

การตรวจการทำงานของ หัวใจทารกในครรภ์ (fetal cardiac function assessment)

ธีระภัทร เจริญวิทย์

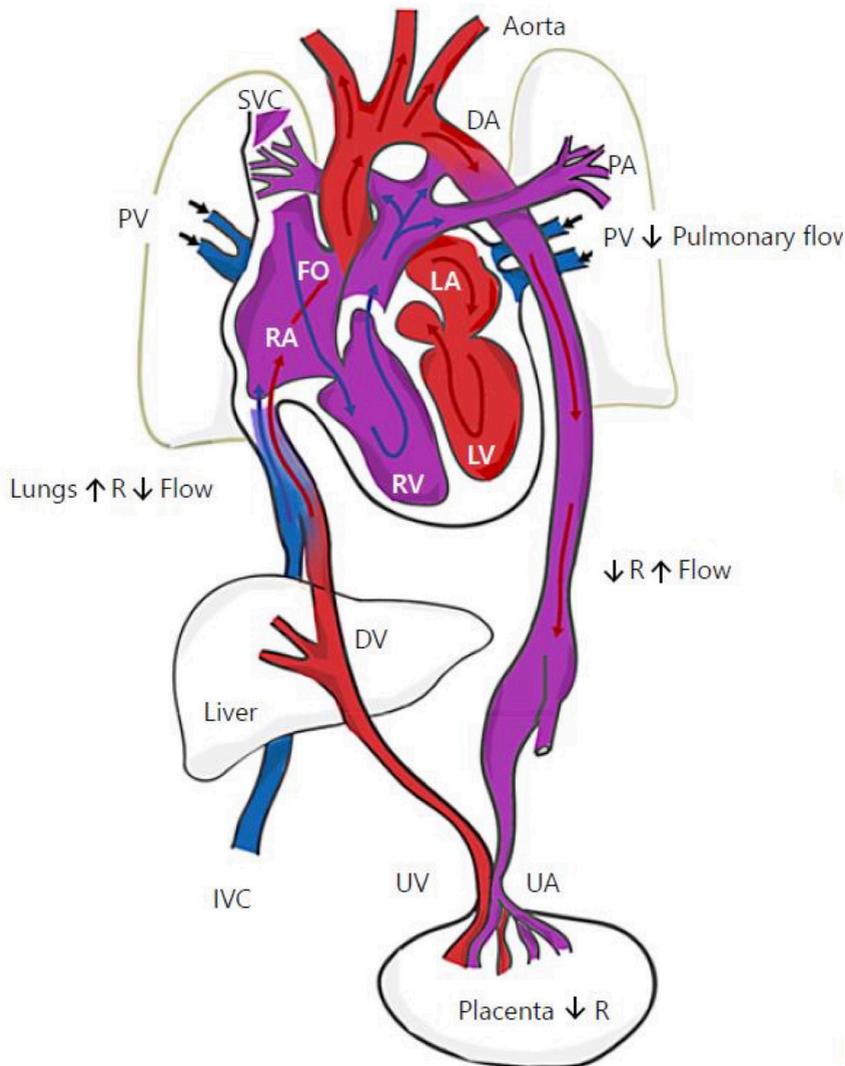
บทนำ

การตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงหัวใจทารกในครรภ์ (fetal echocardiography) เป็นการตรวจเพื่อวินิจฉัยความพิการของหัวใจทารกแต่กำเนิด ในปัจจุบันการตรวจ fetal echocardiography นั้นสามารถทำได้ เฉพาะแพทย์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเวชศาสตร์มารดาและทารกในครรภ์ที่ถูกสอนหรือกุมารแพทย์โรคหัวใจ นอกจากนี้การตรวจ fetal echocardiography นั้นต้องอาศัยทักษะและประสบการณ์อย่างมากในการตรวจ เนื่องจากการตรวจต้องอาศัยความรู้ทางด้านศัลยกรรมและเทคนิคการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงขั้นสูงเพื่อให้ได้ภาพที่ชัดเจนเพียงพอเพื่อสามารถทำการวินิจฉัยภาวะหัวใจพิการแต่กำเนิดได้อย่างถูกต้อง นอกจากการตรวจ fetal echocardiography แล้วการตรวจการทำงานของหัวใจทารกในครรภ์ (fetal cardiac function) ก็มีความสำคัญและเป็นส่วนประกอบหนึ่งของ fetal echocardiography ควรต้องตรวจในทารกที่มีภาวะหัวใจพิการแต่กำเนิดเพื่อที่จะทำให้สามารถพยากรณ์โรคล่วงหน้าและสามารถวางแผนการดูแลรักษาทารกหลังคลอด ในบทความนี้ได้รวบรวมความรู้เกี่ยวกับเทคนิคการตรวจประเมินการทำงานของหัวใจทารกแบบต่าง ๆ เพื่อให้แพทย์ผู้เชี่ยวชาญสามารถนำความรู้ไปใช้ตรวจประเมินการทำงานของหัวใจทารกในครรภ์ได้อย่างถูกต้อง

ระบบการไหลเวียนเลือดของทารกในครรภ์

ระบบการไหลเวียนเลือดของทารกในครรภ์ดังรูปที่ 1⁽¹⁾ ขณะที่ทารกอยู่ในครรภ์มารดาสารอาหารและออกซิเจนจะส่งมาจากมารดาผ่านรกและผ่านทางหลอดเลือดดำสายสะดือ (umbilical vein) ปริมาณเลือดมากกว่าร้อยละ 50 จะไหลเวียนผ่านหลอดเลือด ductus venosus ที่ตีบผ่านเข้าสู่หลอดเลือดดำ inferior vena cava เลือดส่วนที่เหลือจะทำหน้าที่หล่อเลี้ยงตับของทารกทางหลอดเลือดดำ portal หลังจากเลือดได้ผ่านหลอดเลือดดำ inferior vena cava ก็จะเข้าสู่หัวใจห้องขวาบน (right atrium) จากนั้นเข้าสู่หัวใจห้องซ้าย

บนผ่านทาง foramen ovale ในส่วนของเลือดจากหลอดเลือดดำ superior vena cava นั้นจะไหลจากห้องขวาบนผ่านลิ้น tricuspid valve ลงมาที่หัวใจห้องขวาล่างแล้วสูบฉีดผ่านหลอดเลือด pulmonary artery แต่เนื่องจากความดันในปอดของทารกที่อยู่ในครรภ์สูงเลือดจึงไหลผ่านหลอดเลือดเล็ก ๆ ที่ชื่อว่า ductus arteriosus (right-to-left shunt) ซึ่งจะปิดลงกลายเป็น ligamentum arteriosum หลังจากทารกคลอดแล้ว เลือดจาก ductus arteriosus และหลอดเลือดแดงใหญ่ aorta จะไหลเวียนกลับไปที่รกอีกครั้งผ่านทางหลอดเลือดแดงสายสะดือ (umbilical artery)



รูปที่ 1. แสดงการไหลเวียนเลือดของทารกในครรภ์⁽¹⁾

SVC: superior vena cava, RA: right atrium, RV: right ventricle, PA: pulmonary artery, LA: left atrium, LV: left ventricle, PV: pulmonary vein, FO: fossa ovalis, DA: ductus arteriosus, DV: ductus venosus, UV: umbilical vein, UA: umbilical artery, IVC: inferior vena cava

วงจรการทำงานของหัวใจทารกในครรภ์ (the cardiac cycle)

วงจรการทำงานของหัวใจทารกในครรภ์มีทั้งหมด 5 ระยะ^(2, 3) ดังรูปที่ 2⁽⁴⁾ คือ

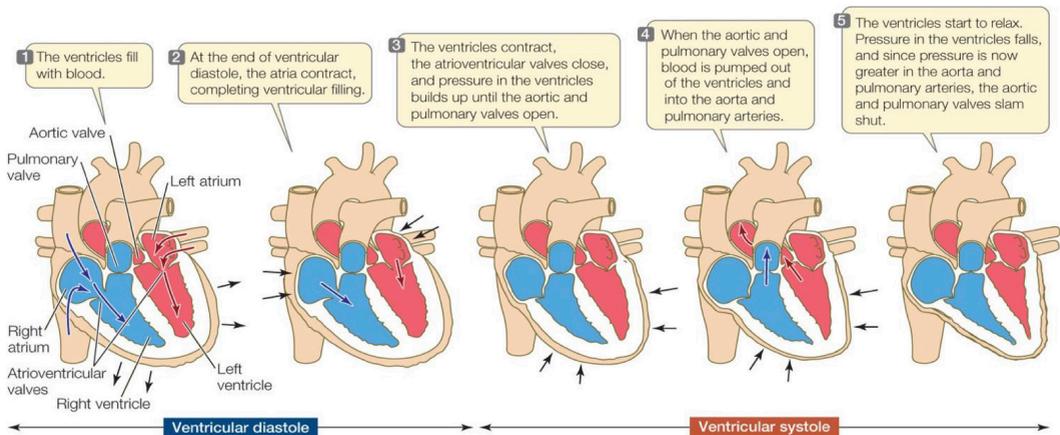
1. Early diastole เป็นช่วงที่หัวใจห้องล่าง (ventricle) มีความดันที่ต่ำกว่าหัวใจห้องบน (atria) ทำให้เลือดไหลจากหัวใจห้องบนผ่านลิ้นหัวใจ tricuspid และ mitral valve โดยไม่มีการบีบตัว (passive manner)

