยลูกโป่งนี้มีหลักการเฉพาะที่แตกต่างจากการใช้ลูกโป่งเพื่อถ่างขยายทั่วไป คือมิได้อาศัยหลักการขยายตัวของลูกโป่งเพื่อดันให้ขอบของรู PFO เปิดกว้างเท่านั้น (dilated) แต่อาศัยการดึงกระชาก (Pull) ให้ลูกโป่งข้ามผนังผ่านรู PFO จนเกิดการฉีกขาดและขยายขนาดขึ้น อาจเรียกว่า “การกระตุกบอลลูน” ก็ได้ โดยแพทย์จะใส่ลูกโป่งนี้ผ่านสายสวนหัวใจให้ปลายสายผ่านรู PFO และทางลูกโป่งให้ลอยอยู่ในหัวใจห้องบนซ้าย (left

atrium) ขณะเดียวกันนักเทคโนโลยีหัวใจและทรวงอกจะต้องแสดงภาพ TTE มุม subcostal bicaval view หรือ subcostal 4 chambers หรือ apical 4 chambers เพื่อให้แพทย์สามารถมองเห็นตำแหน่งของรู PFO และอุปกรณ์ได้ชัดเจน รูปที่ 8 (Figure 8) ทั้งนี้ต้องเฝ้าระวังไม่ให้ลูกโป่งทะลุหรือติดรั้งกับลิ้นหัวใจ Mitral และไม่เข้าไปอุดตันหลอดเลือด pulmonary vein ซึ่งหลังจากแพทย์กระตุกลูกโป่งลากผ่านผนังกันหัวใจ

ห้องบนแล้วนักเทคโนโลยีหัวใจและทรวงอกจะแสดงภาพและวัดขนาด PFO แพทย์สังเกตค่าออกซิเจนในเลือดอีกครั้งและประเมินหากพบว่ามีภาวะ restricted interatrial communication อยู่แพทย์อาจกระตุกซ้ำเพื่อขยายขนาดรูให้กว้างขึ้นอีกส่วนใหญ่มักสิ้นสุดที่ขนาดเกิน 2 เท่าของขนาดรูก่อนขยายหรือเมื่อ oxygen saturation เพิ่มขึ้นจากเดิม^{19,20}

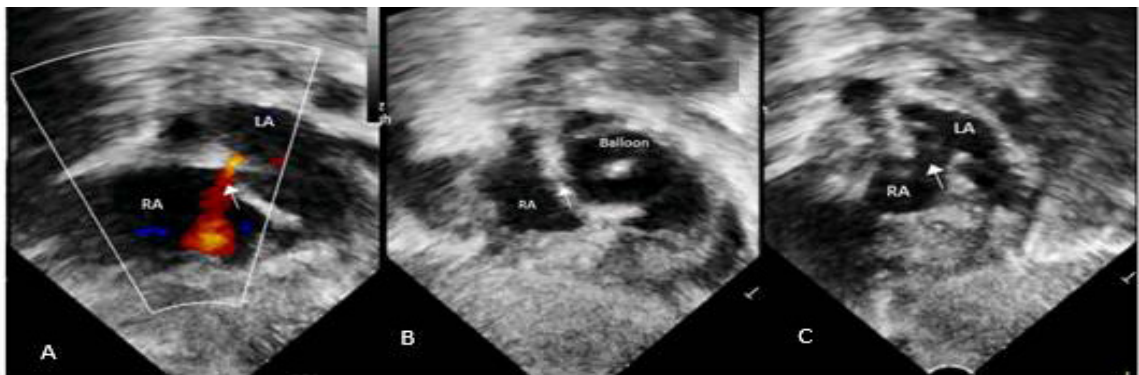


Figure 8 Subcostal view demonstrated in transthoracic echocardiogram A) Interatrial communication was restricted by a tiny PFO left to right shunt B) Catheter passed septum and Inflated balloon in the left atrium above the mitral valve. C) Interatrial communication increased after balloon septostomy. (LA; Left atrium, RA; Right atrium, Arrow; PFO/Interatrial communication)

