

## 핵의학 의사를 위한 심초음파의 최신지견

영남대학교 의과대학 순환기내과  
홍그루 · 신동구

### Recent Advances in Echocardiography for Nuclear Medicine Physician

Geu-Ru Hong, M.D., Dong-Gu Shin, M.D.

Division of Cardiology, Department of Internal Medicine, Yeungnam University College of Medicine, Daegu, Korea

Echocardiography is one of the most frequently used techniques for diagnosing cardiovascular diseases. Over the last twenty years, technological advances have enabled the application of high-quality imaging. Important recent developments have occurred in echocardiography that are already being used clinically. Equipment and hardware is now available to produce real time three-dimensional and contrast enhanced imaging. Tissue Doppler and stress echocardiography have provided potential benefit to analyze hemodynamic information of heart. This review discusses each of these new developments and their potential impact on the practice of echocardiography and cardiology in general. (Korean J Nucl Med 39(6):407-412, 2005)

**Key Words** : Echocardiography, Nuclear medicine physician

심초음파검사(echocardiography)는 심장의 해부학적 구조와 기능을 초음파(ultrasound)를 이용하여 분석하는 장비로 비침습적이며, 반복 측정이 용이하고 비교적 사용이 간단하여 임상에서 널리 이용되고 있다. 최근 다양한 기술의 발달로 방사선 동위원소 검사, CT, MRI 등을 이용하여 심근의 허혈 및 관류 상태 측정, 생존 심근의 예측 등 기존의 심초음파로 관측이 어려웠던 분야까지 측정이 가능하게 되어, 이들 기기들의 이용이 점차 증가하고 있지만, 심초음파 기기 역시 harmonic imaging 등<sup>1)</sup>을 이용한 해상도의 향상과 새로운 영상 처리 장치의 개발로 측정할 수 있는 영역을 점차 넓혀가고 있다. 심근조영심초음파(myocardial contrast echocardiography : MCE),<sup>2)</sup> 조직도플러영상(Doppler tissue imaging), 실시간 3차원 심초음파(real time 3-dimensional echocardiography)<sup>4)</sup> 등 다양한 기법들이 개발되어 예전의 심초음파로서 측정하기 어려웠던 미세 구조물들이나, 심근의 관류상태, 생존 심근의 예측 등 다양한 분야로 이용이 확대되고 있다.<sup>2-4)</sup>

### 심초음파검사의 최신기법

#### 1. 심근조영 심초음파(myocardial contrast echocardiography, MCE)

미세기포(microbubble)가 초음파에 노출되었을 때 초음파의 세기(mechanical index)에 따라 미세기포의 진동 또는 파괴가 일어나면서 후방산란(backscatter)을 만들어 내므로 초음파 기계로 이를 받아 영상을 만들어 낼 수 있다. 혈액 내로 미세기포를 주입하게 되면 이 미세기포가 도달하는 부위 즉, 혈류가 보존되어 있는 부위는 초음파의 조영이 증가하게 된다. 따라서 미세기포가 초음파검사에서 조영제로 쓰이며, 관류(perfusion)의 정도를 조영증가의 정도를 이용하여 평가할 수 있다.<sup>6)</sup>

##### 1) 혈류의 측정(Quantification of coronary blood flow)

MCE에 사용되는 미세기포는 그 농도에 비례하여 videointensity가 1차 관계(linear relationship)로 증가하며, MRI나 CT등에 사용되는 조영제와는 달리 세포 내나 조직의 간질 내로 확산되지 않고 혈관내에만 존재하고, 정맥으로 연속 주입할 경우 혈액 내 농도를 일정하게 유지할 수 있는 특징이 있다. 강한 mechanical index의 초음파에 의해 미세기포가 파괴되는 성질을 이용하여 영상평면내의 조영제를 초음파를 이용하여 파괴한 후 미세기포가 다시 혈류를 따라 영상평면 내로 점차 들어오게 한다. 이와 같은 destruction

• Received: 2005. 4. 30. • Accepted: 2005. 11. 15.  
• Address for reprints: Geu-Ru Hong, M.D., Division of Cardiology, Department of Internal Medicine, Yeungnam University College of Medicine, 317-1, Daemyoung-dong, Nam-gu, Daegu 705-717, Korea  
Tel: 82-53-620-3835, Fax: 82-53-654-8386  
E-mail: grhong@med.yu.ac.kr