2. Atrial contraction เป็นช่วงที่หัวใจห้องบนบีบตัวไล่เลือดส่วนที่เหลือมายังหัวใจห้องล่าง (late diastole)

3. Isovolumic contraction phase เป็นช่วงที่หัวใจเริ่มบีบตัวในจังหวะนี้ลิ้น tricuspid และ mitral valve จะปิดแต่ลิ้น aortic และ pulmonary valve เปิดตัวแต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรหรือไหลเวียนของเลือดในช่วงนี้

4. Ejection period เป็นช่วงที่ความดันเลือดในห้องล่างสูงพอที่จะมีการบีบให้เลือดไหลผ่านลิ้น aortic และ pulmonary valve

5. Isovolumic relaxation phase เป็นจังหวะเริ่มต้นของ diastole หลังจากทีลิ้น aortic และ pulmonary valve ได้ปิดลงความดันเลือดในหัวใจห้องล่างลดลงในจังหวะนี้จะไม่มีการไหลเวียนของเลือดเข้าหรือออกจากหัวใจห้องล่าง



รูปที่ 2. แสดงวงจรการทำงานของหัวใจทารกในครรภ์⁽⁴⁾

การประเมินการทำงานของหัวใจทารกในครรภ์

การประเมินการทำงานของหัวใจทารกสามารถทำได้ 2 แบบ คือ

1. Qualitative assessment เป็นการตรวจดูการทำงานของห้องหัวใจด้วยตาเปล่าโดยสังเกตจากลักษณะการบีบตัวหากพบว่าทารกในครรภ์มีภาวะ cardiomegaly, atrioventricular valve regurgitation และ hydrops fetalis ซึ่งภาวะดังกล่าวแสดงถึงการทำงานของหัวใจทารกที่ผิดปกติจำเป็นต้องมีการตรวจแบบ quantitative assessment ต่อไป

2. Quantitative assessment เป็นการตรวจประเมินการทำงานของห้องหัวใจโดยใช้เทคนิคการตรวจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงโหมดต่างๆช่วยในการตรวจ การประเมินการทำงานของหัวใจทารกนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 อย่างดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1⁽²⁾ คือ

2.1 Systolic function

2.2 Diastolic function

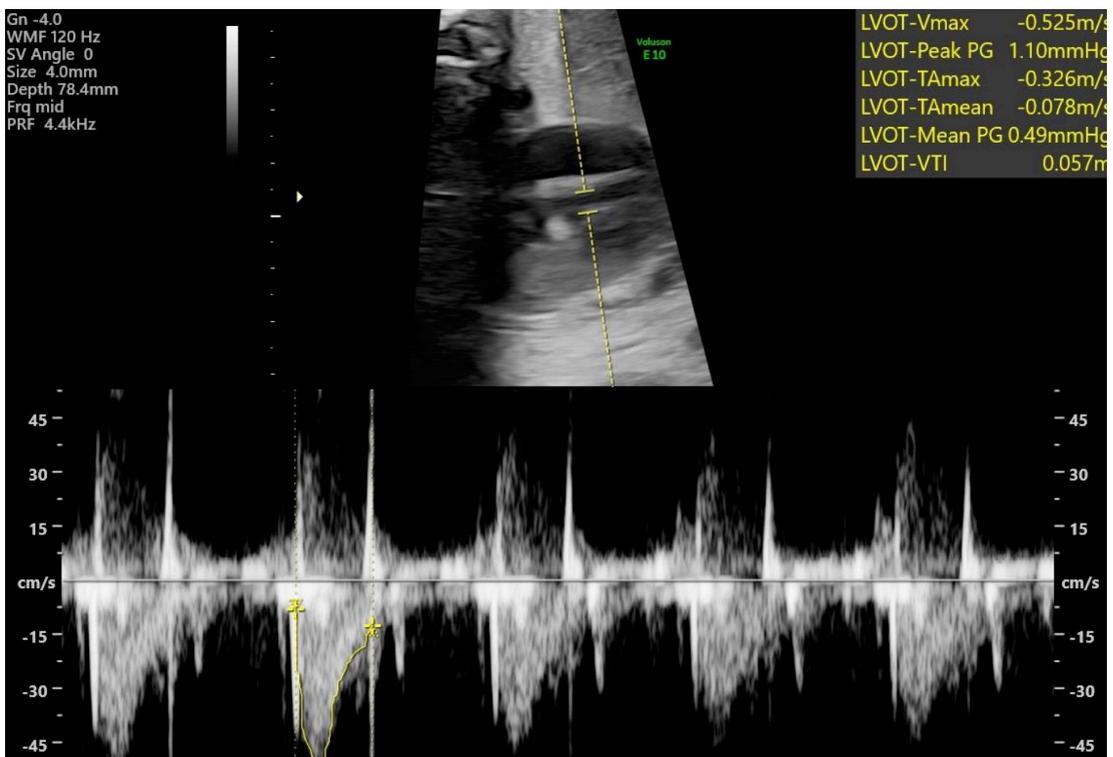
2.3 Global cardiac function

ตารางที่ 1. แสดงค่าการตรวจและเทคนิคการประเมินการทำงานของหัวใจทารก⁽²⁾

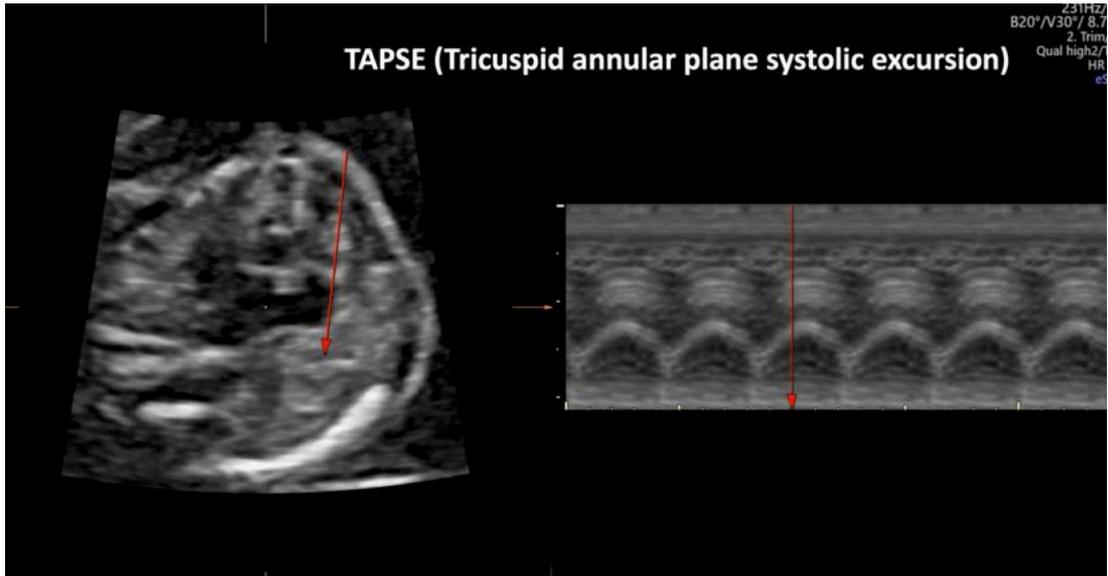
TVI: time velocity integral, TDI: tissue doppler imaging, STIC: spatiotemporal image correlation

ค่าการตรวจ	ความหมาย	โหมด/เทคนิค
Systolic function		
Blood volume estimation		
Ejection fraction	สัดส่วนของเลือดที่ออกมาจากหัวใจห้องล่างในแต่ละครั้งที่หัวใจบีบตัว	2D, M-mode, 2D speckle tracking
Cardiac output (รูปที่ 3)	ปริมาตรของเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจห้องล่างในแต่ละนาที	2D, conventional doppler, STIC
Myocardial motion		
Annular displacement (รูปที่ 4)	การเปลี่ยนแปลงระยะการเคลื่อนไหวของ atrioventricular valve	M-mode or 2D speckle tracking
Systolic annular peak velocity	ความเร็วของการเคลื่อนไหว atrioventricular valve	Spectral or color TDI
Myocardial deformation		
Strain	ขนาดของการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง	Color TDI or 2D speckle tracking imaging
Strain rate	ความเร็วของการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง	Color TDI or 2D speckle tracking imaging
Diastolic function		
Precordial vein blood flow patterns (รูปที่ 5) (DV and others)	ลักษณะการไหลเวียนของเลือดในเส้นเลือดที่เข้าสู่หัวใจ	Conventional doppler

