

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ความสำคัญของ Tricuspid Regurgitation

Groves PH, Lewis NP, Ikram S, และคณะ² ได้ทำการศึกษาผลของภาวะ Severe TR มีผลต่อ exercise capacity และ functional status หรือไม่ในผู้ป่วยหลังผ่าตัดเปลี่ยนลิ้นหัวใจไมตรัล (mitral valve replacement, MVR) โดยทำการศึกษาในผู้ป่วยหลังผ่าตัด MVR จำนวน 18 คนโดย 9 คนมีภาวะ severe TR โดยวินิจฉัย severe TR จากการพบว่า Color Doppler Echocardiogram พบ TR jet กว้างและพุ่งมาถึง posterior atrial wall และ HV หลังการผ่าตัดเทียบกับผู้ป่วย 9 คนที่ใช้เป็น control group (ไม่มี TR) โดยจับคู่ที่มี pre-op clinical และ haemodynamic เหมือนกัน ผู้ป่วยได้รับการตรวจด้วย echocardiography, และ maximal treadmill exercise test และ mass spectrometry เพื่อวัด exercise duration, maximal oxygen consumption, anaerobic threshold, ventilator response ต่อ exercise ผลการศึกษาพบว่า baseline characteristic ของทั้ง 2 กลุ่มไม่ต่างกันคือ MV prosthesis function ปกติ, ไม่มีภาวะ pulmonary hypertension และ LV dysfunction แต่พบว่ากลุ่ม severe TR มี RV diameter โตกว่า (5.0 mm. VS 3.7 Cm., $p < 0.01$) และพบ paradoxical septal motion มากกว่า (9/9 VS 3/9, $p < 0.01$) exercise duration, maximum oxygen consumption, anaerobic threshold ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มที่มี severe TR ดังตาราง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 Ventilatory changes and indices of performance during exercise (median range)

Variable	TR (n=9)	Control (n=9)	p
Exercise duration (min)	6.3 (5.0-10.7)	12.7 (7.2-16.0)	<0.01
RER:			
Rest	0.86 (0.72-0.88)	0.81 (0.74-0.88)	NS
Maximum	1.03 (0.93-1.06)	1.06 (0.95-1.22)	NS
Ve/Vco ₂ slope	37.9 (28.5-57.5)	30.8 (22.9-33.4)	<0.01
Minute ventilation at Co ₂ production of 1 l/min (1/min)	41.0 (29.9-59.5)	33.6 (26.8-39.3)	<0.01
Maximum increase in SBP (mm Hg)	8.0 (-18-30)	22.0 (2-50)	<0.05
Maximum increase in HR (min ⁻¹)	40 (11-78)	74 (20 -77)	0.05
Vo ₂ max (ml min ⁻¹ kg ⁻¹)	11.2 (7.3-17.8)	17.7 (11.8-21.4)	<0.01
Anaerobic threshold (ml min ⁻¹ kg ⁻¹)	8.3 (4.6-11.4)	10.7 (7.3-15.5)	<0.05

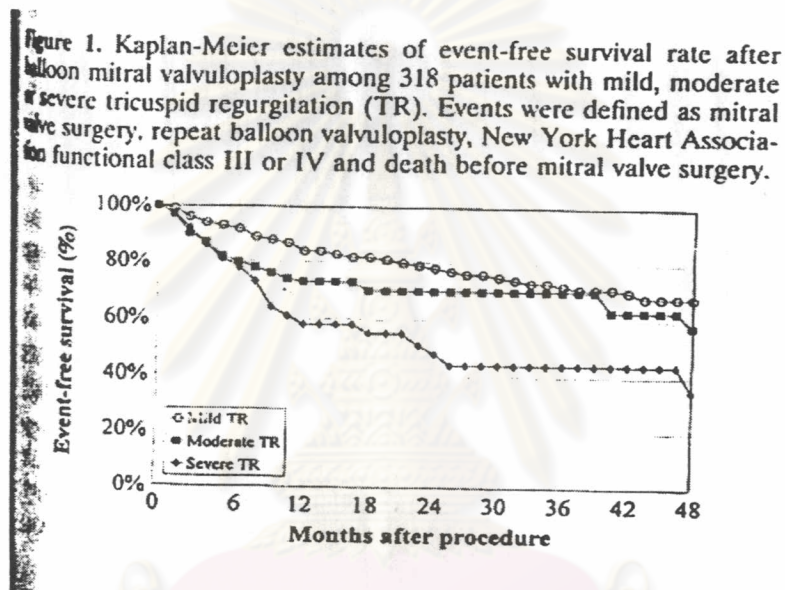
HR, heart rate; respiratory exchange ratio (Co₂ produced: O₂ consumed); SBP, systolic blood pressure; Ve/ Vco₂ slope derived by linear regression and expresses the relation between ventilation (Ve) and carbon dioxide production (Vco₂) during exercise; Vco₂max, maximum oxygen consumption.

จึงสรุปว่า severe TR มีผลทำให้ลด exercise capacity และ poor functional outcome

Sagie A, Schwammenthal E, Newell JB, และคณะ³ ทำการศึกษาผลของการมี severe TR ต่อ immediate และ late adverse outcome ในคนไข้ 318 คนที่มาทำ balloon mitral valvuloplasty (ใช้ Doppler echocardiogram ในการแบ่ง severity ของ TR โดย mild = RJA < 20%, moderate = 20%- 33% และ severe TR คือ RJA > 33%) ติดตามเป็นระยะเวลา 6 – 12 เดือน ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มความรุนแรงของ TR สัมพันธ์กับการมี MVA ที่เล็กกว่า (p<0.05), การเพิ่มขึ้นของ MV score (p<0.05), cardiac output ต่ำกว่า (p<0.01) และการมี pulmonary vascular resistance ที่มากกว่า (p<0.01) ถึงแม้ว่า success rate ของการทำ BMV ไม่ต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่ายิ่ง severity ของ TR เพิ่มขึ้น ผลการขยาย MVA จะน้อยกว่า

(1.02, 0.9, 0.7 cm², p<0.01) และ event free survival rate (death, mitral valve surgery, repeat valvoplasty และ heart failure) จะต่ำกว่าใน group ที่มี severe TR (68% VS 58% VS 35%, p<0.0001) อัตราการรอดชีวิตที่ 4 ปีในกลุ่ม severe TR ต่ำกว่า (94% VS 90% และ 69%, p<0.0001) Cox proportion analysis พบว่า severe TR เป็น independent predictor ของ late outcome โดย relative risk 1.3, p = 0.005

รูปที่ 1. แสดง event - free survival rate ในผู้ป่วย TR ความรุนแรงต่าง ๆ



รูปที่ 2. แสดง Kaplan - Meier survival หลังทำ BMV ในผู้ป่วย TR ความรุนแรงต่าง ๆ

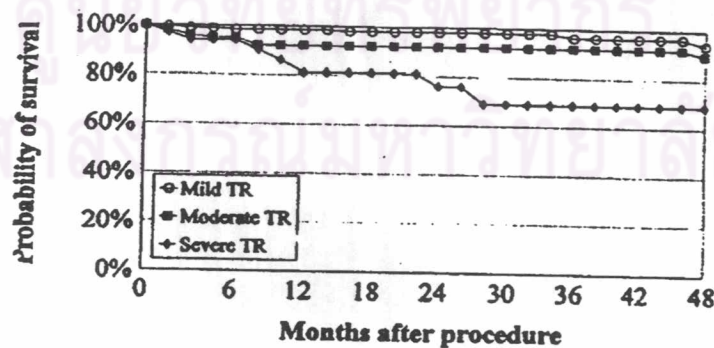


Figure 2. Kaplan-Meier survival probability after balloon mitral valvuloplasty among 318 patients with mild, moderate or severe tricuspid regurgitation (TR).