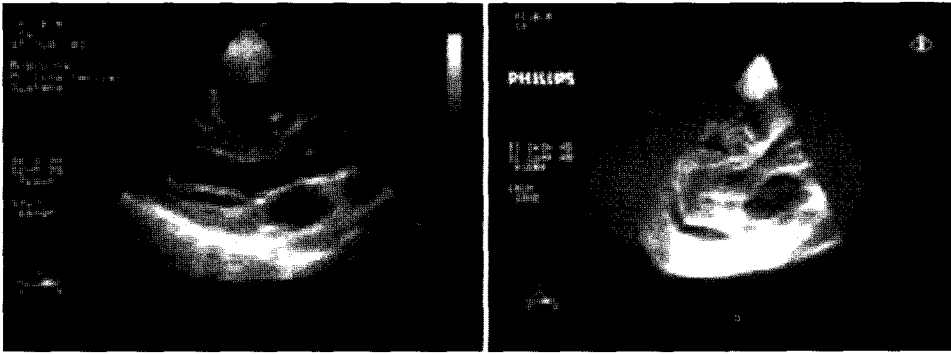


Fig. 1. Acquired images of 2D (left) and real-time 3D(right) echocardiography.

refilling 시기의 time-intensity curve를 이용하여 혈류량을 간접적으로 측정할 수 있다.<sup>6-8)</sup>

2) 급성 흉통 환자에서 심근관류 평가

심근 경색증 환자에서 경색 관련 동맥이 폐쇄된 상태, 즉 재관류가 이루어지기 전에 혈류가 비정상적인 부위를 MCE로 알아 낼 수 있는데 이를 risk area라고 부른다. 심전도나 심근효소가 불확실한 경우 MCE로 risk area를 발견해냄으로써 급성관동맥증후군을 진단할 수 있다. risk area는 일반적으로 궁극적인 심근경색의 크기보다 크며 risk area내의 측부 혈류의 정도 및 부위를 MCE로 판정함으로써 재관류가 이루어지지 않는 경우 생길 궁극적인 경색의 크기를 예측할 수 있다. 재관류 후 risk area의 심근 내에 혈류가 흐르지 않는 것을 MCE로 증명하는 경우 심근의 생존능력(myocardial viability)가 없음을 판정 할 수 있다.<sup>9,10)</sup>

3) 관상동맥질환의 진단

MCE를 이용한 관상동맥질환의 진단은 약물부하 시 정상 관류와 비정상관류심근의 peak video-intensity의 차이, 즉 myocardial blood volume의 차이를 이용한 몇 개의 연구결과가 발표된 바 있고 비교적 진단율이 양호한 것으로 되어있다. 최근에는 time-intensity curve에서 구한 적혈구의 평균속도( $\beta$ )를 이용하여 정상과 비정상관류심근을 구별하려는 연구들이 발표되고 있다.<sup>11,12)</sup>

2. 실시간 삼차원 심초음파(Real-time three dimensional echocardiography)

최근 Duke university에서는 삼차원 용적을 scan할 수 있는 matrix array transducer에 기초하여 실시간 삼차원 심초음파 영상기법을 개발하였다. 기존의 linear array에서는 초음파 방향이 한 방향으로만 조절 될 수 있지만 matrix array에서는 이차원적 조정이 가능하고 삼차원적인 volume

imaging이 가능하게 되었다. 실시간 삼차원 심초음파는 또한 parallel processing 기법에 의해 매우 빠르게 영상을 얻을 수 있다.<sup>4)</sup>