4. การอุดรูรั่วของผนังกันหัวใจห้องล่างผ่านสายสวน (transcatheter ventricular septal defect closure)

การอุดรูรั่วของผนังหัวใจห้องล่าง (Ventricular septal defect; VSD) ในอดีตส่วนใหญ่ทำในรูรั่วชนิดที่อยู่ในกล้ามเนื้อ (muscular VSD) แต่สำหรับการศึกษาของ Carminati M ได้ทดลองอุดรูชนิด perimembranous VSD มากที่สุดโดยหลังอุดรูชนิด perimembranous แล้วพบว่าส่วนใหญ่มีปัญหา aortic valve regurgitation เท่าๆ กับ complete atrioventricular block รองลงมาคือปัญหา embolization และ residual shunt อย่างละเท่าๆ กัน และในชนิด muscular VSD นั้นพบปัญหา residual

shunt, malposition และ LVOT gradient นอกจากนี้ Mario Carminati และคณะยังทำการอุดรูรั่วของผนังหัวใจห้องล่างในชนิดที่เหลืตกค้างจากการผ่าตัด (residual VSD)²¹ เช่นเดียวกับที่ภาควิชากุมารเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี ที่อุดรูรั่วผนังหัวใจห้องล่างผ่านสายสวนชนิด residual VSD เท่านั้น โดยใช้ TEE เข้ามาช่วยติดตามตำแหน่งและการวางอุปกรณ์ในระหว่างทำหัตถการ ซึ่งส่วนใหญ่ในรายที่สามารถใส่อุปกรณ์ได้จะต้องตรวจสอบอย่างแน่ใจว่าเป็นรูที่อยู่ห่าง aortic valve และ tricuspid valve เพื่อป้องกันไม่ให้ขอบอุปกรณ์กดเบียดหรือบาดลิ้นหัวใจทั้งสอง รูปที่ 9-10 (Figure 9-10)

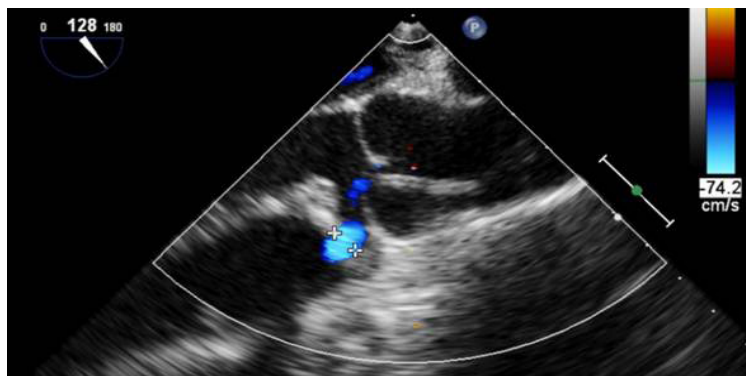


Figure 9 Long axis view at 128 degrees in the mid-esophagus from TEE shows residual VSD after surgery.

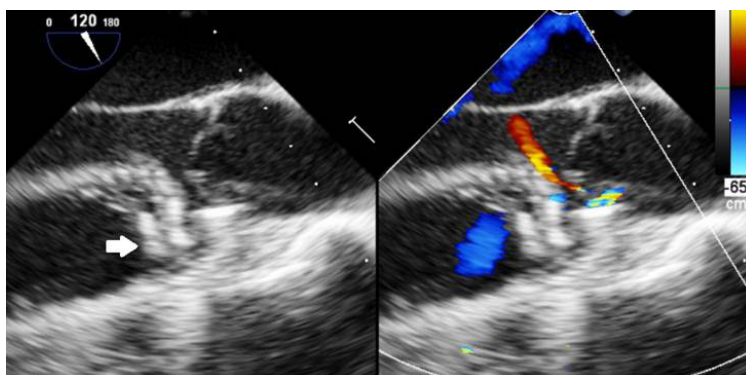


Figure 10 The long axis view about 120 degrees mid-esophagus of TEE under color compare mode demonstrated VSD device position.