Hung J, Koelling T, Semigran MJ, และคณะ⁴ ใช้ echocardiogram ตรวจผู้ป่วย cardiomyopathy (ทั้ง idiopathic DCM และ ischemic DCM) ที่มา evaluate สำหรับ heart transplantation จำนวน 306 คนโดยจำนวนนี้ 117 คนที่สามารถตรวจ echocardiogram ได้อย่างมีคุณภาพ โดยแบ่งความรุนแรงของ TR โดย mild TR= RJA<20%, moderate=RJA 20 – 33% และ severe TR = RJA > 33% การพบ systolic reversal flow บ่งถึงการมีอย่างน้อย moderate TR ในจำนวนผู้ป่วย 117 คนมีผู้ป่วย 61 คนได้รับการทำ cardiopulmonary exercise ติดตามทุก 3 – 6 เดือน median follow up 357± 428 วันพบว่าการมีภาวะ TR บ่งถึงการพยากรณ์โรคไม่ดี estimated 1 year event free survival 68% ในกลุ่มไม่มี TR และ 30% ในกลุ่มมี TR และ TR เป็น marker ของ RV systolic dysfunction

รูปที่ 3. แสดง Echocardiographic TR และ event free survival ในผู้ป่วย cardiomyopathy

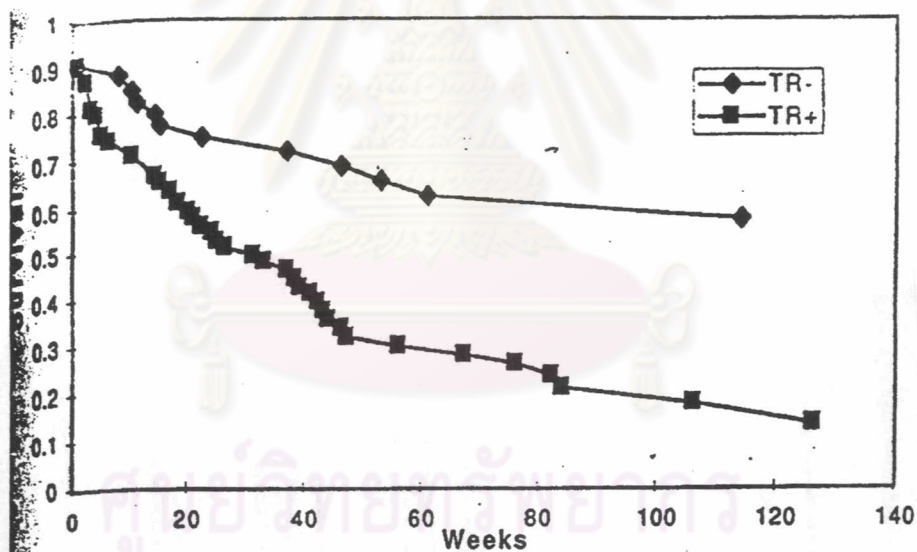
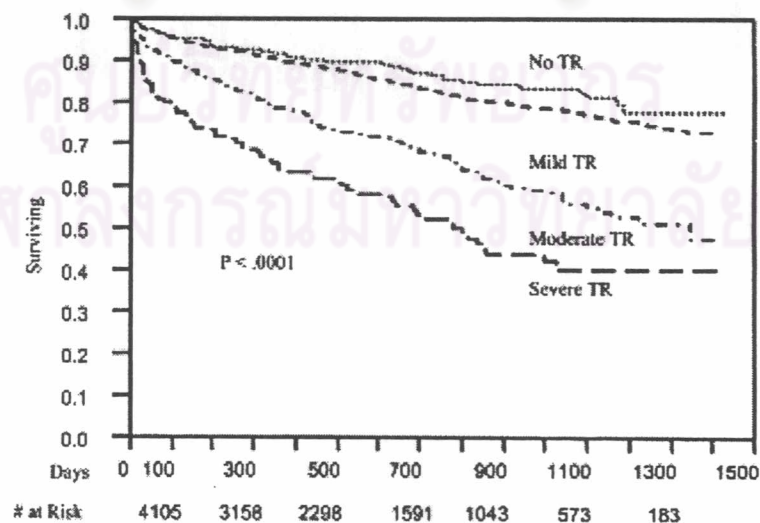


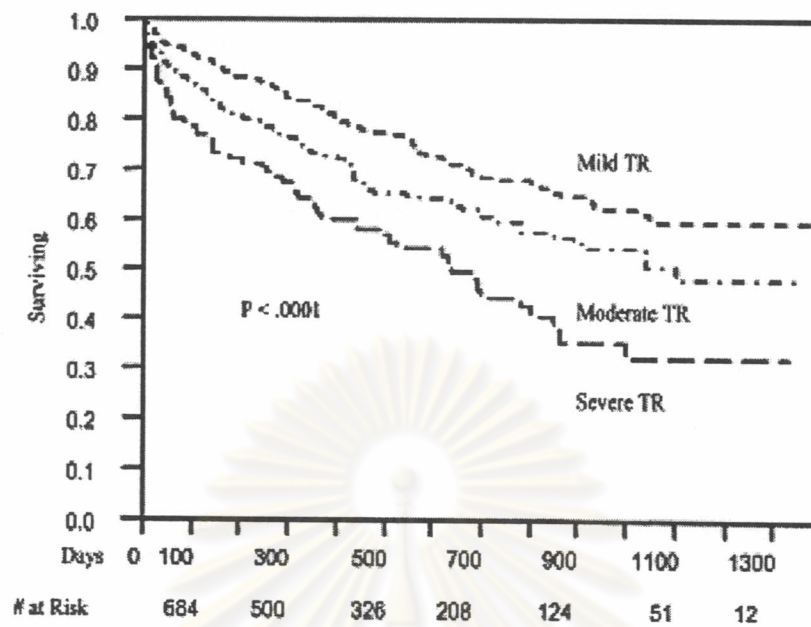
FIGURE 1. Echocardiographic TR and event-free survival. The actuarial event-free survival of the patients without echocardiographic TR (diamonds) and the patients with echocardiographic TR (squares) is shown. Event-free survival was significantly better for patients without echocardiographic TR. Log-rank: $p = 0.002$. (Mean follow-up: 357 ± 428 days.)