심장은 역동적 장기로 삼차원 기법 적용이 쉽지 않다. 심장은 cardiac 및 respiratory cycle에 따라 움직이는데 기존의 초음파 체계로는 이러한 역동적 움직임을 실시간으로 삼차원 재조합하는 것이 불가능하다. 하지만 새롭게 개발된 matrix array transducer를 이용하면, 심전도 및 respiratory cycle에 synchronize해서 영상을 registration한 뒤 다시 영상을 재구성하여 삼차원적인 volume image를 얻는다. 삼차원 영상 획득 시간을 줄이는 것은 매우 중요한데, 용적 및 벽운동은 심장 박동에 따라 변할 수 있으며 특히 부하검사에서 벽운동의 변화는 수초에서 수분 내 소실되기 때문이다.<sup>13)</sup> Real-time volumetric 3D imaging을 이용해서 검사자는 심장 구조물의 크기, geometry 및 relation에 관한 3차원적 정보를 즉각적으로 얻을 수 있고, 또한 실시간 삼차원 심초음파에 의한 측정의 기하학적 가정이 필요 없으므로 여러 종류의 심질환에서 chamber의 용적 측정 및 수축기능의 평가가 객관적이고 정확해질 수 있다.<sup>4,13)</sup> Real-time volumetric 3D imaging은 심장을 실시간으로 관찰하고 정량화할 수 있으면서 비교적 간단하게 시행될 수 있으므로 활발한 임상적인 적용이 기대된다(Fig. 1).

조직도플러영상(Tissue Doppler Imaging, TDI)

1. 조직도플러영상이란?

1989년 Isaz 등<sup>14)</sup>에 의해 처음 소개된 조직도플러영상의 개념은 혈류도플러보다 진폭(amplitude)은 크고 주파수(frequency)는 낮은 조직도플러신호를 선택적으로 분석하는 방법이다. 즉, 조직도플러영상은 도플러 효과에 의한 주파수 변위(Doppler shift)를 이용하여 속도를 계산한다는 점에서 혈류도플러와 그 원리는 같지만, 조직도플러신호는 혈류도플러신호에 비해 진폭이 약 40 dB정도 크다(Fig. 2). 따라서,

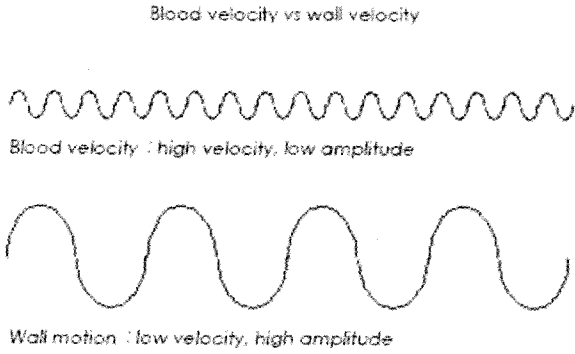


Fig. 2. Schematic illustration of blood flow Doppler signal and wall motion Doppler signal.

일반적으로 혈류도플러영상을 얻을 때는 필터를 이용하여 속도가 낮고 진폭이 큰 신호를 제거하는데, 조직도플러영상에서는 이 필터를 이용하지 않음으로써 조직에서 나오는 신호를 얻을 수 있다. 또한, 초음파영상의 게인(gain)을 혈류도플러영상보다 낮춤으로써 강도가 낮은 혈류도플러신호를 제거하고 순수한 조직도플러영상을 얻을 수 있다.<sup>15)</sup>