5. การเจาะระบายน้ำในเยื่อหุ้มหัวใจผ่านสายสวน (transcatheterization pericardiocentesis)

ช่องเยื่อหุ้มหัวใจ Pericardial space ของคนปกติสามารถพบของเหลวอยู่ภายในได้ในปริมาณน้อยประมาณ 15-35 มิลลิลิตร เพื่อหล่อลื่นและป้องกันการเสียดสีจากการเคลื่อนไหว โดยสร้างมาจากชั้น inner serosa ที่มี mesothelial cells และ Microvilli โดยมีระบบเลือดและน้ำเหลืองเข้ามาหล่อเลี้ยงด้วยในผู้ป่วยที่มีความผิดปกติร่างกายจะสร้างของเหลวขึ้นมาในปริมาณที่มากเกินไปจนบีบรัดหัวใจ (cardiac tamponade) เนื่องจากพื้นที่ในช่องอกมีจำกัดเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นจึงกดและส่งผลต่อการคลายตัวของหัวใจโดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะหัวใจห้องล่างคลายตัว

มักพบว่าเกิดการผล็วให้น้ำกดหัวใจจนเกิดการยุบตัวของหัวใจห้องบนขวา (right atrium collapsing) ซึ่งความผิดปกติเหล่านี้นอกจากแสดงผ่านอาการของผู้ป่วยแล้วยังสามารถมองเห็นภาพและวัดขนาดได้จากการตรวจ TTE รูปที่ 11 (Figure 11) โดยเฉพาะลักษณะความใส ชุ่มชื้น หรือเหนียวที่จะมีอิทธิพลต่อการเลือกวิธีการรักษา ร่วมกับสังเกตภาวะ tricuspid regurgitation²² และ diastolic function abnormality ร่วมกับมีคลื่นไฟฟ้า low voltage ในทุก lead โดยเฉพาะด้านที่มีน้ำมากเสมือนมีฉนวนขวางกั้นการส่งสัญญาณมาสู่ electrode มักสอดคล้องกับภาพ chest x-ray ที่จะพบขนาดหัวใจใหญ่กว่าปกติ CT ratio เกิน 0.5 หรือปริมาณน้ำ 200 มิลลิลิตรขึ้นไป²³



Figure 11 Subcostal view in TTE demonstrated pericardial effusion (arrow)



Figure 12 Subcostal view in TTE under zoom demonstrated needle site (arrow)

การรักษาที่มีทั้งวิธีการผ่าตัดและใส่สายสวน
ระบาย²³ โดยในภาวะเร่งด่วนการใส่สายสวนจะมี
ประโยชน์มากขณะทำหัตถการต้องอาศัยการตรวจ
คลื่นเสียงสะท้อนหัวใจเพื่อบอกตำแหน่งและทิศทางที่
เหมาะสมต่อการแทงเข็มและใส่สายเพื่อป้องกันอันตราย
ต่อหัวใจห้องล่าง หัวตรวจที่ทาเจลจะถูกห่อหุ้มด้วย
ถุงพลาสติกปลอดเชื้อส่งเข้าสู่พื้นที่ sterile โดยมีแพทย์
หรือแพทย์ผู้ช่วยเป็นผู้วางหัวตรวจในมุมต่างๆ ผิวหนัง

ที่เปียกน้ำเกลือสะอาดจะเป็นตัวกลางนำคลื่นเสียง
จนปรากฏภาพที่คมชัดได้ นักเทคโนโลยีหัวใจและ
ทรวงอกจะคอยควบคุมเครื่องอยู่นอกพื้นที่ปลอดเชื้อ
ทำหน้าที่ปรับภาพและวัดปริมาณ pericardial effusion
ก่อนระบายและหลังระบายเพื่อเปรียบเทียบผล รูปที่
12-13 (Figure 12-13) รวมทั้งติดตามตำแหน่ง
ของปลายเข็มและปลายสายไม่ให้ทิ่มแทงทะลุหัวใจ
โดยสังเกตจากสีของของเหลวที่ได้หากมีลักษณะเป็น



Figure 13 Subcostal view in TTE demonstrated decrease size pericardial effusion after procedure successes.