Bajzer CT, Stewart WJ, Cosgrove DM, และคณะ⁵ ศึกษาว่า clinical และ echocardiographic factor ใดมีความสัมพันธ์กับ adverse outcome หลัง TV surgery ในผู้ป่วยจำนวน 400 คนที่ได้รับการผ่าตัดหัวใจและผ่าตัด TV ร่วมด้วยติดตามเป็นระยะเวลา 10 ปี (การศึกษานี้แบ่งความรุนแรงของ TR โดยใช้ dimension หรือ regurgitation jet เทียบกับ RA dimension หรือ RA area โดยแบ่งความรุนแรงเป็น 0 – 4+) การผ่าตัดด้วยวิธี TV annuloplasty ring และ late echocardiographic failure ของ TV surgery และ relative risk of death หรือ adverse clinical event ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อผู้ป่วยที่ทำ mitral valve replacement ร่วมกับการทำการผ่าตัดซ่อม TV เมื่อมี severe TR

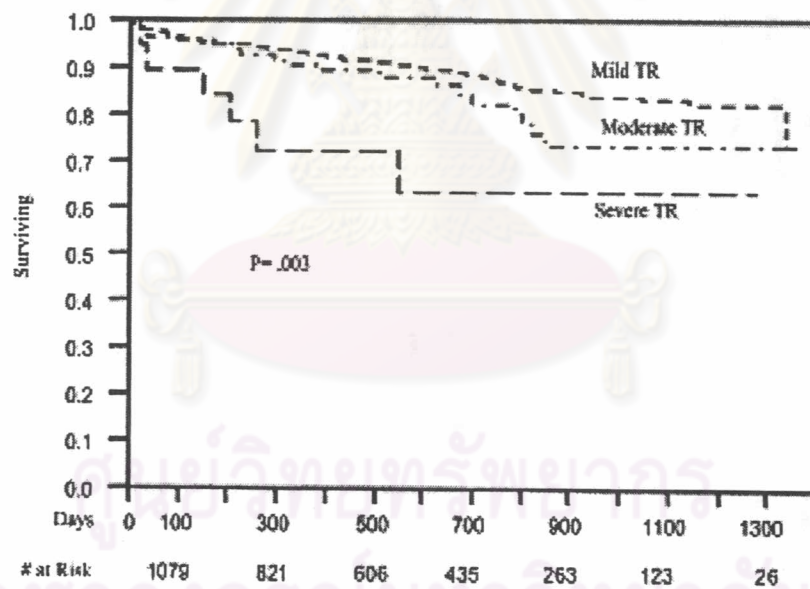
Nath J, Foster E, Heidenreich PA⁶ ศึกษาว่า TR ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของ mortality หรือไม่ เมื่อควบคุมปัจจัยอื่น ๆ ในด้าน left ventricular ejection fraction (LVEF), RV dysfunction และ pulmonary artery pressure โดยศึกษาแบบ retrospective study ในคนไข้ 5,223 คน ซึ่งได้รับการทำ echocardiogram ที่ 1 ใน 3 โรงพยาบาลใน Veterans Affairs Medical Center laboratories ในระยะเวลา 4 ปี โดย criteria ของ TR ใช้ RJA criteria mild = RJA \leq 19 %, moderate = 20 – 40 %, severe ถ้า RSA $>$ 40 % ผลพบว่ามี การเพิ่มของ mortality เมื่อ severity ของ TR เพิ่มขึ้น โดย one year survival เท่ากับ 91.7 % ใน no TR, 90.3 % ใน mild TR, 78.9 % ใน moderate TR และ 63.9 % ใน severe TR โดยไม่ขึ้นกับ PAP, LVEF, อายุ, RV function

กลุ่มรูปที่ 4. กราฟแสดง Kaplan – Meier Survival curves ใน TR ความรุนแรงต่าง ๆ



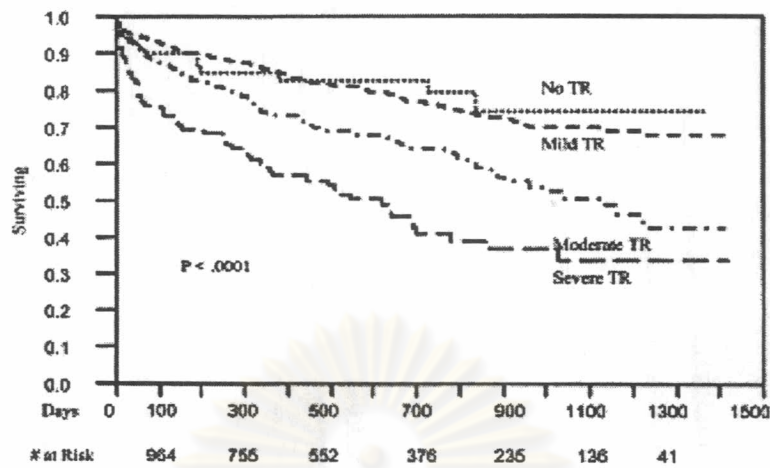


A

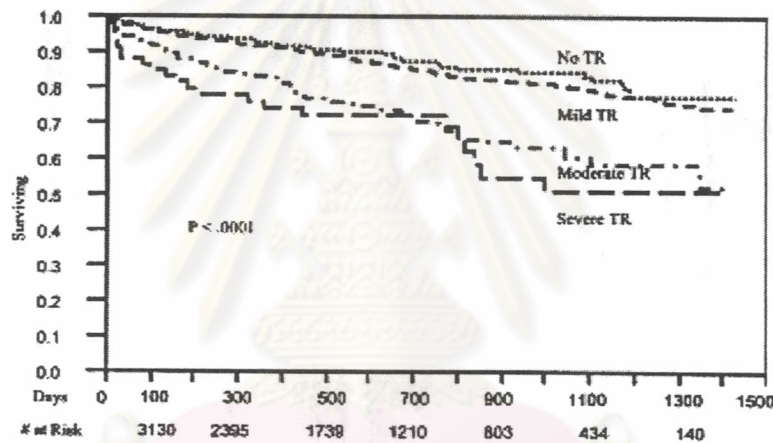


B

กลุ่มรูปที่ 5. Kaplan – Meier Survival curves for (A) patients with TR and high pulmonary artery systolic pressure (≥ 40 mm. Hg.) and (B) patients with TR and normal pulmonary artery systolic pressure (< 40 mm. Hg.)



A



B

กลุ่มรูปที่ 6. Kaplan – Meier Survival curves for (A) patients with TR and a low left ventricular ejection fraction ($< 50\%$) and (B) patients with TR and normal left ventricular ejection fraction (≥ 50 mm. Hg.)

Sugimoto T, Orada H, Nobuchika O และคณะ⁷ ศึกษาผู้ป่วย 142 คนที่เป็น left side valvular heart disease ร่วมกับ functional TR โดย mean follow up period 102 เดือน พบว่า functional TR ที่มี annulus dilate มากอาจมี irreversible deterioration ของ RV function หลังการผ่าตัดแก้ไข left side valve lesion

A. Carpentier, A. Deloche, G. Hanania, และคณะ⁸ กล่าวว่าผลการผ่าตัดแก้ไข mitral valve อาจไม่จำเป็นที่ทำให้ functional TR ดีขึ้นเสมอไป การไม่ผ่าตัดแก้ไข severe TR มีผลถึงการเพิ่ม hospital mortality rate และเพิ่ม incidence ของ residual insufficiency

P. Groves⁹ การพบ TR ที่มีอาการแสดงของ right side heart failure หลังการผ่าตัด left side valvular lesion สัมพันธ์กับ late morbidity และ mortality มีการศึกษาพบว่า significant TR พบจากการตรวจ echocardiogram ถึง 2 ใน 3 ของผู้ป่วยที่มีประวัติเคยผ่าตัด mitral valve replacement และปรากฏอาการจาก significant TR ถึง 1 ใน 3 ผู้ป่วยเหล่านี้จะมีการลดลงอย่างมากของ exercise capacity สาเหตุสำคัญของการเกิด significant TR ในคนไข้ที่มีประวัติผ่าตัดซ่อมลิ้นหัวใจห้องซ้าย คือ left heart pathology หรือการยังคงมี pulmonary hypertension แต่อย่างไรก็ตามในผู้ป่วยจำนวนมากการปรากฏเพิ่มของ RV dilatation และ tricuspid annular dilatation เกิดขึ้นแม้ว่าหลังการผ่าตัด pulmonary pressure จะลดลงแล้ว สาเหตุหลักเกิดจากการไม่ได้รับการผ่าตัดแก้ไขในการผ่าตัดครั้งแรก ทำให้เกิดวงจรของ RV โตต่อมาเกิดการขยายตัวของ TV annulus และการค่อยๆแย่ลงของ TR และ RV function และการผ่าตัดซ้ำสัมพันธ์กับ high mortality แนะนำให้ผ่าตัด tricuspid annuloplasty เมื่อมี moderate ถึง severe TR ร่วมกับ tricuspid annulus dilatation มากกว่า 21 mm / m² เนื่องจากโอกาสน้อยที่ TR จะลดความรุนแรงหลังผ่าตัดลิ้นหัวใจห้องซ้าย