### 조직도플러영상을 이용한 심실기능의 평가

#### 1. 전반적인 좌심실의 수축기능(global left ventricular systolic function)

좌심실의 장축방향의 움직임은 수축기나 이완기에 좌심실의 용적변화를 반영하는데, 수축기나 이완기에 심첨부는 거

의 고정되어 있으므로 심저부 즉 승모판륜의 움직임을 관찰하면, 이런 좌심실의 용적변화를 쉽게 평가할 수 있다. 1967년 Feigenbaum 등<sup>16)</sup>이 처음으로 M형 심초음파도를 통한 승모판륜(mitral annulus)의 움직임을 이용하여 좌심실의 기능을 평가하려는 노력이 많이 있어왔다. 조직도플러영상의 개발은 쉽고 정확하게 승모판륜의 움직임과 속도를 측정하는 새로운 방법을 제시했다고 할 수 있다. Fig. 3에서와 같이 정상적인 승모판륜의 움직임은 크게 수축기속도(S'파), 초기이완기속도(E'파), 후기이완기속도(A'파)로 나타나게 된다. 조직도플러영상을 이용한 좌심실벽운동의 속도가 기존에 흔히 이용되던 M형 또는 2면상 심초음파도의 여러 지표들과 좋은 상관관계를 보이는 것은 잘 알려져 있다. Gulati 등<sup>17)</sup>은 심첨 4방단면도(apical 4-chamber view), 2방단면도(apical 2-chamber view), 장축단면도(apical long-axis view)에서 각각 측정된 S'파가 핵의학적 검사로 측정된 좌심실의 구혈율(ejection fraction)과 좋은 상관관계를 보인다고 보고하였다. 특히, 평균값이 5.4 cm/s를 넘는 경우 예민도 88%, 특이도 97%로 정상 구혈율(>50%)을 예측할 수 있다고 하였다. 이는, 이미지의 제한으로 심구혈율을 정확히 측정할 수 없는 경우 좌심실수축기능의 선별검사로써 도움이 될 것으로 생각된다. 또한, Mishiro 등<sup>18)</sup>은 흉골연 장축단면도(parasternal long axis-view)와 단축단면도(parasternal short axis-view)에서 측정된 좌심실후벽의 수축기속도가 확장성심근증 환자에서 저하되어 있음을 보고하였으며, 등용적수축기(isovolumic contraction)의 최고속도가 좌심실의 구혈율이나 좌심실

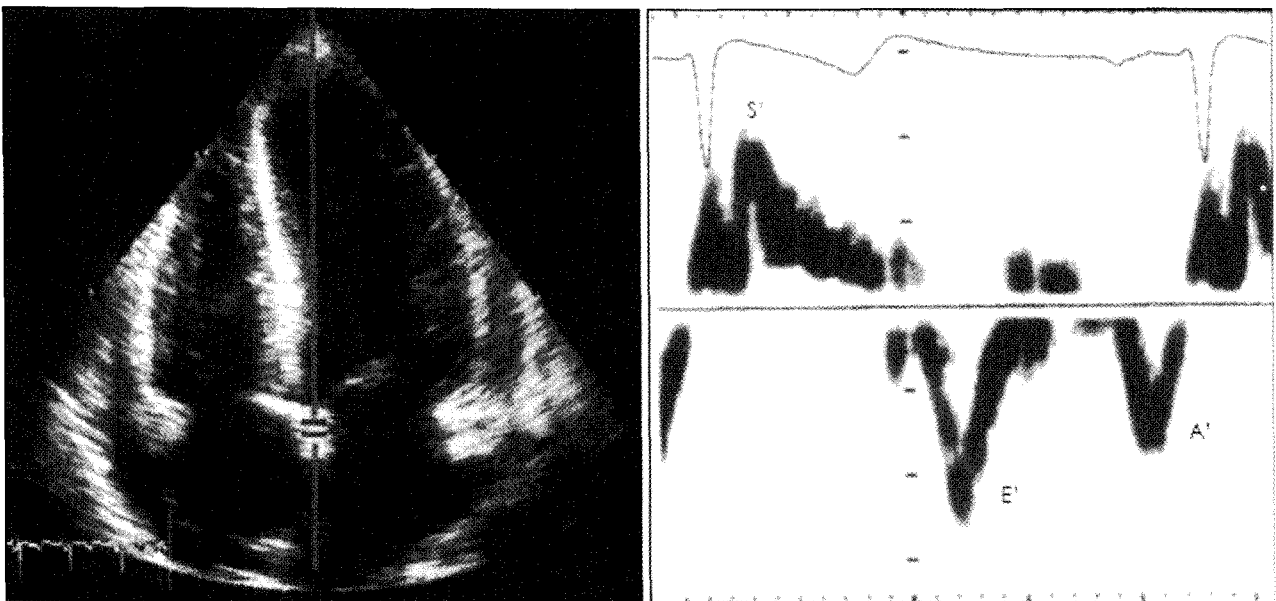


Fig. 3. Example of normal mitral annulus velocity measured by Doppler tissue imaging.