สีเลือดร่วมกับมีค่าความดันเลือดและคลื่นไฟฟ้าหัวใจบนจอมอนิเตอร์ผิดปกติจะต้องระวังการที่หมดสติหัวใจและต้องตรวจสอบการบีบและคลายตัวของหัวใจเป็นระยะด้วย

สรุปผล

การตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจ (echocardiography) จัดเป็นเครื่องมือทาง Imaging อย่างหนึ่งที่วิธีการตรวจมีหลักการคล้ายอัลตราซาวด์ ด้วยคุณสมบัติในด้านความปลอดภัยจากรังสี ราคาตรวจต่อครั้งไม่สูงมาก และสามารถเคลื่อนย้ายเครื่องไปมาได้สะดวก GPE จึงถูกประยุกต์เข้ามาใช้เพื่อช่วยระหว่างให้การรักษาด้านสายสวน ปัจจุบันเครื่องและระบบตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจถูกพัฒนาไปมาก มีให้เลือกหลากหลายรุ่นและยี่ห้อ หลากหลายราคา และทำได้ง่ายและปลอดภัยกว่าเครื่อง computed tomography, CT หรือ magnetic resonance imaging, MRI จึงพบเห็นเครื่องมือนี้ในโรงพยาบาลขนาดกลางและขนาดเล็กมากขึ้น แต่นับเป็นเรื่องที่น่าเสียดายอย่างยิ่งหากโรงพยาบาลที่มีเครื่องตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจนี้แล้วแต่ไม่ได้นำมาประยุกต์ใช้ในลักษณะอื่นๆ เลย

นอกจากให้บริการตรวจผู้ป่วยตามปกติ (routine) เท่านั้น ฉะนั้นเพื่อให้เกิดประโยชน์ทั้งในแง่ความคุ้มค่าในงบประมาณและเกิดความรู้ใหม่ๆ จึงเป็นเรื่องท้าทายที่แพทย์และนักเทคโนโลยีหัวใจและทรวงอก รวมถึงบุคลากรด้านสุขภาพอื่นๆ จะได้ศึกษา ฝึกปฏิบัติ และคิดประยุกต์ใช้การตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจในลักษณะที่แตกต่างออกไป

ข้อเสนอแนะ

แม้ว่าการใช้ GPE ในหัตถการผ่านสายสวนจะมีประโยชน์และเพิ่มความปลอดภัยต่อผู้ป่วย แต่ก็ต้องอาศัยบุคลากรที่ทำหน้าที่ตรวจและควบคุมเครื่อง ซึ่งบุคคลเหล่านี้อาจมีความเสี่ยงที่จะต้องสัมผัสรังสีเอ็กซในระยะเวลาประชิดกับหลอดกำเนิดรังสีและหลอดขยายความสว่าง (image intensifier; II) โดยเฉพาะหัตถการที่ต้องทำในห้องสวนหัวใจและใช้ระยะเวลานานๆ อาจส่งผลต่อร่างกายในระดับพันธุกรรมและระดับเซลล์เสี่ยงต่อการป่วยด้วยโรคเรื้อรังและปัญหาสุขภาพระยะยาว²⁴ จึงต้องสวมชุดป้องกันให้ครบและหมั่นตรวจสุขภาพอย่างสม่ำเสมอ