Breyer R, McClenathan JH, Michaelis LL, และคณะ¹⁰ ศึกษาผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัด MVR พบว่าผู้ป่วยที่มี severe TR มี progressive right side heart failure หากไม่ได้รับการแก้ไข TV

บททวนวรรณกรรมการตรวจ HV Doppler ในการวินิจฉัย severe TR

Sakai K, Nakamura K, Satomi G, และคณะ¹⁴ ศึกษา HV Doppler pattern ในการ grading severity TR เทียบกับวิธี RV angiogram พบว่าเมื่อ TR รุนแรงขึ้น systolic velocity จะลดลง และมีการเพิ่มขึ้นของ Diastolic Velocity และการใช้ holo-systolic reversal flow มี sensitivity 100 % และ specificity 72 % ในการวินิจฉัย severe TR (RV angiogram พบ contrast media ซึ่งเข้า RA, IVC และ SVC และมีความเข้มของ contrast media ใน RA มากกว่า RV)

Pennestri F, Loperfido F, Pelligrino M, และคณะ¹⁵ ศึกษา HV Doppler pattern ในการ grading severity TR เทียบกับวิธี RV angiogram พบว่า holo-systolic reversal flow. ในการ

วินิจฉัย severe TR มี sensitivity 85 % และ specificity 44 % (TR 4+ by RV angiogram, ความเข้มของสีใน RA มากกว่า RV)

บทบาทวรรณกรรมการตรวจ SVC Doppler ใน tricuspid regurgitation

ปีค.ศ. 1970 A. Benchimol และคณะ¹⁶ ใช้ Doppler flowmeter catheter วัด SVC และ RA flow velocity ในคนปกติ 21 คนพบว่า systolic flow velocity (S) จะมากกว่า diastolic flow velocity (D) แต่ในคนที่มี Tricuspid insufficiency จากการตรวจด้วย RV angiogram 15 คนพบว่า S จะลดลงแต่กลับมีการเพิ่ม amplitude ของ D โดย 12 ใน 15 คนพบแต่ D wave และพบความสัมพันธ์ระหว่างความรุนแรงของ TR จากการตรวจด้วย angiogram กับ amplitude ของ D นอกจากนี้ในผู้ป่วยจำนวน 3 คนได้ทำการตรวจ Hepatic vein flow velocity พบว่าได้ผลการตรวจเหมือน SVC flow velocity

ปี ค.ศ. 1973 A. Benchimol และคณะ¹⁷ ศึกษา Transcutaneous jugular venous flow velocity โดยใช้ Doppler flow velocity probe ตรวจผู้ป่วยโรคหัวใจที่มารับการตรวจ right และ left heart catheterization พบว่าผู้ป่วย 23 ใน 25 คน ที่ไม่มี TR จะพบว่า S มากกว่า D (S/D มากกว่า 1) แต่ผู้ป่วย 12 ใน 12 คน ที่เป็น AF และมี TR , และผู้ป่วย 8 ใน 8 คนที่เป็น sinus rhythm และมี TR พบว่า S น้อยกว่า D (S/D น้อยกว่า 1) นอกจากนี้ผู้ป่วย 8 จากทั้งหมด 45 คนได้รับการตรวจ SVC flow pattern พบว่าผลการตรวจเหมือน jugular flow pattern และพบความสัมพันธ์ระหว่างความรุนแรงของ TR ที่เพิ่มขึ้น กับการลดลงของ S ต่อ D ratio

ปีค.ศ. David Garcia Dorado และคณะ¹⁸ ศึกษา SVC Doppler ในตัวอย่าง 57 คน (healthy subject 24, left side valvular heart disease 33)พบว่า maximum systolic velocity (MSV) : maximum diastolic velocity (MDV) มากกว่า 1 ในคนปกติ 24 คนทุกคน และ MSV : MDV จะน้อยกว่า 1 ในผู้ป่วยที่มี TR 31 ใน 33 คนจากการตรวจด้วย RV angiogram โดยยิ่ง TR รุนแรงมากขึ้น systolic velocity จะยิ่งลดลงใช้ $MSV/MDV < 1:3$ แยก moderate to severe TR พบว่ามี sensitivity 83% และ specificity 77%

กล่าวโดยสรุป

การศึกษา SVC Doppler ในภาวะ TR ยังมีค่อนข้างน้อยแต่พบว่ามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในภาวะ TR เหมือน HV Doppler คือปกติ systolic velocity จะมากกว่า diastolic velocity แต่เมื่อ TR รุนแรงขึ้น systolic velocity จะลดลงและมีการเพิ่มขึ้นของ diastolic velocity

ในปัจจุบันยังไม่เคยมีผู้ใดศึกษาถึง sensitivity และ specificity SVC holo-systolic reversal flow ในการวินิจฉัย severe TR

ความรู้พื้นฐานของภาวะ Tricuspid regurgitation¹⁹

สาเหตุของ TR แบ่งเป็น

1. anatomical abnormal tricuspid valve (primary TV disease or organic TR) เช่น

- Rheumatic
- Nonrheumatic
 - infective endocarditis
 - Ebstein's anomaly
 - Prolapse
 - Congenital (non ebstein)
 - Carcinoid
 - Papillary muscle dysfunction
 - Trauma
 - Connective t issue disease
 - Rheumatoid arthritis
 - Radiation injury

2. anatomical normal valve (functional TR, secondary TR) จากการเพิ่มขึ้นของ RV systolic pressure, pulmonary artery pressure ทำให้เกิด dilated TV annulus โดยสาเหตุที่พบบ่อยที่สุดคือ functional TR จาก rheumatic mitral valve disease

Clinical manifestation

History อาการเกิดจากการลดลงของ cardiac output เช่นอาการอ่อนเพลียและจากภาวะ right side heart failure เช่นการมีน้ำในช่องท้อง (ascites), ตับโตกดเจ็บ (painful congestive hepatomegaly), บวม (edema)

Physical examination

weight loss, cachexia, cyanosis, jaundice, atrial fibrillation พบได้ใน severe TR jugular venous distension, prominence of systolic wave (c-v wave)

pulsatile liver

ascites, edema

systolic murmur (high pitch, pansystolic, loudest at 4th intercostal space)

characteristic augment during inspiration (Carvallo sign)

ความรู้พื้นฐานของการตรวจ ด้วย Color Doppler Echocardiogram²⁰

วิธีการตรวจ Echocardiogram อาศัยหลักการของคลื่นเสียงที่ส่งผ่านเนื้อเยื่อและสะท้อนกลับ เช่นผ่านทรวงอกเข้าไปที่หัวใจ

อุปกรณ์พื้นฐาน (Basic instrumentation)