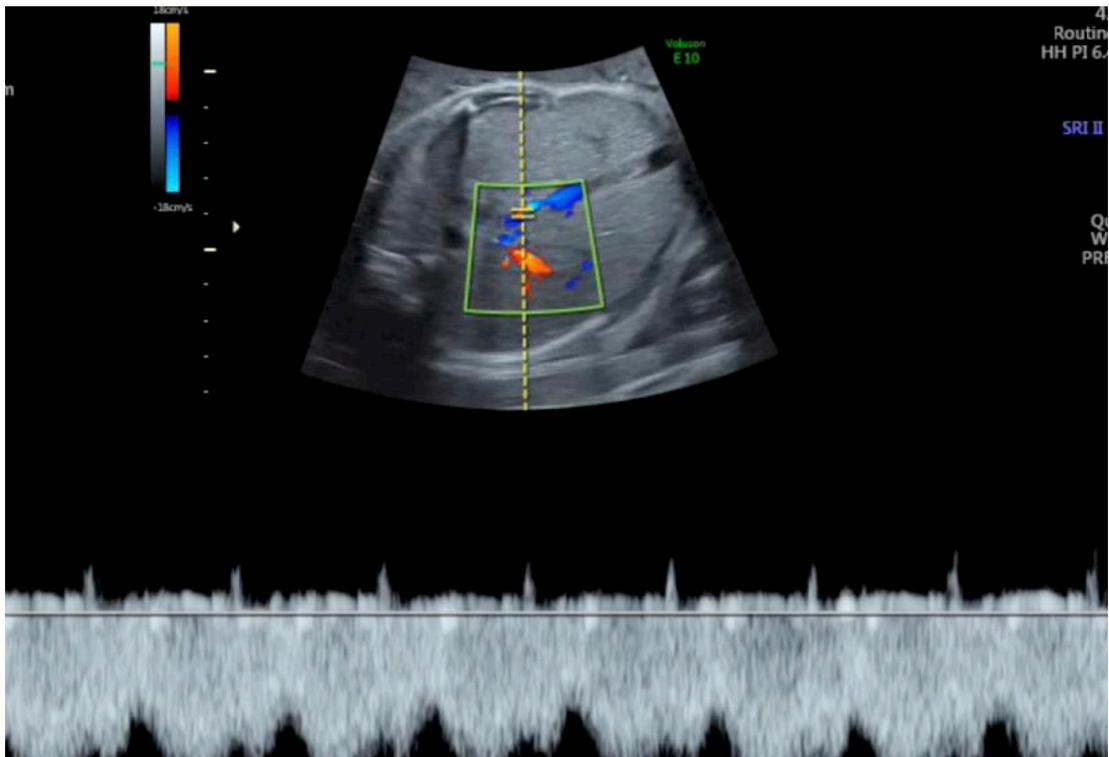
ค่าการตรวจ	ความหมาย	โหมด/เทคนิค
E/A ratio (รูปที่ 6)	อัตราส่วนระหว่าง early (E) and late (A) ventricular filling velocity	Spectral or color TDI
E/E ratio	อัตราส่วนความเร็วของ transmitral-to-mitral annular diastolic velocity ratio	Conventional doppler and spectral TDI
IRT (รูปที่ 7)	ระยะเวลาระหว่างการปิดของ aortic valve และการเปิดของ mitral valve	Conventional doppler or spectral/ color TDI
Global cardiac function		
MPI (myocardial performance index) (รูปที่ 7)	อัตราส่วนของ isovolumetric times (contraction + relaxation) และ ejection time	Conventional doppler or spectral/ color TDI



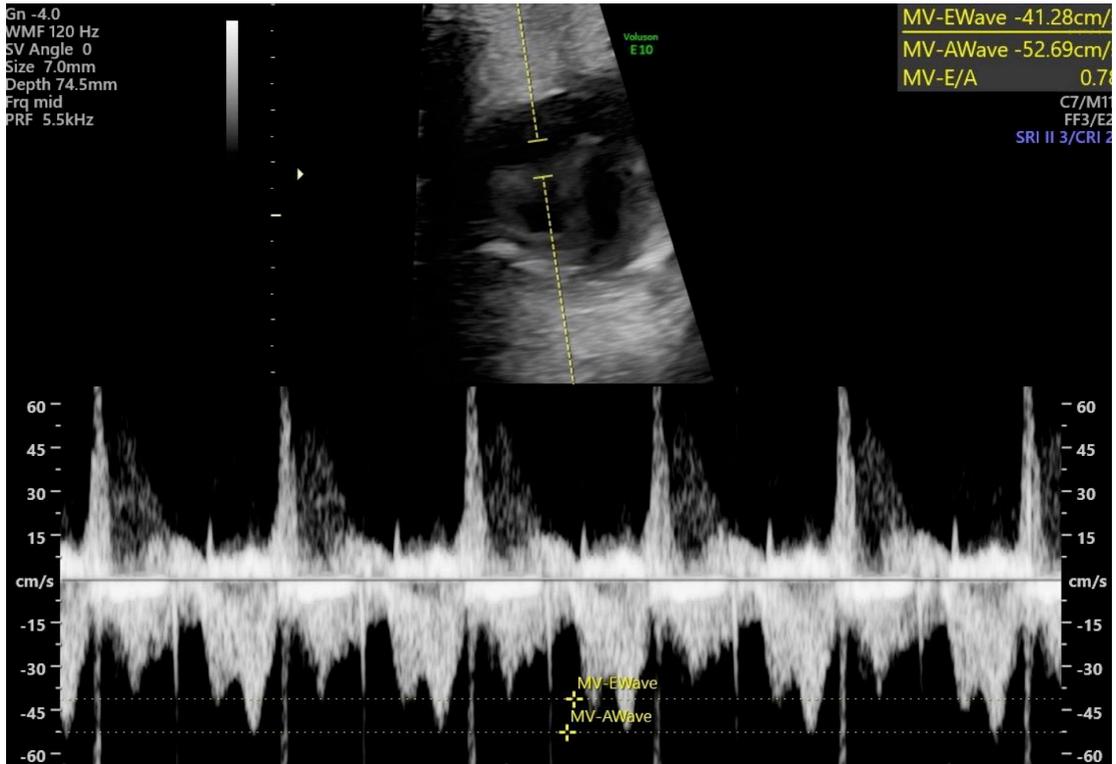
รูปที่ 3. แสดงการวัด time velocity integral (TVI) เพื่อคำนวณ cardiac output โดยใช้สูตรคำนวณ (cardiac output = stroke volume x heart rate; stroke volume = TVI x valve area)



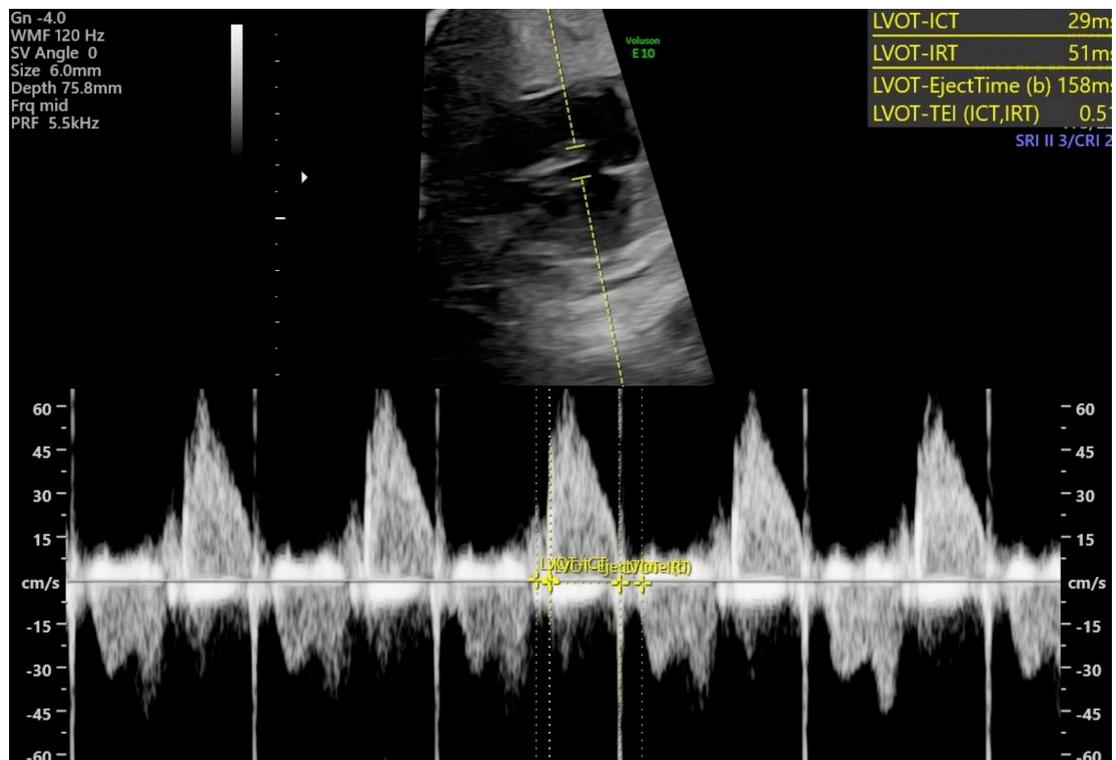
รูปที่ 4. แสดงการวัด annular displacement



รูปที่ 5. แสดงการวัด precordial vein blood flow patterns โดยในรูปแสดงการวัดหลอดเลือด ductus venosus



รูปที่ 6. แสดงการวัด E/A ratio (E: early diastole, A: atrial contraction)



รูปที่ 7. แสดงการวัด myocardial performance index (MPI)