เอกสารอ้างอิง

1. Douglas PS, Hahn RT, Pibarot P, et al. Hemodynamic outcomes of transcatheter aortic valve replacement and medical management in severe, inoperable aortic stenosis: A longitudinal echocardiographic study of cohort B of the PARTNER trial. *J Am Soc Echocardiogr* 2015;28:210-7. e9.
2. Yarrabolu T, Syamasundar Rao P. Transcatheter Closure of Patent Ductus Arteriosus. *Pediat Therapeut* S5: 005. doi: 10.4172/2161-0665. S5-005. *Pediat Therapeut* ISSN, 2012.
3. Mielczarek M, Ciecwierz D, Sabiniewicz R, et al. The first reported case of pulmonary vein stenosis treated by percutaneous angioplasty with self-apposing drug-eluting stent implantation. *Int J Cardiol* 2015;179: 13-5.
4. Bartel T, Müller S. Device closure of interatrial communications: peri-interventional echocardiographic assessment. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2013;14:618-24.
5. Zamorano JL, Badano LP, Bruce C, et al. EAE/ASE recommendations for the use of echocardiography in new transcatheter interventions for valvular heart disease. *Eur Heart J* 2011;32:2189-214.
6. Porter TR, Shillcutt SK, Adams MS, et al. Guidelines for the use of echocardiography as a monitor for therapeutic intervention in adults: a report from the American society of echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2020;4:122.
7. Serban M, Ghiorghiu I, Craciunescu I, et al. Spontaneous echo contrast of unexpected etiology. *Eur J Echocardiogr* 2006;7:257-9.
8. Hascoet S, Hadeed K, Marchal P, et al. The relation between atrial septal defect shape, diameter, and area using three-dimensional transoesophageal echocardiography and balloon sizing during percutaneous closure in children. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2015;16:747-55.
9. Cowley CG, Badran S, Gaffney D, et al. Transcatheter closure of Fontan fenestrations using the Amplatzer septal occluder: Initial experience and follow up. *Catheter Cardiovasc Interv* 2000;51:301-4.
10. Al-Qbandi M, Hijazi Z. Device closure of fenestrations post fontan operation. *Transcatheter Closure of ASDs and PFOs: A comprehensive assessment USA: Cardiotext Publishing.* 2010:243-9.
11. Hascoet S, Hadeed K, Karsenty C, et al. Feasibility, safety and accuracy of echocardiography-fluoroscopy imaging fusion during percutaneous atrial septal defect closure in children. *J Am Soc Echocardiogr* 2018;31:1229-37.
12. Goff DA, Blume ED, Gauvreau K, et al. Clinical outcome of fenestrated Fontan patients after closure: the first 10 years. *Circulation* 2000;102:2094-9.
13. Layangool T, Kojaranjit V, Promphan W, et al. An unusual cause of progressive cyanosis post Fontan operation: Congenital extra-hepatic porto-systemic shunt. *J Med Assoc Thai* 2014;97:S176-81.

14. Ruiz CE, Austin III E, Cheatham J, et al. First food and drug administration approval under humanitarian device exemption of a septal occluder for fenestrated Fontan and muscular ventricular septal defects. *Circulation* 2000;101:e9042-e.
15. Lopes LM, Kawano C, Cristovao SAB, et al. Balloon atrial septostomy guided by echocardiography in a neonatal intensive care unit. *Arq Bras Cardiol* 2010;95:153-8.
16. Khoshhal SQ, Al-Mutairi MB, et al. Transcatheter device closure of ventricular septal defects in children: A retrospective study at a single cardiac center. *Ann Saudi Med* 2020;40:396-402.
17. Fraisse A, Latchman M, Sharma S-R, et al. Atrial septal defect closure: Indications and contra-indications. *J Thorac Dis* 2018; 10:S2874.
18. Thatte N, Dimas V, Nugent A, et al. Use of institutional criteria for transcatheter device closure of Fontan fenestration– Midterm outcomes. *Ann Pediatr Cardiol* 2020;13:327.
19. Lock J, Block P, McKay R, et al. Transcatheter closure of ventricular septal defects. *Circulation* 1988;78:361-8.
20. Kitano M, Tsukada M, Fujino M. Wire atrial septostomy: A new technique to create a large defect in a thickened atrial septum. *World J Pediatr Congenit Heart Surg* 2020;11:NP18-NP21.
21. Carminati M, Butera G, Chessa M, et al. Transcatheter closure of congenital ventricular septal defects: Results of the European Registry. *Eur Heart J* 2007;28: 2361-8.
22. Maisch B, Seferovic PM, Ristic AD, et al. Guidelines on the diagnosis and management of pericardial diseases executive summary: The task force on the diagnosis and management of pericardial diseases of the European society of cardiology. *Eur Heart J* 2004;25:587-610.
23. Parker J, Ali MJ. Pericardiocentesis. *Bedside procedures for the Intensivist: Springer*; 2010. p. 205-16.
24. Kaya B, Maimaiti N, Kaya SD. Radiation safety awareness among healthcare workers in Middle Eastern countries. 2005.