เครื่องตรวจคลื่นเสียงสะท้อนประกอบด้วยเครื่องซึ่งภายในมีวงจรทางคอมพิวเตอร์ต่อกับจอภาพต่อกับเครื่องบันทึก video tape ต่อกับเครื่องพิมพ์ (printer) เพื่อบันทึกเป็นภาพเทียบกับเวลา มีช่องให้มีช่องให้ต่อกับสายตรวจ (transducer) transducerที่ใช้ทางคลินิกสามารถส่งคลื่นเสียงที่มีความถี่ 1 – 7 MHz ใช้ตรวจในเด็ก

การตรวจคลื่นเสียงสะท้อนชนิด M – mode มีข้อเสียที่เห็นภาพหัวใจเพียงหนึ่งมิติไม่สามารถแปรผลได้หมดทุกส่วนในเวลาเดียวกัน นอกจากนั้นภาพที่ได้เป็นเพียงเส้นแสดงการเคลื่อนไหวของ structure ของหัวใจเท่านั้นไม่เหมือนกายภาพจริงของหัวใจทำให้ดูยากแปลผลยากและไม่สามารถบอกถึง spatial orientation ของส่วนต่าง ๆ ภายในหัวใจได้

ส่วนการตรวจด้วย 2D สามารถให้ spatial orientation ดี สามารถดูแนวลึกของและแนวกว้างให้ภาพที่มีลักษณะเหมือนกายวิภาคหัวใจที่แท้จริง การตรวจด้วย Pulsed wave (PW) และ continuous wave (CW) ให้ผลในลักษณะส่งเสริมซึ่งกันและกัน

เครื่องตรวจและส่งคลื่นเสียงผ่านเข้า transducer ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับการตรวจและส่งเสียงสะท้อนเข้าเครื่องด้วยวิธีการ processor ของคอมพิวเตอร์จะปรากฏภาพเป็น 2 ทางคือ

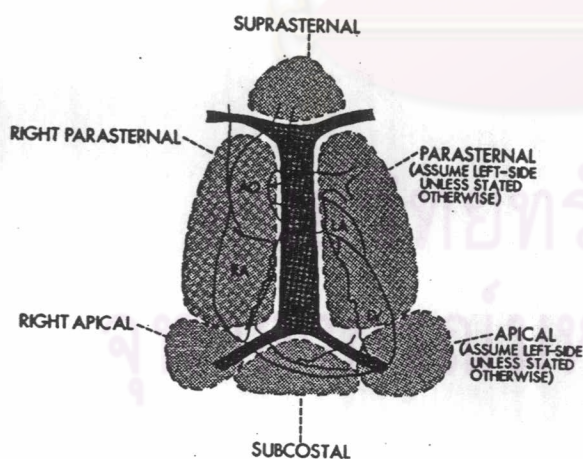
1. Velocity information โดยแปลสัญญาณออกเป็น range - gated PW Doppler ร่วมกันมี autocorrelator เช่น color flow imaging ซึ่งสามารถตรวจเป็น real time และ M - mode ในเวลาเดียวกัน
2. Amplitude signal โดยแปลสัญญาณแยกเป็น M - model และ 2D real time

ประโยชน์ของการตรวจคลื่นเสียงสะท้อนด้วย mode ต่าง ๆ กัน มีดังนี้

1. M - mode สำหรับวัดความหนา วัดค่าต่าง ๆ และดูการเคลื่อนไหวเป็นต้น
2. ภาพ 2D ดูรูปพรรณและการเคลื่อนไหวที่เป็นจริง
3. M - model และภาพ 2D ตรวจ functional significant ได้เช่นในลิ้น หัวใจรั่ว
4. Color flow imaging และ Doppler ตรวจ hemodynamic และความ

รุนแรงของโรค

ท่าผู้ป่วย



NOMENCLATURE FOR TRANSDUCER LOCATION

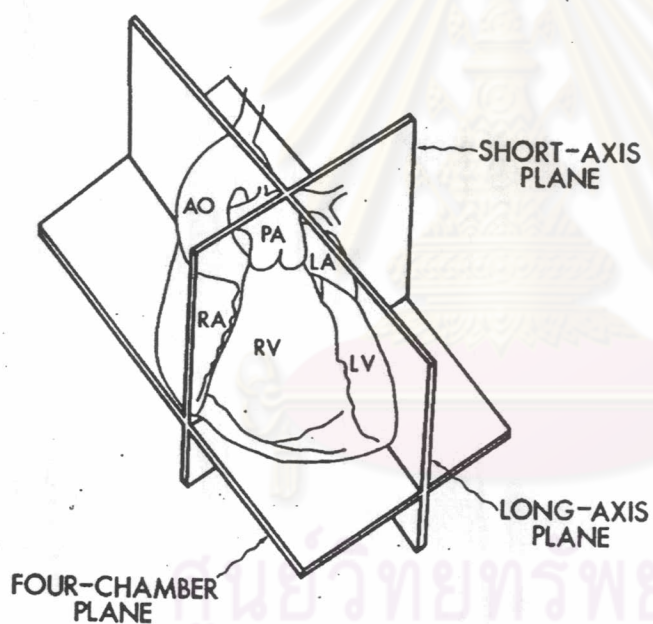
รูปที่ 7. แสดงการเรียกชื่อตำแหน่งต่าง ๆ ในการวางที่ตรวจจากหน้าอกผู้ป่วย

การตรวจหัวใจด้วยคลื่นเสียงสะท้อน ให้ปรากฏภาพจอเป็น view ต่าง ๆ จะได้ภาพชัดเจนเมื่อผู้ป่วยอยู่ในท่าที่เหมาะสมถูกต้อง ท่ามาตรฐานโดยให้ผู้ตรวจอยู่ทางด้านขวามือของผู้ป่วยให้ผู้ป่วยนอนในท่าตรวจต่าง ๆ ดังนี้

1. Parasternal view ให้ผู้ป่วยนอนตะแคงซ้าย ให้ผู้ป่วยยกมือซ้ายไปทางศีรษะ ถ้ายังตรวจได้ภาพไม่ชัด อาจต้องตะแคงซ้ายมาก ๆ บางรายต้องให้หายใจออกแล้วกลืนไว้
2. Apical four chamber view มักให้ผู้ป่วยนอนตะแคงซ้ายเพียงเล็กน้อย หรือนอนหงาย
3. Subcostal view ให้ผู้ป่วยนอนหงายชันเข่า
4. Suprasternal notch view ให้ผู้ป่วยนอนหงาย โดยใช้หมอนเล็ก ๆหนุนคอหรือไหล่

ระนาบการตรวจ (Imaging plane)

Imaging plane แบ่งเป็น 3 ระนาบ (plane) ดังภาพ



รูปที่ 8. แสดงระนาบ (plane) ที่ใช้ตรวจ echocardiogram

TWO-DIMENSIONAL ECHOCARDIOGRAPHIC IMAGING PLANES

long axis plane คือระนาบตามแกนยาวของหัวใจโดยตั้งฉากกับ dorsal และ ventral surface ของร่างกาย

short axis plane คือ ระนาบตั้งฉากกับ long - axis plane ตามแกนขวางของหัวใจ

four chamber plane คือ ระนาบขนานกับ dorsal และ ventral surface ของร่างกาย

การตรวจด้วยวิธี Doppler (Doppler Echocardiography)

อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ (frequency) เรียก Doppler shift ของความถี่เมื่อคลื่นเสียงผ่านเนื้อเยื่อมนุษย์ที่มีความหนาแน่นต่างกัน(ยกเว้นอากาศกับกระดูกซึ่งคลื่นเสียงสะท้อนกลับในกรณีเนื้อเยื่ออยู่กับที่จะสะท้อนคลื่นเสียงที่มีความถี่เช่นเดียวกับคลื่นเสียงที่ส่งออกมา แต่ถ้ามีการเคลื่อนไหวเข้ามาหรือหนีออกจะมีการเปลี่ยนแปลงในความถี่ของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับ ความเร็วของเสียง (เมตต์เลือดแดง) สูงสุด หรือ V_{max} สามารถคำนวณได้ ถ้ารู้ความถี่ของคลื่นเสียงที่ส่งออกจาก transducer และ Doppler shift (f_s) ของคลื่นเสียงที่ส่งกลับ ดังสูตร

$$V_{max} = \frac{C \times \text{Doppler shift (max)}}{2 \times \text{transducer frequency} \times \cos \theta}$$

V_{max} เป็นความเร็วสูงสุดของลำเลือด (เป็น ซม./วินาที)

C เป็นค่าคงที่ของคลื่นเสียงผ่านเนื้อเยื่อ (1,540 เมตร/วินาที)

Doppler shift เป็นความถี่ที่เปลี่ยนแปลงสูงสุด ได้ค่าจาก spectrum analysis (MH_z)

$\cos \theta$ เช่น cosine ของมุมระหว่างแนวคลื่นเสียงทำกับแนวลำเลือดที่ไหลเร็วที่สุด

การตรวจ Doppler ต้องพยายามทำมุมลำเสียงกับลำเลือดให้ใกล้ 0 มากที่สุด หรือไม่เกิน 20 องศาจึงจะเป็นการยอมรับค่าที่วัดได้ ถ้าค่ามากกว่า 20 องศาทำให้อ่านค่าต่ำกว่าที่เป็นจริง ดังนั้นการใช้ Doppler ถ้าจะให้แน่นอนถูกต้องขึ้นอาจใช้ภาพสีเพื่อดูแนวลำเลือดร่วมในการตรวจด้วยจะได้ค่าที่ถูกต้องใกล้เคียงมากที่สุด

Doppler mode อาจจำแนกเป็น

1. Pulsed wave Doppler

2. Continuous wave Doppler
3. Color flow Doppler

Pulsed Wave Doppler (PW Doppler)

ใช้ transducer ที่มีผลึกอันเดียวเป็นตัวส่งและตัวรับคลื่นเสียงสะท้อน โดยต้องปล่อยคลื่นเสียงไปถึงจุดที่ต้องการตรวจ (sample volume) และรอให้สะท้อนกลับมาจึงปล่อยได้อีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นจึงขึ้นกับเวลาและความลึกของสิ่งที่จะตรวจรวมทั้งความเร็วของเลือดบริเวณที่เป็น sample volume จึงมีข้อเสียที่ไม่สามารถตรวจความเร็วที่สูงมาก (มักพบในภาวะผิดปกติ) อย่างไรก็ตามสามารถใช้ตรวจความเร็วที่ต่ำของเลือดได้ (มักพบในภาวะการไหลเวียนปกติ) ถ้าความเร็วของเลือดที่จุดใดก็ตามมีผลให้ความถี่ของคลื่นเสียงสะท้อนสู่ transducer มีค่าเกินครึ่งหนึ่งของคลื่นเสียงจาก transducer (pulse repetition frequency ซึ่งเป็นจำนวนของ pulse ต่อหนึ่งวินาที) เรียก Nyquist limit ผลก็คือสัญญาณจะเกินความสามารถที่จะรับได้ เกิดภาพ Doppler ไปทับกันเรียก aliasing

Continuous Wave Doppler (CW Doppler)

ใช้ transducer มีผลึก 2 ชั้น ชั้นหนึ่งส่งคลื่นเสียงตามแนวที่ต้องการตรวจติดต่อกันตลอดเวลา อีกชั้นหนึ่งเป็นตัวรับคลื่นเสียงกลับตลอดเวลาเช่นกัน เป็นหลักการเหมือนกับ Doppler shift ที่กล่าวไว้ตอนแรก เนื่องจาก continuous wave Doppler ไม่มี sample volume เป็นเพียงตรวจหาความเร็วเลือดตลอดแนว โดยไม่ทราบว่าจะจุดใดตามแนวของคลื่นเสียงที่ส่ง จึงมีข้อดีคือ ไม่มี velocity aliasing สามารถใช้วัด velocity ที่สูงได้ทุกชนิด

Color Flow Doppler

หลักการของ Color flow imaging คือ

1. มีแนวเส้นคลื่นเสียงส่งซ้อนในภาพ 2D
2. มี Sample volume เป็นร้อย ๆ จุดตามแนวเส้นข้างต้น
3. เมื่อเครื่องส่งคลื่นเสียง 1 ครั้งที่ได้ภาพ จะมี pulse ต่าง ๆ ตลอดแนวทุกจุด
4. โดยผ่านเครื่อง autocorrelator process ข้อมูลของความเร็วจาก sample volume เป็นพัน ๆ จุดถูกแปลออกเป็นสี

4.1 ทิศทางของค่าเฉลี่ยของความเร็วของเลือดในแต่ละจุดที่มีทิศทางเข้าหา transducer จะเป็นสีแดง และที่ออกจาก transducer จะเป็นสีน้ำเงิน

4.2 ความเข้มของค่าเฉลี่ยของความเร็วของเลือดในแต่ละจุด มีผลให้ความเข้มของสีแตกต่างกันไปโดยที่ความเร็วสูงจะมีสีอ่อนกว่าความเร็วต่ำ ถ้าความเร็วต่ำมากจะเป็นสีดำแต่ถ้ามีความเร็วเลือดสูงเกิน Nyquist limit เป็น color aliasing ซึ่งเป็นข้อจำกัดเดียวกับ pulsed wave Doppler

4.3 ความเร็วเลือดที่เป็น laminar flow เช่นเป็นสีแดงหรือน้ำเงิน แต่ถ้าเป็นกระแสวน (turbulent flow) จะมีสีเพิ่มจากสีหลัก 2 สี เป็นสีอื่นๆ เช่น เขียว, เหลือง, ขาว ถ้ามีหลายสีอยู่ด้วยกันเรียก mosaic pattern

5. Color flow imaging ที่เกิดจากข้อมูลความเร็วของเลือด จะซ้อนทับบนภาพ 2D ซึ่งเป็น real time ในเวลาใกล้เคียงกันมาก

6. เนื่องจาก color flow imaging เป็น pulsed wave Doppler จึงเกิด color aliasing เมื่อความเร็วของเลือดเกิน Nyquist limit ไม่ว่าจะจุดใด มีผลให้เปลี่ยนเป็นสีตรงข้าม คือ เป็นสีน้ำเงินและน้ำเงินเป็นแดง เช่น ความเร็วสูงของเลือดที่เข้าหา transducer เป็นสีแดงที่ขอบโดยมีตรงกลางเป็นสีน้ำเงิน

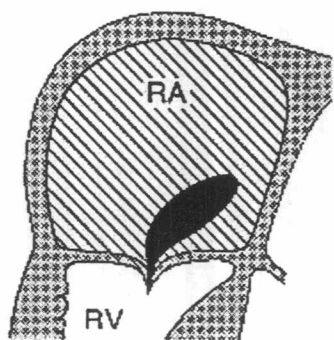
ภาพสีที่ออกมาจะคมชัดหรือไม่คมชัดขึ้นกับความชำนาญของผู้ตรวจ ประสิทธิภาพของเครื่อง ทิศทางของเลือดที่ไหลในท่าต่าง ๆ กัน นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับการตั้งค่าต่อไปนี้

1. Interrogation variables เช่น ท่าต่าง ๆ line density ขนาดและความหนาของ sample volume จำนวน pulse ต่อเส้น PRF ความลึก องศาของ color flow imaging, frame rate