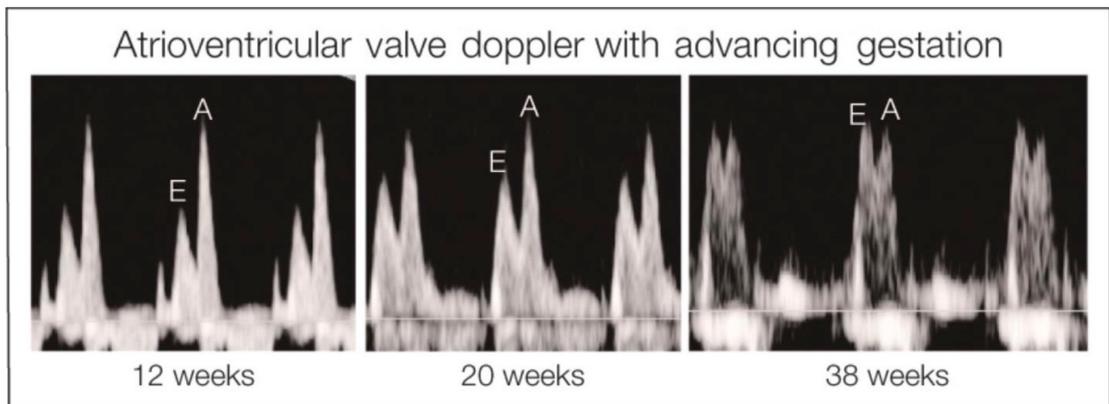
เทคนิคที่ใช้ในการตรวจประเมินการทำงานของหัวใจทารกในครรภ์

1. Conventional spectral doppler

การตรวจการทำงานของหัวใจทารกในครรภ์โดยใช้ conventional spectral doppler เป็นที่แพร่หลายและมักอยู่ในคำแนะนำต่าง ๆ เช่น american institute of ultrasound in medicine (AIUM) guidelines⁽⁵⁾ โดยการตรวจมักจะตรวจลักษณะของ the atrioventricular waveform, the semilunar doppler waveform และ myocardial performance index (MPI)

Fetal atrioventricular valve

การวัด atrioventricular valves doppler waveforms จะวัด E/A ratio ซึ่งบ่งถึง fetal diastolic function โดย E wave คือเลือดที่ไหลจากห้องบนลงสู่ห้องล่างโดยที่กล้ามเนื้อหัวใจคลายตัว A wave เลือดที่ไหลจากหัวใจห้องบนลงสู่ห้องล่างจากที่หัวใจห้องบนบีบตัว ปกติแล้ว E/A มักจะมีค่าน้อยกว่า 1 นั้นแสดงว่าในจังหวะ diastole เลือดที่ลงสู่หัวใจห้องล่างส่วนมากมาจากการบีบตัวของหัวใจห้องบน เมื่ออายุครรภ์มากขึ้นกล้ามเนื้อหัวใจจะมีความยืดหยุ่นมากขึ้นทำให้ค่า E wave มีค่าสูงขึ้นส่งผลให้ค่า E/A ratio มีค่าสูงขึ้นด้วยดังรูปที่ 8⁽⁶⁾



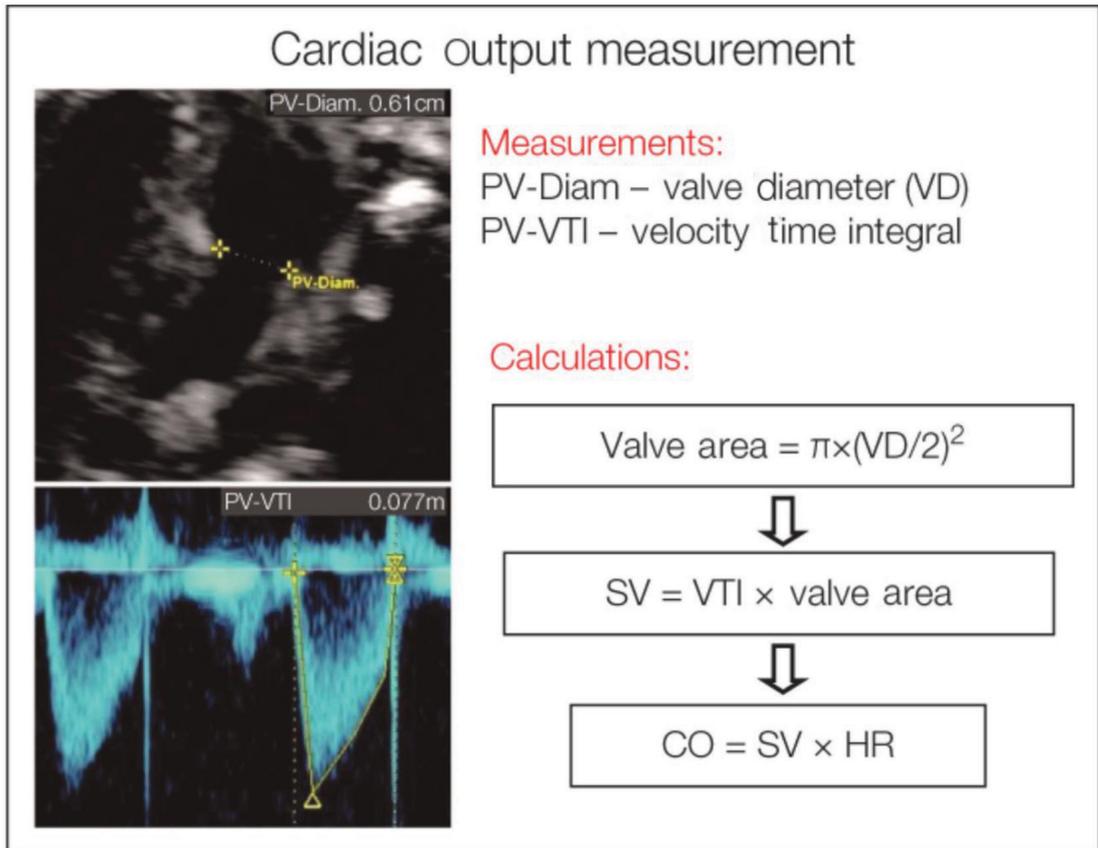
รูปที่ 8. แสดงค่า E/A ratio ที่เพิ่มมากขึ้นตามอายุครรภ์⁽⁶⁾

ค่า E/A ratio ของหัวใจห้องขวาจะต่ำกว่าหัวใจห้องซ้ายเล็กน้อย⁽⁷⁾ แต่หากเปรียบเทียบความเร็วของ E/A waveforms แล้วหัวใจห้องขวาจะสูงกว่าห้องซ้ายเล็กน้อย

Fetal semilunar valve

การตรวจวัด doppler waveform ที่ผ่านลิ้นหัวใจ aortic valve และ pulmonary valve จะแสดงถึงความต้านทานของหลอดเลือดปลายทาง (peripheral vascular resistance) โดย doppler waveform ที่ผ่านลิ้น aortic valve แสดงถึงความต้านทานของหลอดเลือดที่เลี้ยงอวัยวะส่วนบนของร่างกายเช่น สมอง ในขณะที่ doppler waveform ที่ผ่านลิ้น pulmonary valve แสดงถึงความต้านทานของหลอดเลือดที่เลี้ยงอวัยวะส่วนล่างและรก โดยลักษณะของ doppler waveform ที่ผ่าน aortic valve และ pulmonary valve เป็นลักษณะ monophasic waveform ดังรูปที่ 3 ค่าการตรวจที่สามารถวัดได้จากการวัด doppler ผ่าน

semilunar valves เหล่านี้คือ peak systolic velocity, acceleration time, velocity time integral (VTI), ejection time (ET) และ pulsatility index จากค่าการตรวจที่ได้เราสามารถนำมาทำการคำนวณ cardiac output ดังแสดงในรูปที่ 9⁽⁶⁾ โดยค่า right cardiac output (RCO) จะมีค่ามากกว่า left cardiac output (LCO) และคิดเป็นร้อยละ 50-60 ของ cardiac output ทั้งหมด⁽⁶⁾



รูปที่ 9. แสดงการคำนวณ cardiac output⁽⁶⁾

SV: stroke volume, CO: cardiac output, HR: heart rate, VTI: velocity time integral, Diam: diameter

Myocardial performance index

ในปี ค.ศ. 1996 Tei และคณะ⁽⁹⁾ ได้เสนอการตรวจประเมินการทำงานของหัวใจทารกในครรภ์ด้วยวิธี myocardial performance index (MPI) เป็นครั้งแรก โดย MPI เป็นการตรวจประเมิน global ventricular function ซึ่งสัมพันธ์กับ systolic และ diastolic time หากพบว่าทารกมีภาวะ systolic dysfunction จะตรวจพบว่าค่า isovolumic contraction time (ICT) จะมีค่ามากขึ้นในขณะที่ถ้าทารกมีภาวะ diastolic dysfunction จะตรวจพบว่าค่า isovolumic relaxation time (IRT) จะมีค่ามากขึ้น ค่า MPI คำนวณจาก $\text{ICT} + \text{IRT} / \text{ET}$ หากพบว่าค่า MPI มีค่าสูงขึ้นแสดงว่าทารกมีภาวะ ventricular dysfunction แต่จากค่า MPI ที่มากขึ้นเราอาจไม่สามารถแยกได้ว่าทารกมีภาวะ systolic หรือ diastolic dysfunction แต่ค่าสำคัญที่มัก

จะมีการเปลี่ยนแปลงหากการตั้งครรภ์หรือทารกผิดปกติคือค่า IRT⁽¹⁰⁾ ค่า MPI มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตลอดการตั้งครรภ์โดยค่าเฉลี่ยของ MPI เท่ากับ 0.36 (0.28-0.44)⁽¹¹⁾ การตรวจวัดค่า left MPI ดังแสดงในรูปที่ 7 และตารางที่ 2⁽⁶⁾

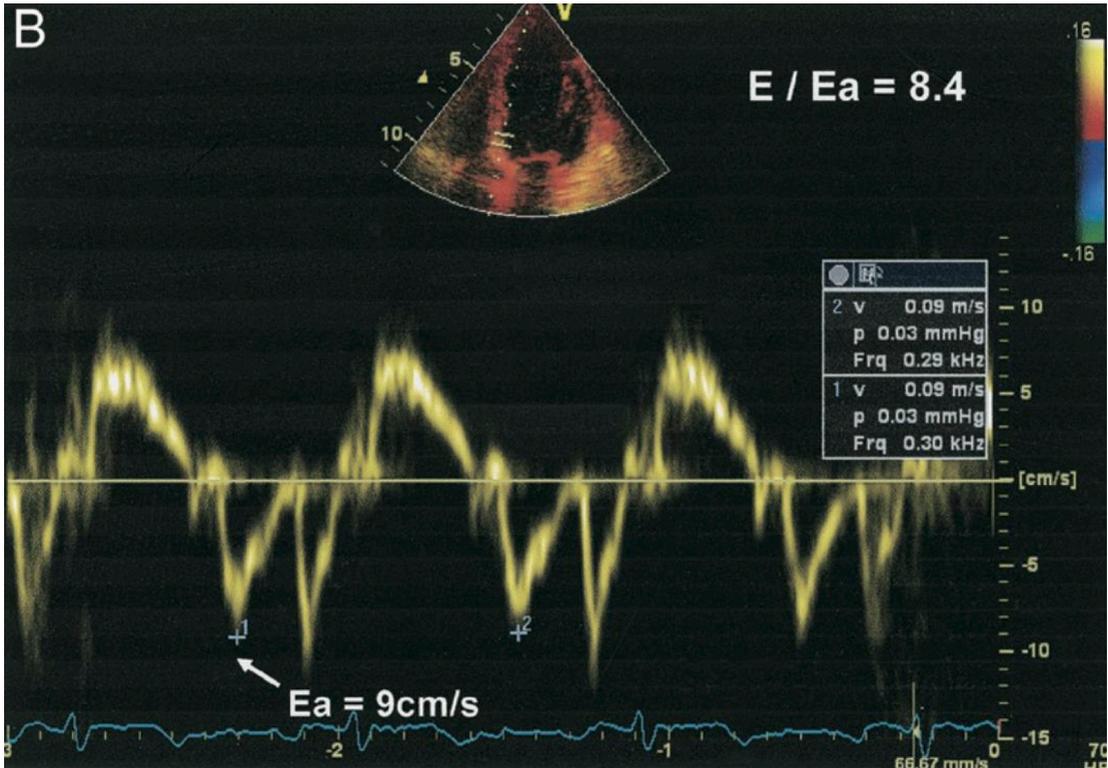
ตารางที่ 2. แสดงเทคนิคการตรวจวัดค่า left myocardial performance index (MPI)⁽⁶⁾

บิดภาพจนได้ five-chamber view
แนวของ ascending aorta ต้องมี angle of insonation น้อยกว่า 20 องศา
เห็น mitral valve และ aortic valves ชัดเจน
เปิด doppler sample gate 3-4 มม.
วาง sample gate คร่อมระหว่างลิ้น mitral valve และ aortic valves
ลด doppler gain เพื่อลด noise และ artifacts
ปรับ wall motion filter อยู่ในระดับ high
มองหา valve clicks ตลอด doppler waveforms
วัดค่าทั้งหมด 3 ครั้ง

ค่า MPI แสดงถึง global cardiac function ซึ่งสามารถแสดงถึงการปรับตัวของหัวใจทารกระยะแรก ๆ ไปจนถึงระยะที่เป็นโรคแล้ว ในทารกที่มีภาวะโตช้าในครรภ์ค่า MPI จะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากทารกขาดออกซิเจน⁽¹²⁾ มีการศึกษาพบว่า MPI มีค่ามากขึ้นในทารกที่มีภาวะโตช้าในครรภ์ในขณะที่ค่าความต้านทานในเส้นเลือดแดงสายสะดือยังปกติ นั่นแสดงว่า MPI มีค่าเปลี่ยนแปลงก่อนที่ความต้านทานของเส้นเลือดแดงสายสะดือจะผิดปกติ⁽¹³⁾ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาวิจัยพบว่า MPI มีการเปลี่ยนแปลงในหญิงตั้งครรภ์ที่เป็นเบาหวานและมีข้อแทรกซ้อนจากครรภ์แฝดแบบ twin-to-twin transfusion syndrome (TTTs)^(14, 15)

2. Tissue doppler imaging (TDI)

TDI อาจเรียกว่า doppler myocardial imaging หรือ myocardial velocity imaging เป็นการตรวจประเมินกล้ามเนื้อหัวใจของทารกโดยการตรวจดูการบีบตัวและความเร็วในการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อหัวใจทารกการเปลี่ยนแปลงของความเร็วของการขยับบ่งถึงความสามารถในการบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ โดย TDI ได้มีการนำมาใช้เพื่อวินิจฉัย cardiac dysfunction ในช่วงแรกของทารกนอกจากนั้นยังสามารถทำนายการเกิดภาวะทารกทุกสภาพและทารกเสียชีวิต⁽¹⁶⁻¹⁸⁾ ดังรูปที่ 10⁽¹⁸⁾ TDI เป็นการคำนวณความเร็วของการบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจโดยวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นเสียงหลังจากสะท้อนจากกล้ามเนื้อหัวใจทารก ค่า TDI ไม่ได้ขึ้นกับการไหลเวียนของเลือดในห้องหัวใจแต่ขึ้นกับการเคลื่อนไหวของผนังหัวใจ



รูปที่ 10. แสดงการวัด E/Ea ratio โดยใช้ tissue doppler imaging⁽¹⁸⁾

Ea: early diastolic velocity of the longitudinal motion of the mitral annulus

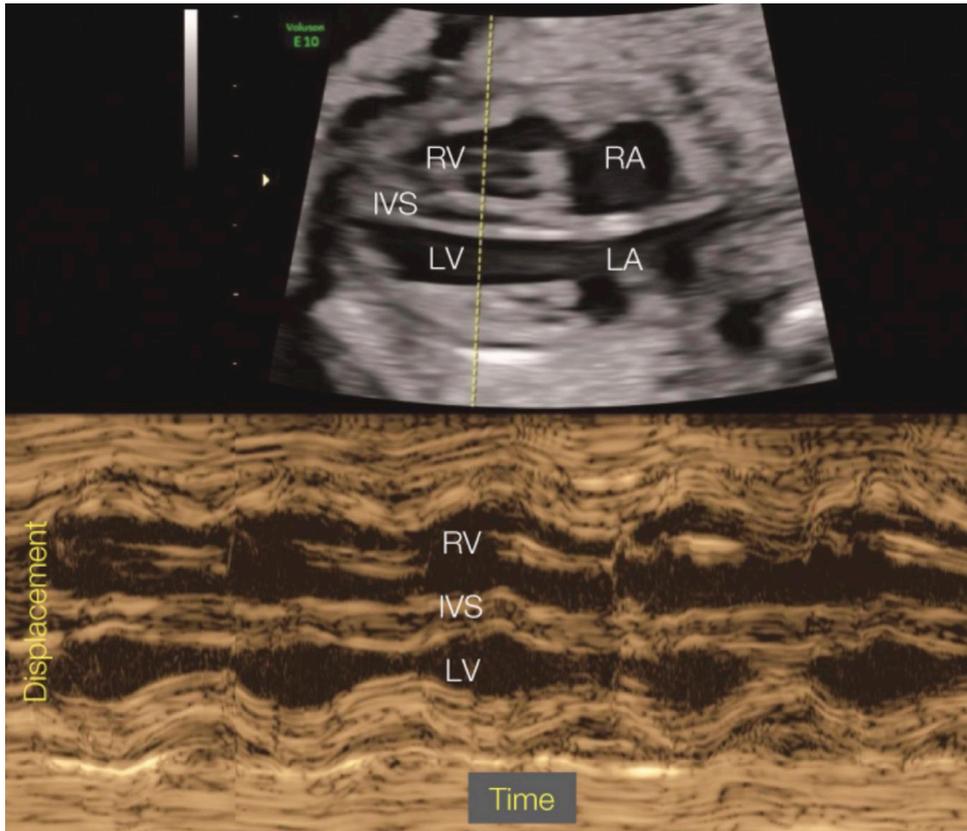
3. M-mode

M-mode หรือ motion-mode เป็นเทคโนโลยีที่มีมานานแล้วโดย M-mode มีอยู่ในเครื่องตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงทุกรุ่นทุกแบบโดยในปี ค.ศ. 1971 มีการนำ M-mode มาใช้ในการตรวจการทำงานของหัวใจผู้ใหญ่ครั้งแรก⁽¹⁹⁾ M-mode ยังสามารถใช้ตรวจวินิจฉัยความผิดปกติของการเต้นของหัวใจทารก ตรวจวัด cardiac dimensions เช่น ความหนาของผนังหัวใจและขนาดของห้องหัวใจดังรูปที่ 11⁽⁶⁾

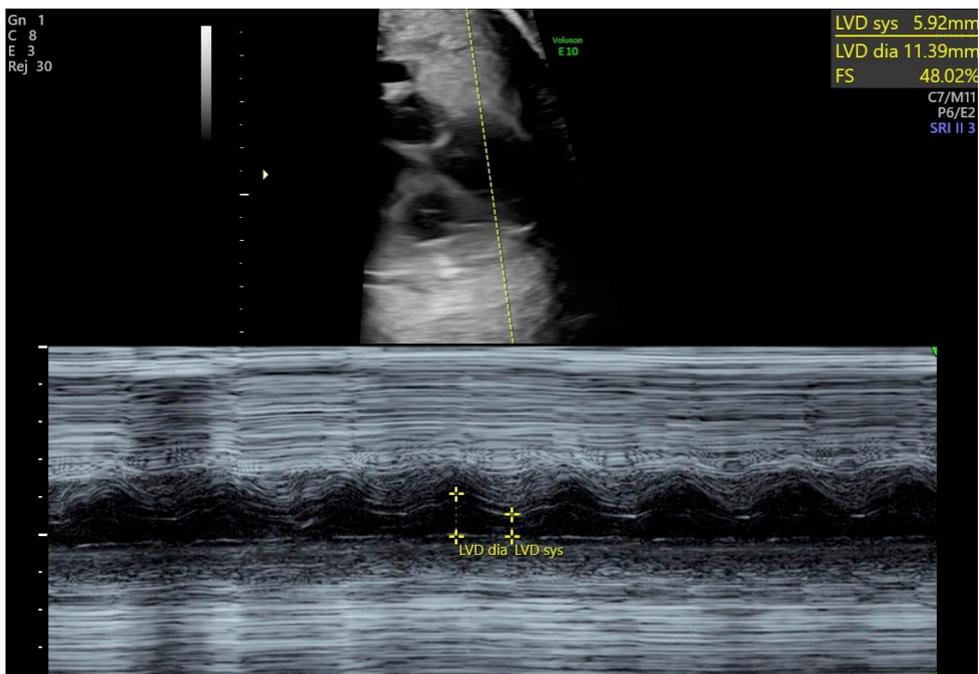
M-mode สามารถนำมาใช้ประเมินการทำงานของหัวใจทารกโดยการวัด shortening fraction (SF)

SF = (end-diastolic ventricular diameter – end-systolic ventricular diameter / end-diastolic ventricular diameter) ดังรูปที่ 12 ค่า SF ที่ผิดปกติจะสัมพันธ์กับ late stages of deterioration ของทารกเพราะ SF ปังถึง radial myocardial function⁽²⁾ เทคนิคการใช้ M-mode ตรวจวัดค่า SF ดังแสดงในตารางที่ 3⁽⁶⁾

M-Mode ยังสามารถใช้ประเมิน global longitudinal function โดยการวัดการเปลี่ยนแปลงของ tricuspid และ/หรือ mitral valve annulus^(20, 21) โดยค่าการประเมินที่ใช้จะเรียกว่า tricuspid หรือ mitral annular plane systolic excursion (TAPSE หรือ MAPSE) โดยค่า TAPSE และ MAPSE นั้นมีความสัมพันธ์กับ ventricular systolic performance⁽²²⁻²⁵⁾



รูปที่ 11. แสดงการใช้ M-mode ประเมินผนังหัวใจ ขนาดของหัวใจห้องล่างซ้ายและขวา⁽⁶⁾



รูปที่ 12. แสดงการใช้ M-mode วัด shortening fraction (SF)

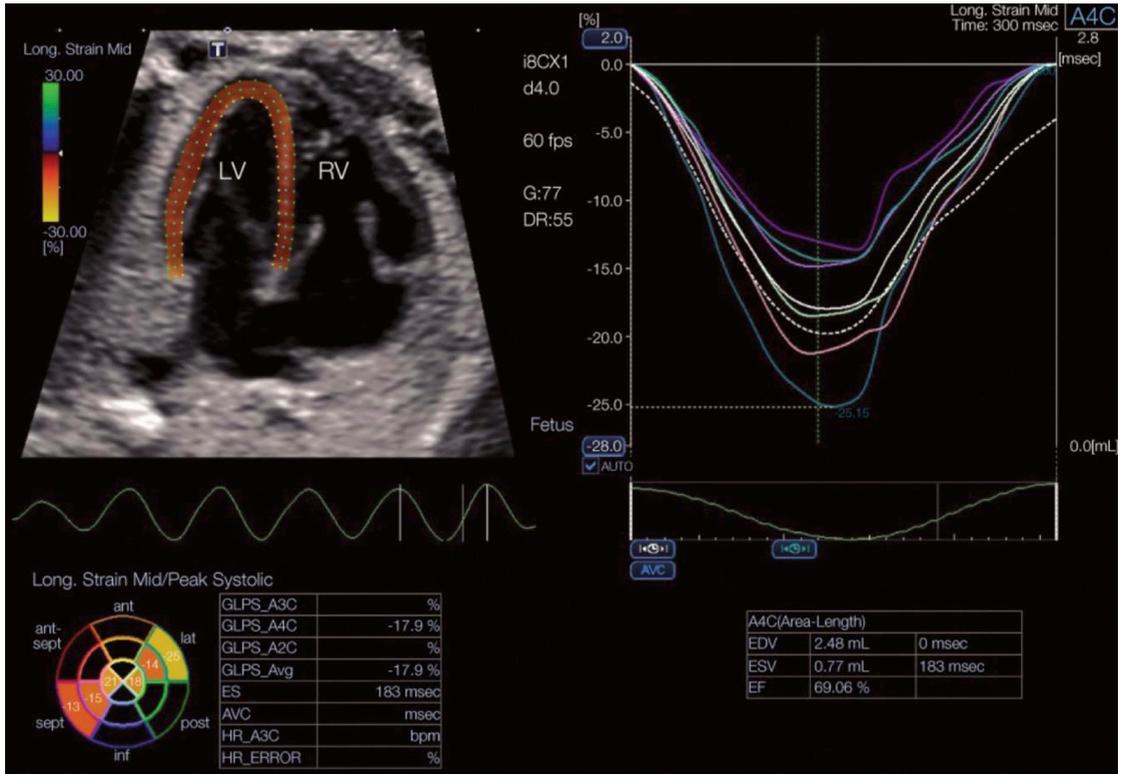
ตารางที่ 3. แสดงเทคนิคการตรวจวัดค่า shortening fraction (SF)⁽⁶⁾

ปรับมุมมองการตรวจให้ได้ภาพ four-chamber view
four-chamber view นี้ควรเห็น anterior, posterior และ interventricular septum อย่างชัดเจน
ขยายภาพหัวใจให้ประมาณสองในสามของภาพทั้งหมด
กดปุ่ม M-mode แล้วให้แนวของคลื่นเสียงความถี่สูงทำมุมตั้งฉากกับ interventricular septum
เลือก 50/50 screen display เพื่อขยายภาพของ M-mode
ปรับความเร็วของ M-mode ให้สัมพันธ์กับสิ่งที่ต้องการศึกษา หากต้องการวัด SF แนะนำให้ใช้ความเร็วปกติ
กดปุ่ม freeze และใช้ฟังก์ชัน cine loop เพื่อให้ได้ภาพที่ดีที่สุด
ใช้ caliper วัด end-diastolic diameter (EDD) และ end-systolic diameter (ESD)
คำนวณ SF โดยใช้สูตร $EDD - ESD / EDD \times 100$ (ค่าปกติ SF > ร้อยละ 28)

4. Speckle tracking technique

Strain and strain rate

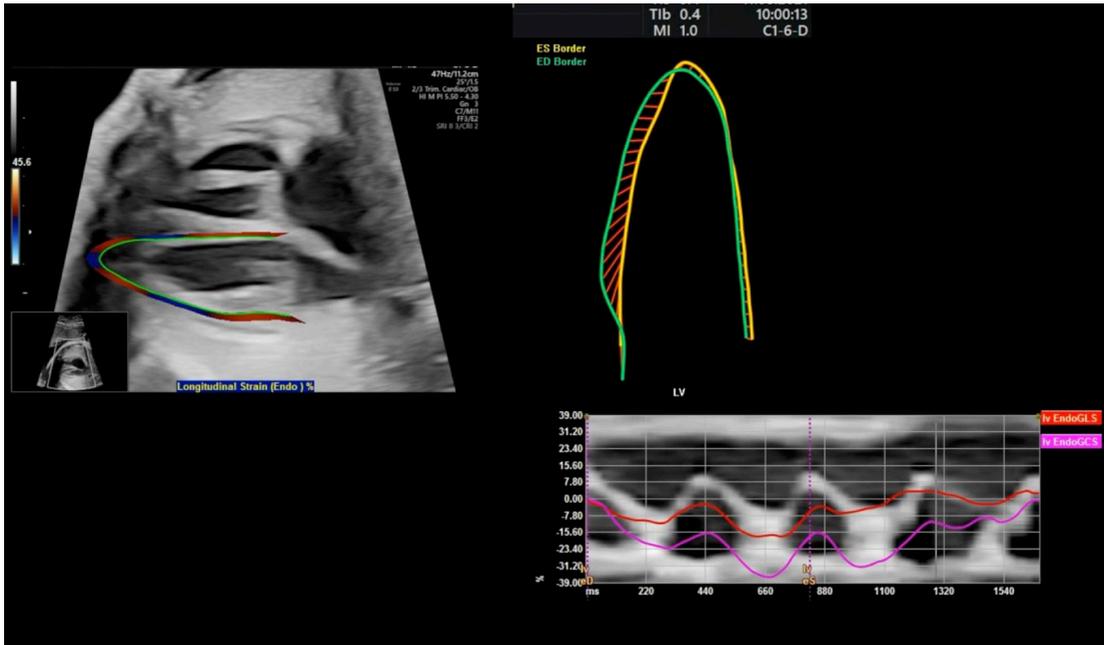
การเปลี่ยนแปลงของความยาวของกล้ามเนื้อหัวใจโดยกล้ามเนื้อหัวใจจะยืดยาวขึ้นในระยะ diastole และมีความยาวที่สั้นลงในระยะ systole การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีความสำคัญกับการวัดการทำงานของหัวใจทารก⁽²⁶⁾ Strain คือ การวัดการเปลี่ยนแปลงระยะของกล้ามเนื้อหัวใจ strain rate คือ การวัดความเร็วในการเปลี่ยนแปลงระยะของกล้ามเนื้อหัวใจ โดย strain คำนวณจากสูตร $Strain = L - L_0 / L_0$ (L: ระยะสุดท้ายของกล้ามเนื้อที่เปลี่ยนแปลง L_0 : ระยะตั้งต้นก่อนที่กล้ามเนื้อหัวใจจะเปลี่ยนแปลง) โดยการคำนวณ strain และ strain rate ต้องใช้ software ที่มีในเครื่องตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงโดยเครื่องจะคำนวณค่ามาให้โดยอัตโนมัติดังรูปที่ 13⁽⁶⁾ อย่างไรก็ตามการใช้การตรวจเทคนิคนี้ยังมีข้อจำกัดหลายอย่างรวมไปถึงเครื่องตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงต้องมี software ที่ใช้ตรวจด้วย ควรต้องมีการทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำเทคนิคมาใช้ให้มากขึ้นก่อนที่จะนำมาใช้อย่างแพร่หลาย



รูปที่ 13. แสดงการ strain และ strain rate โดยใช้ software⁽⁶⁾

Sphericity index (SI)

การตรวจวัด sphericity index ของหัวใจห้องขวาล่างและซ้ายล่างทำได้โดยการแบ่งห้องหัวใจเป็นห้องล่างเป็น 24 ส่วนตั้งแต่ base ถึง apex ในแต่ละห้อง⁽²⁷⁾ SI จะถูกคำนวณโดยอัตโนมัติและค่าโค้งปกติ (normal curves) ของ SI หัวใจห้องขวาล่างและซ้ายล่างจะถูกแสดงออกมาตามแต่อายุครรภ์ดังรูปที่ 14 เนื่องจากการตรวจ SI เป็นเทคนิคในการตรวจวัดค่าการทำงานของหัวใจแบบใหม่และต้องอาศัย software ที่ไม่ได้มีในเครื่องตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงทุกเครื่องจึงอาจต้องมีการทำการศึกษาวิจัยให้มากกว่าก่อนนำมาใช้ในทางคลินิก

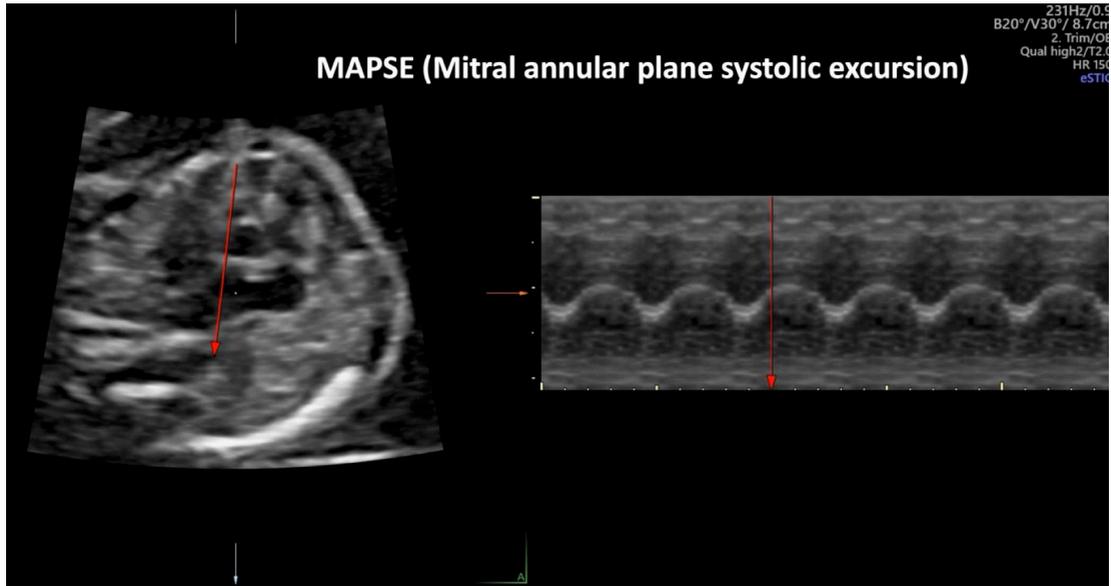


รูปที่ 14. แสดงการวัด sphericity index

5. Spatiotemporal image correlation (STIC)

STIC เป็นการสร้างภาพจากการเก็บข้อมูลแบบ volume data set ในการ sweep แค่หนึ่งครั้ง ภาพที่ได้จากการ STIC สามารถนำมาบิดมุมมองตามแนวแกน X, Y, Z ได้อย่างอิสระทำให้ช่วยวินิจฉัยความผิดปกติของหัวใจของทารกในครรภ์ได้แม่นยำขึ้น นอกจากนี้ยังมีการนำ M-mode มาใช้กับ STIC เรียก STIC-M มาใช้ในการวัด TAPSE และ MAPSE ให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้นดังรูปที่ 15

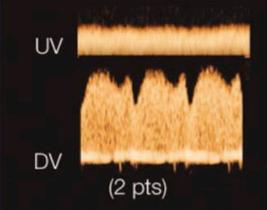
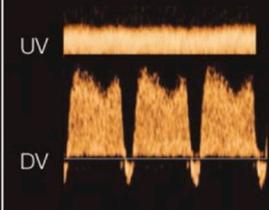
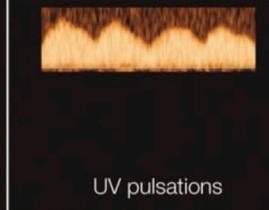
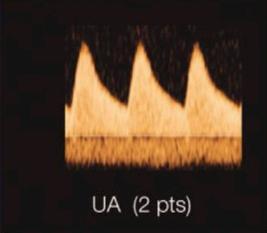
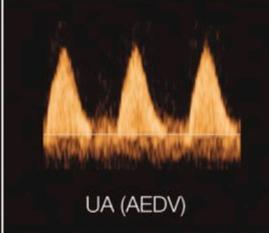
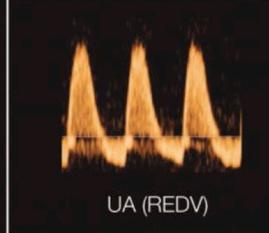
ข้อจำกัดของการตรวจ STIC คือผู้ตรวจต้องทำการเก็บ volume data ที่ชัดเจนมากพอที่จะสามารถนำข้อมูลมาทำ postprocessing evaluation ได้แต่เนื่องจากการเก็บ volume data เป็นการเก็บข้อมูลเพียง 1 รอบหัวใจ (cardiac cycle) เท่านั้นทำให้การเก็บข้อมูลให้ได้ภาพที่ชัดเจนเป็นไปได้ยากหากทารกขยับหรือมารดาหายใจแรงก็จะทำให้ภาพที่ได้ไม่ชัดเจนมากพอที่จะนำมาประเมินผล เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ทำได้ยาก ต้องอาศัยประสบการณ์ของแพทย์ผู้ตรวจและเครื่องตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงที่ต้องมี software จำเพาะจึงเป็นการยากที่จะนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้ในทางคลินิก



รูปที่ 15. แสดงการใช้ spatiotemporal image correlation M-mode (STIC-M) มาวัด mitral annular plane systolic excursion (MAPSE)

6. Cardiovascular profile score (CVP)

CVP เป็นการประเมินการทำงานของหัวใจทารกทางตรงและทางอ้อมโดยอาศัยการตรวจคลื่นเสียงความถี่สูงเพื่อวัดและประเมินค่าการตรวจ 5 ค่า คือ hydrops, venous doppler (umbilical vein and ductus venosus), heart size, cardiac function และ arterial doppler โดยหากค่าที่ได้ปกติจะให้ 2 คะแนนค่าแน่นเต็ม 10 คะแนนดังแสดงในรูปที่ 16⁽⁶⁾ Huhta และคณะ⁽²⁸⁾ ได้มีการรายงานการใช้ค่า CVP เพื่อประเมินการทำงานของหัวใจทารกครั้งแรกในปี ค.ศ. 2001 จากกันั้นมีการศึกษาวิจัยว่า CVP เป็นค่าการตรวจที่สามารถนำมาทำนายภาวะทุกลภาพและการตายของทารกได้^(29, 30)

	Normal	- 1 point	- 2 points
Hydrops	None (2 pts)	Ascites or pleural effusion or pericardial effusion	Skin edema
Venous Doppler (umbilical vein and ductus venosus)	 UV DV (2 pts)	 UV DV	 UV pulsations
Heart size (Heart area/Chest area)	>0.20 and <0.35 (2 pts)	0.35 -0.50	>0.50 or <0.20
Cardiac function	Normal TV and MV RV/LV SF >0.28 Biphasic diastolic filling (2 pts)	Holosystolic TR or RV/LV SF <0.28	Holosystolic MR or TR dP/dt 400 or monophasic filling
Arterial Doppler (umbilical artery)	 UA (2 pts)	 UA (AEDV)	 UA (REDV)

รูปที่ 16. แสดงส่วนประกอบของ cardiovascular profile score (CVP)⁽¹⁰⁾

AEDV: absent end-diastolic velocity, DV: ductus venosus, LV: left ventricle, MR: mitral regurgitation, MV: mitral valve, REDV: reversed end-diastolic velocity, RV: right ventricle, SF: shortening fraction, TR: tricuspid regurgitation, TV: tricuspid valve, UV: umbilical vein

สรุป

การตรวจการทำงานของหัวใจทารกในครรภ์ (fetal cardiac function) มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง และเป็นส่วนประกอบหนึ่งของการตรวจ fetal cardiography แพทย์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเวชศาสตร์มารดาและทารกในครรภ์หรือกุมารแพทย์โรคหัวใจที่ตรวจ fetal echocardiography ควรจะมีความรู้และความชำนาญในการตรวจวัด fetal cardiac function เพื่อให้สามารถนำผลการตรวจไปวางแผนแนวทางการดูแลรักษาทารกหลังคลอดต่อไปเพื่อลดโอกาสที่ทารกจะมีภาวะทุพพลภาพและเสียชีวิตลง

เอกสารอ้างอิง

1. Tan CMJ, Lewandowski AJ. The Transitional Heart: From Early Embryonic and Fetal Development to Neonatal Life. *Fetal Diagn Ther.* 2020; 47:373-86.
2. Crispi F, Gratacós E. Fetal cardiac function: technical considerations and potential research and clinical applications. *Fetal Diagn Ther.* 2012; 32:47-64.
3. Guyton AC, Hall JE: *Textbook of Medical Physiology*, ed 11. Philadelphia, Elsevier Saunders, 2006.
4. https://www.macmillanhighered.com/BrainHoney/Resource/6716/digital_first_content/trunk/test/hillis2e/asset/img_ch32/c32_fig07.html
5. AIUM Practice Parameter for the Performance of Fetal Echocardiography. *J Ultrasound Med.* 2020;39: E5-E16.
6. Abuhamad A, Chaoui R.A. Fetal Cardiac Function. In: Abuhamad A, Chaoui R.A. *A Practical Guide to Fetal Echocardiography NORMAL AND ABNORMAL HEARTS 4th ed.* Philadelphia: Wolters Kluwer;2022. p.580-621
7. van der Mooren K, Barendregt LG, Wladimiroff JW. Fetal atrioventricular and outflow tract flow velocity waveforms during normal second half of pregnancy. *Am J Obstet Gynecol.* 1991; 165:668-74.
8. Kiserud T, Ebbing C, Kessler J, Rasmussen S. Fetal cardiac output, distribution to the placenta and impact of placental compromise. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2006; 28:126-36.
9. Tei C, Dujardin KS, Hodge DO, Bailey KR, McGoon MD, Tajik AJ, et al. Doppler echocardiographic index for assessment of global right ventricular function. *J Am Soc Echocardiogr.* 1996; 9:838-47.
10. Hernandez-Andrade E, Benavides-Serralde JA, Cruz-Martinez R, Welsh A, Mancilla-Ramirez J. Evaluation of conventional Doppler fetal cardiac function parameters: E/A ratios, outflow tracts, and myocardial performance index. *Fetal Diagn Ther.* 2012; 32:22-29.
11. Hernandez-Andrade E, Figueroa-Diesel H, Kottman C, Illanes S, Arraztoa J, Acosta-Rojas R, et al. Gestational-age-adjusted reference values for the modified myocardial performance index for evaluation of fetal left cardiac function. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2007;29:321-5.
12. Hernandez-Andrade E, Crispi F, Benavides-Serralde JA, Plasencia W, Diesel HF, Eixarch E, et al. Contribution of the myocardial performance index and aortic isthmus blood flow index to predicting mortality in preterm growth-restricted fetuses. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2009; 34:430-6.

13. Benavides-Serralde A, Scheier M, Cruz-Martinez R, Crispi F, Figueras F, Gratacos E, et al. Changes in central and peripheral circulation in intrauterine growth-restricted fetuses at different stages of umbilical artery flow deterioration: new fetal cardiac and brain parameters. *Gynecol Obstet Invest.* 2011; 71:274-80.
14. Turan S, Turan OM, Miller J, Harman C, Reece EA, Baschat AA. Decreased fetal cardiac performance in the first trimester correlates with hyperglycemia in pregestational maternal diabetes. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2011; 38:325-31.
15. Stirnemann JJ, Mougeot M, Proulx F, Nasr B, Essaoui M, Fouron JC, et al. Profiling fetal cardiac function in twin-twin transfusion syndrome. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2010; 35:19-27.
16. Waggoner AD, Bierig SM. Tissue Doppler imaging: a useful echocardiographic method for the cardiac sonographer to assess systolic and diastolic ventricular function. *J Am Soc Echocardiogr.* 2001; 14:1143-52.
17. Price DJ, Wallbridge DR, Stewart MJ. Tissue Doppler imaging: current and potential clinical applications. *Heart.* 2000;84 Suppl 2(Suppl 2): II11-8.
18. Yu CM, Sanderson JE, Marwick TH, Oh JK. Tissue Doppler imaging a new prognosticator for cardiovascular diseases. *J Am Coll Cardiol.* 2007; 49:1903-14.
19. Pombo JF, Troy BL, Russell RO Jr. Left ventricular volumes and ejection fraction by echocardiography. *Circulation.* 1971; 43:480-90.
20. Gardiner HM, Pasquini L, Wolfenden J, Barlow A, Li W, Kulinskaya E, et al. Myocardial tissue Doppler and long axis function in the fetal heart. *Int J Cardiol.* 2006; 113:39-47.
21. Carvalho JS, O'Sullivan C, Shinebourne EA, Henein MY. Right and left ventricular long-axis function in the fetus using angular M-mode. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2001; 18:619-22.
22. Morcos P, Vick GW 3rd, Sahn DJ, Jerosch-Herold M, Shurman A, Sheehan FH. Correlation of right ventricular ejection fraction and tricuspid annular plane systolic excursion in tetralogy of Fallot by magnetic resonance imaging. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2009; 25:263-70.
23. Lamia B, Teboul JL, Monnet X, Richard C, Chemla D. Relationship between the tricuspid annular plane systolic excursion and right and left ventricular function in critically ill patients. *Intensive Care Med.* 2007; 33:2143-9.
24. López-Candales A, Rajagopalan N, Saxena N, Gulyasy B, Edelman K, Bazaz R. Right ventricular systolic function is not the sole determinant of tricuspid annular motion. *Am J Cardiol.* 2006; 98:973-7.

25. Bazaz R, Edelman K, Gulyasy B, López-Candales A. Evidence of robust coupling of atrio-ventricular mechanical function of the right side of the heart: insights from M-mode analysis of annular motion. *Echocardiography*. 2008; 25:557-61.
26. Mirsky I, Parmley WW. Assessment of passive elastic stiffness for isolated heart muscle and the intact heart. *Circ Res*. 1973; 33:233-43.
27. DeVore GR, Klas B, Satou G, Sklansky M. 24-segment sphericity index: a new technique to evaluate fetal cardiac diastolic shape. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 2018; 51:650-8.
28. Huhta JC. Right ventricular function in the human fetus. *J Perinat Med*. 2001; 29:381-9.
29. Falkensammer CB, Paul J, Huhta JC. Fetal congestive heart failure: correlation of Tei-index and Cardiovascular-score. *J Perinat Med*. 2001; 29:390-8.
30. Hofstaetter C, Hansmann M, Eik-Nes SH, Huhta JC, Luther SL. A cardiovascular profile score in the surveillance of fetal hydrops. *J Matern Fetal Neonatal Med*. 2006; 19:407-13.