**Table 1.** Normal values in cm/s1 SD for the basal segments of the left ventricle using pulsed Doppler tissue imaging

	S'	E'	A'	E'/A'
Lateral	10.6±2.3	13.3±3.3	11.3±2.9	1.5±0.6
Septal	9.9±1.7	11.5±2.6	9.5±2.4	1.0±0.7
Anterior	9.2±1.8	11.7±3.4	10.3±2.9	1.2±0.7
Posterior	10.4±2.5	14.3±3.6	11.6±2.6	1.3±0.7

수축기압의 최대증가속도(dP/dtmax)와 좋은 상관관계를 보인다고 보고한 바 있다. 이상의 여러 연구들의 결과를 종합할 때, 승모판륜이나 좌심실 후벽의 수축기 최대속도는 좌심실의 구혈율을 반영하므로, 초음파영상이 적당하지 않은 경우 좌심실기능의 선별검사로 유용할 뿐 아니라, dP/dt<sub>max</sub>와 좋은 상관관계가 있으므로 좌심실비후나 부하상태의 변화로 좌심실구혈율이 심근의 기능을 제대로 반영할 수 없는 경우 보완할 수 있는 좋은 지표로 생각된다.

**2. 국소기능의 평가(regional ventricular systolic function)**

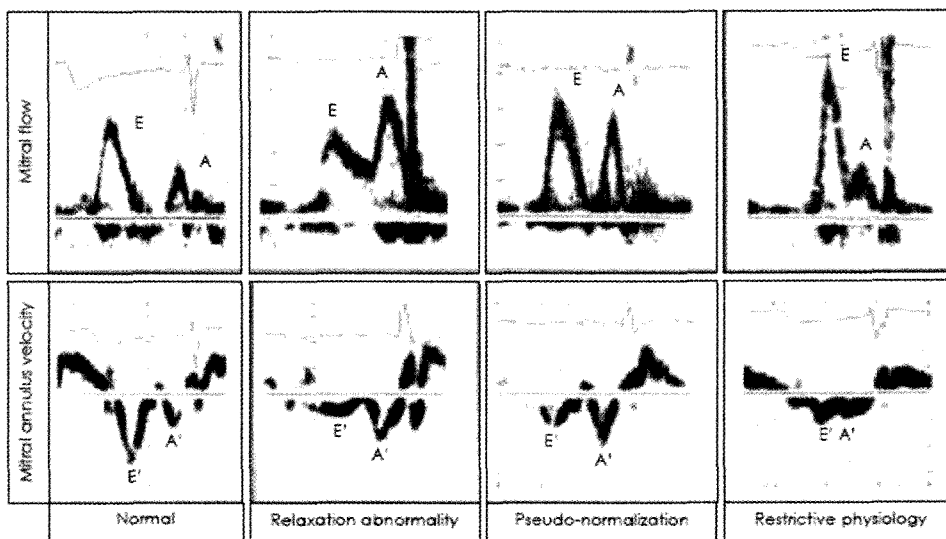
흉골연장축, 단축단면도나 심첨단면도 모두 조직도플러영상을 이용한 국소기능의 평가에 이용될 수 있다. 이렇게 다양한 단면도를 활용하면 좌심실의 모든 부분에 걸쳐 조직도플러영상을 통한 심근속도의 측정이 가능한데, 다만, 심첨부위는 그 속도가 너무 낮아 평가에 어려움이 있다. 정상적으로 부위에 따라 심근속도에 차이를 보이며, 또 같은 부위라도 영상을 얻는 단면에 따라 그 속도가 다르게 나타나게 된다. 예를들면, 전중격부위(anteroseptum)은 후벽(posterior wall)에 비해 심근의 속도가 빠르며, 심첨단면도에서 측정하면 심저부로 갈수록 심근의 속도가 빨라지게 된다.<sup>19)</sup> 또한, 외측 승모판륜의속도가 중격축 승모판륜에 비해 빠른 것으

로 보고되고 있다. 몇몇 연구에서 보고된 정상치를 살펴보면 Table 1과 같다.

조직도플러영상으로 관상동맥질환에 의한 국소적인 수축기능의 저하를 평가한 보고들을 살펴보면, Bach 등<sup>20)</sup>은 색채 조직도플러영상을 이용하여, 관동맥중재시술 중 일시적으로 관동맥을 폐쇄하였을 때 허혈부위 심근의 수축속도는 저하되는 반면, 다른 부위의 심근속도에는 변화가 없다는 것을 보고한 바 있다. 또한, Derumeaux 등<sup>21)</sup>은 동물실험을 통해서 수축기 또는 이완기 심근 속도가 관동맥폐쇄 후 5초 이내에 저하된다고 보고하였으며, 심근속도의 저하가 관동맥협착의 정도에 의해 결정된다는 것, 즉 국소적인 관동맥혈류량과 심근속도가 유의한 상관관계가 있음을 보고하였다. 이와 같이 조직도플러영상으로 측정된 심근속도는 심근허혈에 의한 수축기능의 저하를 빠르고 정확하게 반영하므로, 관동맥질환의 진단이나 부하심초음파 검사에서 유용하게 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

**3. 좌심실이완기능의 평가**

조직도플러영상을 이용하면 이완기 때 좌심실의 장축 방향으로의 확장을 승모판륜 속도로 나타낼 수 있다. 승모판륜의 이완기 초기속도 E'파가 좌심실의 이완기능이 저하된 환자에서 감소되어 있으며 이완기 시간상수인 타우(tau)와 좋



**Fig. 4.** Patterns of mitral inflow and mitral annulus velocity from normal to restrictive physiology, pseudonormalization is easily differentiated.

은 상관관계가 있다고 보고되어 있다. 특히, 승모판륜 속도는 흔히 이용되는 승모판 혈류도플러 검사에 비해 부하상태에 따른 변화가 적어 식염수를 정주하였을 때나 니트로글리세린(nitroglycerin)을 정주하였을 때, 큰 변화가 없어 좌심실의 이완기능의 평가에 유용하다. 이러한 특징으로 인하여, 승모판혈류도플러검사로 좌심실의 이완기능을 평가할 때, 흔히 접하게 되는 가정상(pseudonormalization)과 정상소견의 감별에 유용하게 이용될 수 있다(Fig. 4). 이와 같이 이완기 승모판륜의 속도는 좌심실의 이완기능을 직접 반영하므로, 이완기심부전 등의 진단에 유용하게 이용될 수 있으며, 특히 부하상태에 따른 영향이 적어 승모판 혈류 도플러가 가정상을 보이는 경우에도 좌심실의 이완기능저하를 정확하게 진단할 수 있다.<sup>22)</sup>

#### 4. 좌심실 충만압의 평가

임상적으로 심장질환 환자의 진료에 있어 좌심실 충만압의 평가는 매우 중요한 역할을 한다. 과거에는 카테터를 이용한 침습적인 방법을 통해서만 가능했던 좌심실충만압을 비침습적으로 평가하기 위한 노력이 오래전부터 있어왔으나, 임상적으로 쉽게 이용할 수 있는 쉽고 재현 가능한 방법은 보고되지 못하였다. 최근 조직도플러영상을 이용한 좌심실충만압의 평가법이 여러 연구자에 의해 보고되었다. Nagueh 등<sup>23)</sup>은 초기 승모판혈류속도(E파)와 E'파의 비, 즉 E/E'로서 좌심실충만압을 추정할 수 있다고 제안하였다. 이는, 크게 좌심실의 이완능과 좌심방압에 의해 결정되는 E파를 좌심실의 이완능을 반영하는 E'파의 속도로 나누어주면 좌심방압을 반영할 수 있다는 것이다Ommen 등<sup>24)</sup>은 100명의 환자에서 외측승모판륜에서 E/E'를 측정된 결과 8이하인 경우 항상 좌심실이완기평균압이 정상이었으며, E/E'가 15를 넘는 경우 항상 좌심실이완기평균압이 상승되어 있다고 하여 좌심실이완기압의 선별적 검사로서 E/E'의 유용성을 보고하였다. 이와 같이 E/E'비는 간편하게 좌심실의 충만압을 평가할 수 있는 지표로, 심장병 환자의 진단이나 치료방침을 결정하는데 있어 임상적으로 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

### 심장내 심초음파(Intracardiac echocardiography, ICE)

최근 초음파 기술의 발달로 심장 내로 초음파를 삽입하여 심장의 미세부분을 관찰할 수 있는 intracardiac echocardiography가 개발이 되었다. Intracardiac AcuNav (Acuson, Mountain View, CA, USA)의 개발로 10 F catheter를 이용

하여 심장 내의 해부, 2D, color, pulsed wave (PW), continuous wave (CW) Doppler imaging을 5,7,8,5,10 MHz 주파수로 영상화하게 되었다. ICE는 interatrial septum을 정확하게 보여주어 septal puncture 시에 도움을 주고, pulmonary vein ablation시 정확한 위치에 대한 정보를 제공하고, 합병증을 줄여준다. 또한 심방중격결손이나 patent foramen ovale (PFO)의 경피적 폐쇄술 시행 시 흔히 ICE가 사용된다. 이들 시술에서 ICE는 다음과 같은 역할을 수행한다.

1. septal defect의 정확한 수와 크기에 대한 정보
2. device closure가 가능할지에 대한 정확한 정보
3. device를 정확한 위치에 positioning 시키는 guide 역할
4. device를 위치 시킨 후 좌우측 disc가 주변 interatrial septum과 잘 opposition이 되었는지 확인

이외에도 ICE는 경피적 승모판막 성형술 등 여러가지 percutaneous intracardiac device의 implantation에 유용하게 사용되어지고 있다. ICE의 장점으로 시술 시 전신마취가 필요없으며, 시술시에 환자가 느끼는 불편감이 거의 없어 장시간 intracardiac monitoring이 필요한 시술에 적합하며, fluoroscopic time을 줄여주며, 여러 시술에 따른 합병증 특히, catheter 주위의 혈전형성이나 cardiac tamponade 등을 조기에 발견하여 적절한 처치를 할 수 있도록 도움을 준다는데 있다.<sup>25)</sup>

### 맺음말

심초음파검사는 간단하면서도 실제 임상에서 많은 정보를 얻을 수 있는 유용한 검사 방법이다. 다른 영상 진단 장치와 더불어 심초음파검사 역시 최근 십여년동안 기술적으로 눈부신 발전을 이루어 왔다. 앞에서 설명한 최신 기술 이외에도 관상동맥예비혈류량 (coronary flow reserve) 측정, Strain rate imaging (SRI), Tissue synchronizing imaging (TSI) 등이 다양한 심장의 구조적, 혈액학적 기능 평가를 위해 개발되어 있으며, 점차 그 이용빈도가 높아지고 있다. 이들 새로운 기법들도 기존에 볼 수 없었던 심초음파 검사의 새로운 임상적 적용을 여는 계기가 될 수 있을 것으로 기대된다.

### References

1. Burns PN, Powers JE, Uhlendorf V, Fritzsche T. Harmonic imaging: principles and preliminary results. *Clin Radiol* 1996;51(suppl 1):50-5.
2. Porter TR, Xie F. Transient myocardial contrast after initial exposure to diagnostic ultrasound pressures with minute doses of intravenously injectedmicrobubbles: demonstration and potential mechanism. *Circulation* 1995;92:2391-5.

3. Armstrong WF, O'Donnell J, Dillon JC, Mchenry PW, Morris SN, Feigenbaum H. Complementary value of two-dimensional exercise echocardiography to routine treadmill exercise testing. *Ann Intern Med* 1986;105:829-35.
4. De Simone R, Glombitza G, Vahl CF, Meinzer HP, Hagl S. Three-dimensional Doppler. Techniques and clinical applications. *Eur Heart J* 1999;20:619-27.
5. Tajik AJ, Seward JB, Haggler DJ, Mair DD, Lie J. Two-dimensional real-time ultrasonic imaging of the heart and great vessels: technique, image orientation, structure identification, and validation. *Mayo Clin Proc* 1978;53:271-303.
6. Skyba DM, Jayaweera AR, Goodman NC, Ismail S, Camarano GP, Kaul S. Quantification of myocardial perfusion with myocardial contrast echocardiography from left atrial injection of contrast: implications for venous injection. *Circulation* 1994;90:1513-21.
7. Wei K, Jayaweera AR, Firoozan S, Linka A, Skyba DM, Kaul S. Quantification of myocardial blood flow with ultrasound induced destruction of microbubbles administered as a constant venous infusion. *Circulation* 1998;97:473-83.
8. Kaul S, Jayaweera AR. Coronary and myocardial blood volumes: noninvasive tools to assess the coronary microcirculation? *Circulation* 1997;96:719-24.
9. Kemper AJ, O Boyle FE, Cohen CA, Taylor A, Parisi AF, Hydrogen peroxide contrast echocardiography: quantification in vivo of myocardial risk area during coronary occlusion and the necrotic area remaining after myocardial reperfusion. *Circulation* 1984;70:309-17.
10. Villanueva FS, Glashieen WP, Sklenar J, Kaul S. Assessment of risk area during coronary occlusion and infarct size after reperfusion with myocardial contrast echocardiography using venous injection of FS - 069, a second - generation echocardiographic contrast agent. *Circulation* 1997;372:1925-35.
11. Sabia PJ, Powers ER, Ragosta M, Sarembock IJ, Burwell LR, Kaul S. An Association between collateral blood flow and myocardial viability in patients with recent myocardial infarction. *N Engl J Med* 1992;372:1925-32.
12. Kaul S, Senior R, Dittrich H, Raval U, Khattar R, Lahiri A. Detection of coronary artery disease using myocardial contrast echocardiography: Comparison with <sup>99m</sup>Tc sestamibi single photon emission computed tomography. *Circulation* 1997;96:785-92.
13. Nosir YF, Fioretti PM, Vletter WB, Boersma E, Salustri A, Postma JT et al. Accurate measurement of left ventricular ejection fraction by three-dimensional echocardiography. A comparison with radionuclide angiography. *Circulation* 1996 Aug 1;94:460-6.
14. Isaza K, Thompson A, Ethevenot G, Cloez JL, Brembilla B, Pernot C. Doppler echocardiographic measurement of low velocity motion of the left ventricular posterior wall. *Am J Cardiol* 1989;64:66-75.
15. Shimizu G, Hirota Y, Kita Y, Kawamura K, Saito T, Gaasch WH. Left ventricular mid-wall mechanics in systemic hypertension. Myocardial function is depressed in pressure-overload hypertrophy. *Circulation* 1991;83:1676-84.
16. Feigenbaum H, Zaky A, Nasser WK. Use of ultrasound to measure left ventricular stroke volume. *Circulation* 1967;38:1092-9.
17. Gulati VK, Katz WE, Follansbee WP, Gorcsan J 3rd. Mitral annular descent velocity by tissue Doppler echocardiography as an index of global left ventricular function. *Am J Cardiol* 1996;77:979-84.
18. Mishiroy Y, Oki T, Yamada H, Wakatsuki T, Ito S. Evaluation of left ventricular contraction abnormalities in patients with dilated cardiomyopathy with the use of pulsed tissue Doppler imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 1999;11:913-29.
19. Sohn DW, Chung WY, Chai IH, Zo JH, Lee MM, Park YB et al. Mitral annulus velocity in the noninvasive estimation of left ventricular peak dP/dt. *Am J Cardiol* 2001;87:933-6.
20. Bach DS, Armstrong WF, Donovan CL, Muller DW. Quantitative Doppler tissue imaging for assessment of regional myocardial velocities during transient ischemia and reperfusion. *Am Heart J* 1996;132:721-5.
21. Derumeaux G, Ovize M, Loufoua J, Andre-Fouet X, Minaire Y, Cribier A et al. Doppler tissue imaging quantitates regional wall motion during myocardial ischemia and reperfusion. *Circulation* 1998;97:1970-7.
22. Sohn DW, Chai IH, Lee DJ, Kim HC, Kim HS, Oh BH et al. Assessment of mitral annulus velocity by Doppler tissue imaging in the evaluation of left ventricular diastolic function. *J Am Coll Cardiol* 1997;30:474-80.
23. Nagueh SF, Middleton KJ, Kopelen HA, Zoghbi WA, Quinones MA. Doppler tissue imaging: a noninvasive technique for evaluation of left ventricular relaxation and estimation of filling pressures. *J Am Coll Cardiol* 1997;30:760-8.
24. Ommen SR, Nishimura RA, Appleton CP, Miller FA, Oh JK, Redfield MM, et al. Clinical utility of Doppler echocardiography and tissue Doppler imaging in the estimation of left ventricular filling pressures. *Circulation* 2000;102:1788-93.
25. Bartel T, Konorza T, Arjumand J, Ebradlidze T, Eggebrecht H, Caspari G et al. Intracardiac echocardiography is superior to conventional monitoring for guiding device closure of interatrial communications. *Circulation* 2003;107:795-97.