2. Display variable เช่น การปรับ gain สี slide pod, setting, color processing, color map, color filter, color baseline

การประเมิน TR โดยวิธี Echocardiogram²¹⁻⁴

1. RJA Color Doppler เป็นวิธีที่สามารถบอกทิศทางและปริมาณของ TR ใน RA ทำการวัดปริมาณของ TR jet area เทียบกับ RA area โดยเทียบเป็น % โดยวัดใน view ที่มี RJA มากที่สุด



รูปที่ 9. แสดงการวัด regurgitation jet area (RJA)

TR regurgitation area (สีแดง) และ RA area

แบ่งความรุนแรงของ TR ดังนี้

mild	=	RJA น้อยกว่า 20%
moderate	=	RJA เท่ากับ 20- 40%
severe	=	RJA มากกว่า 40%

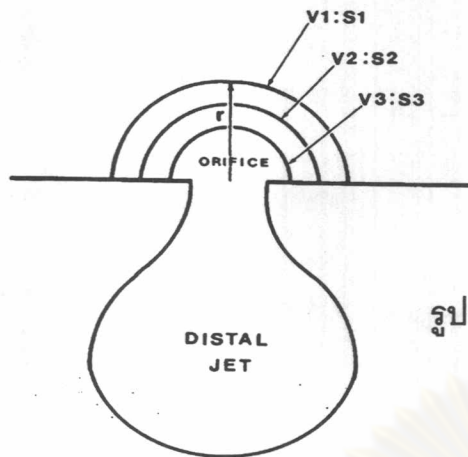
วิธีนี้เป็นวิธีการทางคุณภาพที่ทำได้ง่าย แต่ก็มีข้อจำกัด²⁵⁻⁷

- instrument factor, gain setting, frequency ของ transducer
- Eccentric jet flow เนื่องจาก regurgitation jet พุ่งเข้าหาผนังของหัวใจ ทำให้การประเมินค่าต่ำกว่าความเป็นจริง
 - haemodynamic ของ RA เนื่องจากขนาดของ jet ใน RA ขึ้นกับ transvalvular pressure gradient ในที่ RA pressure น้อยกว่าจะมี jet size ที่ใหญ่กว่า
 - ในผู้ที่มี echo resolution ไม่ดี เช่น ผนังหน้าอกหนา, คนอ้วน, ผู้ป่วย COPD

2. Proximal Isovelocity Surface Area (PISA)

ตามกฎ conservation of flow และ continuity equation

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 10. แสดง proximal isovelocity surface area (PISA)

$$\begin{aligned} \text{PISA} &= \text{AREA of } S \\ &= 2\pi r^2 \\ \text{FR} &= \text{PISA (cm}^2) \times V \text{ (cm/s)} \end{aligned}$$

รูปที่ 10. Diagram illustrating the proximal isovelocity surface area (PISA) method for measuring regurgitant flow.

Flow ณ จุด Proximal ต่อ regurgitation orifice (flow ด้าน ventricular site ของ TV) เท่ากับ flow ที่ผ่าน regurgitation orifice ด้าน RA เนื่องจาก flow ที่ผ่าน regurgitation orifice มีลักษณะเป็นครึ่งวงกลม (hemisphere) ซึ่งที่บริเวณผิวของ hemisphere จะมี velocity เท่ากัน (isovelocity)

Flow rate มีบริเวณผิวของ hemisphere เท่ากับ area ของ hemisphere คูณกับ aliasing velocity

$$\text{Flow} = 2\pi r^2 \times V_a$$

และจาก

$$\text{Flow rate at PISA} = \text{Flow rate across regurgitant orifice}$$

$$2\pi (r^2) \times V_a = \text{ERO} \times \text{MR velocity}$$

$$\text{ERO} = \frac{6.28 r^2 \times \text{Alias velocity}}{\text{MR velocity}}$$

(ERO = effective regurgitation orifice)

หลังจากคำนวณ ERO แล้ว TV Regurgitation volume สามารถคำนวณได้โดย

$$\text{TR Reg V} = \text{ERO} \times \text{MR TVI}$$

ขั้นตอนในการวัด TR flow rate, ERO area และ TR Regurgitant volume โดย PISA method ทำได้ดังนี้

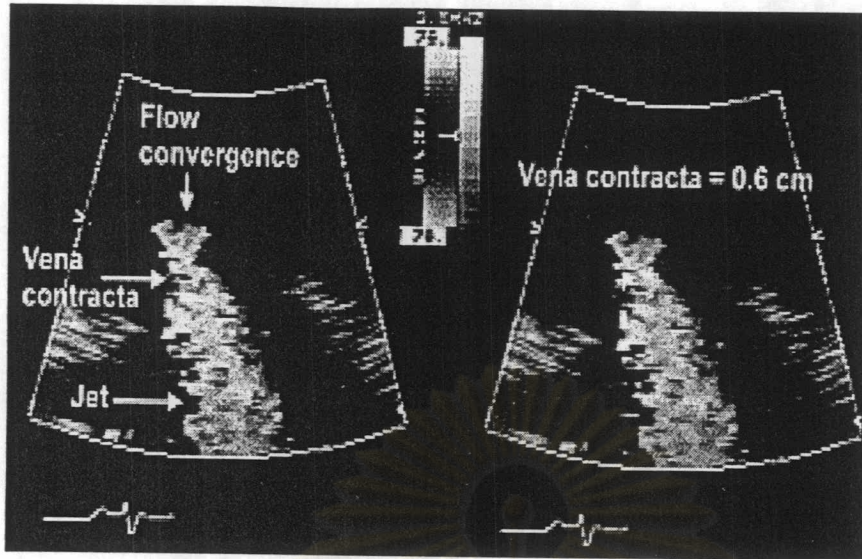
- ขั้นที่ 1 ตรวจหา TR color flow imaging จาก apical window
- ขั้นที่ 2 ทำการขยายภาพบริเวณ regurgitant TV โดยการ zoom หรือ regional expansion selection (RES)
- ขั้นที่ 3 ทำการลด color – flow zero baseline เพื่อขยายขนาดของ hemisphere PISA โดยลดถึงระดับ aliasing velocity ที่ 20 ถึง 40
- ขั้นที่ 4 ใช้ cine – mode หาภาพจากหลาย cardiac cycle เพื่อให้ได้รูป hemisphere PISA ที่ดีที่สุด ซึ่งเกิดในช่วง midsystole
- ขั้นที่ 5 ทำการวัด radius (r in cm.) ไปในทิศทางเดียวกัน Ultrasound beam
- ขั้นที่ 6 วัด TR velocity ด้วย continuous – wave Doppler เพื่อวัด peak TR velocity และ TVI
- ขั้นที่ 7 คำนวณ TV flow rate, ERO และ Tricuspid regurgitation volume ดังสูตรข้างต้น

วิธีการที่มีข้อจำกัด ดังนี้²⁸⁻³⁰

- ใช้เวลาในการตรวจนาน
- ประเมินผิดพลาดในผู้ป่วยที่มี eccentric jet flow
- การวัด radius คลาดเคลื่อนแม้เพียงเล็กน้อย ทำให้ผลการตรวจผิดพลาดได้มาก
- ในผู้ป่วยที่มี echo resolution ไม่ดี เช่น ผนังหน้าอกหนา, คนอ้วน, ผู้ป่วย COPD

3. Vena Contracta Width (VCW)³¹

vena contracta คือ บริเวณแคบที่สุด บริเวณที่ flow จาก LV มารวมกันก่อนที่จะแผ่ขยายเป็น turbulent regurgitant jet ซึ่งบริเวณนี้จะเป็นบริเวณที่มีความสัมพันธ์ทาง haemodynamic กับ Effective Regurgitant Orifice area (ERO)



รูปที่ 11. แสดงการวัด Vena Contracta Width (VCW)

วิธีการวัด โดยการจับภาพจาก apical view ทำการค่อยๆ ลด flow gain จนได้ color gain level มากที่สุดที่จะไม่ทำให้เกิด signal นอก flow area ที่ aliasing velocity 46 – 96 cm/s ทำการขยายภาพด้วยการ zoom มองหา vena contract แล้ววัดความกว้าง

ข้อจำกัด

- มีปัญหาในการตรวจในผู้ป่วยที่มี eccentric jet flow
- ผู้ป่วยที่มี echo resolution ไม่ดี
- ยังไม่มีการศึกษาในผู้ป่วยที่เป็น atrial fibrillation

วิธีการทางคุณภาพ (Quantitative method)

4. การตรวจ Hepatic vein (HV) Doppler

Hepatic vein flow velocity ประกอบด้วย ส่วนประกอบ 4 ส่วนคือ

Systolic forward flow (S)

Diastolic forward flow (D)

Systolic flow reversal (SR)

Diastolic flow reversal (DR)

ในภาวะปกติ S จะมากกว่า D และไม่มีความเด่นชัดของ reversal velocity

Hepatic vein velocity

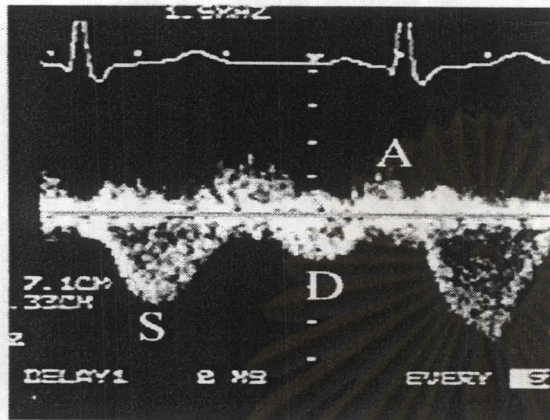
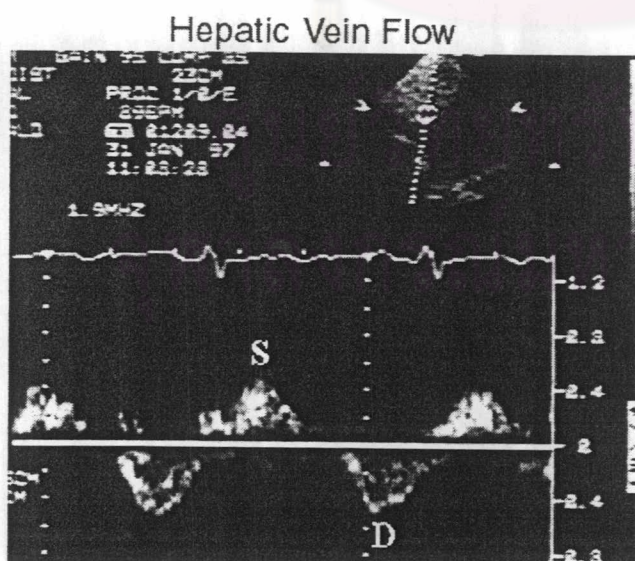


Figure 12 Normal hepatic vein velocity recorded from subcostal window. From this window, a negative velocity indicates antegrade flow moving toward RA. Notice that antegrade systolic velocity is larger than antegrade diastolic velocity. Small retrograde atrial (A) velocity is also seen. These velocities are subject to variation with respiration.

รูปที่ 12. แสดง HV Doppler ในภาวะปกติ

แต่ใน severe TR พบว่ามีลักษณะ holo-systolic reversal ของ HV



รูปที่ 13. แสดง HV Doppler ในภาวะ severe TR

วิธีการตรวจทำได้ดังนี้

วาง transducer ในท่า subcostal window ทำการมองหา IVC และ HV ทำการวางแนว transducer ให้ HV อยู่ในแนว longitudinal โดยมุมระหว่าง Doppler beam และ HV ไม่มากกว่า 15° ใช้ 2 – 3 มม. Pulsed wave วัด ณ จุด HV เหนือรอยต่อของ IVC 1 – 2 ซม. วัด systolic velocity และ diastolic velocity โดย systolic phase อยู่ในช่วง QRS ถึงจุดสิ้นสุดของ T wave ส่วน diastolic phase คือ จุดสิ้นสุดของ T wave ถึง QRS

ข้อจำกัดคือ^{14, 15, 32}

- ผู้ป่วยที่มี HV ขนาดเล็ก
- มุมของ HV ไม่ขนานกับ pulsed wave
- ผู้ป่วยผนังหน้าท้องหนา

เกณฑ์ในการวินิจฉัย severe TR

1. Color – flow RJA > 40% ของ RA area
2. Annulus dilatation (> 4 cm) หรือ TV ไม่ประกบกัน (TV poor coaptation)
3. ERO > 0.4 cm² regurgitation volume > 60 cc.
4. RJW > 6.5 mm.
5. systolic flow reversal in the HV

วิธีวัด Homodynamic ของห้องหัวใจซีกขวา

วัด right ventricular systolic pressure (RVSP) ค่านี้จะเท่ากับ Pulmonary artery systolic pressure (PASP) ในกรณีไม่มีลิ้นปี่ผิดปกติซึ่งแสดงถึงความดันหลอดเลือดแดงปอดว่าสูงเพียงใด โดยที่ไม่เกี่ยวข้องกับความรุนแรงของ TR (ความรุนแรงของ TR ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น) แต่ความสูงหรือความลึกจากสัญญาณของ TR ตรวจโดย CW Doppler (maximum peak velocity) แปลตาม RVSP โดยตรวจให้ได้ CW Doppler ที่สูงที่สุด อาจใช้ apical หรือ pare-apical four-chamber, low parasternal หรือ subcostal view ก็ได้

อาศัยสูตร simplified Bernoulli คือ $\Delta p = 4V^2$

ในช่วง systole ความแตกต่างของความดันระหว่าง RV กับ RA วัดโดย CW Doppler และอาศัยสูตรนี้เป็น

$$\Delta P = RV-RA$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } RV-RA &= 4V^2 \\ RV &= 4V^2 + RA \end{aligned}$$

ค่าของความดันใน RA อาจคาดคะเนได้จาก

- ดูหลอดเลือดดำที่คอผู้ป่วยถ้าปกติหรือสูงไม่มากให้ใช้ค่า 15 มม.ปรอท ถ้าสูงมากให้ค่า 20 มม.ปรอท
- ใช้ค่าคงที่ 10 หรือ 15 มิลลิเมตรปรอท
- ใช้ค่าที่คำนวณได้จาก regression line ของแต่ละสถาบันที่ตรวจได้ดังในรายงานของ Currie PJ และคณะ หรือยงยุทธ สหสกุล และคณะ รายงานโดยใช้ regression line แนะนำใช้ค่า 15 มิลลิเมตรปรอทบวกกับค่าที่คำนวณได้จาก CW Doppler ในคนปกติหรือเมื่อหลอดเลือดดำที่คอโป่งไม่มาก รายที่โป่งมากถึงมูขากรรไกรล่าง ให้ใช้ค่า 20 มิลลิเมตรปรอท



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย