

심전도 게이트 심근관류 Tl-201 SPECT로 측정된 좌심실 기능 및 좌심실 용적의 정확성

울산대학교 의과대학 핵의학교실¹, 이화여자대학교 의과대학 목동병원 방사선과²
 서울아산병원 핵의학과³
 배문선^{1,2} · 문대혁^{1,3}

Accuracy of Ventricular Volume and Ejection Fraction Measured by Gated Tl-201 Perfusion Single Photon Emission Tomography

Moonsun Pai, M.D.^{1,2}, Dae Hyuk Moon, M.D.^{1,3}

Department of Nuclear Medicine, University of Ulsan College of Medicine, Seoul, Korea¹

Division of Nuclear Medicine, Department of Radiology, Ewha Womans University College of Medicine, Seoul, Korea²

Department of Nuclear Medicine, Asan Medical Center, Seoul, Korea³

Electrocardiogram-gated single photon emission computed tomography (SPECT) provides valuable information in the assessment of both myocardial perfusion and ventricular function. Tl-201 is a suboptimal isotope for gating. Tl-201 images are more blurred compared with Tc-99m tracers due to the increased amount of scattered photons and use of a smooth filter. The average myocardial count densities are approximately one-half those of conventional technetium tracers. However, Tl-201 is still widely used because of its well-established utility for assessing myocardial perfusion, viability and risk stratification. Gated SPECT with Tl-201 enables us to assess both post-stress and rest left ventricular volume and function. Previous studies with gated Tl-201 SPECT measurements of ejection fraction (EF), end-diastolic volume (EDV), end-systolic volume (ESV) have shown high correlation with first-pass radionuclide angiography, gated blood pool scan, Tc-99m-MIBI gated SPECT, contrast ventriculography, echocardiography, and 3-dimensional magnetic resonance imaging. However, problems related to these studies include few agreement data of EDV and ESV, use of a reference method that is likely to have the same systemic errors (gated Tc-99m-MIBI SPECT), and other technical factors related to the count density of gated SPECT. With optimization of gated imaging protocols and more validation studies, gated Tl-201 SPECT would be an accurate method to provide perfusion and function information in patients with coronary artery disease. (Korean J Nucl Med 39(2):94-99, 2005)

Key Words: Electrocardiogram-gated Tl-210 myocardial perfusion SPECT, Left ventricular volum, Ejection fraction

서 론

심전도-게이트 심근 관류 스펙트 (ECG-gated myocardial perfusion single photon emission computed tomography: gated SPECT, 게이트 SPECT)는 심장 핵의학 영역 중 최근 가장 많이 이용되고 빠르게 발전하는 분야이다. 2003년에 미국에서 시행된 심근 관류 영상중 88.6%를 게이트 SPECT가 차지하고 있다. 이는 게이트 영상획득을 동시에 시행하는

것이 비교적 쉽고 다중헤드 카메라와 컴퓨터의 고속 처리로 이용이 용이해졌기 때문이다. 미국 심장핵의학회(American Society of Nuclear Cardiology)에서는 심근관류 SPECT 시행 시 ECG-gating을 정기적으로 추가할 것을 권장하고있다.^{1,2)} 게이트 SPECT를 사용함으로써 좌심실의 기능과 용적 즉 좌심실구축율(LVEF), 좌심실 확장기말 용적(EDV), 좌심실 수축기말 용적(ESV) 들을 정량적으로 구할 수 있게 되어 진단성능 및 예후 예측의 향상도 가져왔다.

Tl-201은 Tc-99m 표지 심근 관류 방사성의약품에 비하여 산란이 많고, 심근의 계수가 Tc-99m의 1/2 정도로 낮아서 게이트 SPECT에는 Tc-99m에 비하여 적당하지 않다.³⁾ 실제로 Tl-201을 이용한 게이트 SPECT로 얻은 연구는 Tc-99m에 비하여 제한되어 있다. 그러나 Tl-201은 심근의 관류, 생존심근의 판정, 예후의 평가 등에 있어서, 매우 잘

• Received: 2005. 3. 8. • Accepted: 2005. 4. 14.
 • Address for reprints: Dae Hyuk Moon, M.D., Department of Nuclear Medicine Asan Medical Center, #388-1 Pungnap-2dong, Songpa-gu Seoul 138-736, Korea
 Tel: 82-2-3010-4590, Fax: 82-2-3010-4588
 E-mail: dhmoon@amc.seoul.kr

알려진 방사성의약품으로 여전히 많이 사용되고 있다. Tc-99m 방사성의약품에 비하여 잘 알려진 여러 장점 이외에, Tl-201 SPECT는 부하 후 5~10분 내로 검사가 시행되므로, 부하에 의한 심근의 확장을 잘 진단할 수 있고,⁴⁾ 따라서 다혈관질환 진단에 있어 도움이 된다.^{5,6)} 게이트 SPECT는 임상 이용 등에 대한 여러 문헌이 많이 보고되어 있고, 종설 또한 많이 나와 있다. 본 종설에서는 일반적인 내용의 반복을 피하고, Tl-201 게이트 SPECT의 좌심실 기능 측정에 초점을 맞춰서 정확성에 미칠 수 있는 SPECT영상의 획득, 영상처리 등의 기술적인 면과, 정확성에 초점을 두어 기술을하고자 한다. 영상획득과 처리는 American Society of Nuclear Cardiology 의 권고안을 따라 기술하였다.⁷⁾ 더 자세한 기술적인 면에서의 기술은 다른 논문을 참고할 것을 권고한다.^{8,9)}

영상 획득

기본적으로 게이트 SPECT는 보통의 SPECT 데이터 획득과 동일하다. 차이점은 각 카메라 각도마다 하나가 아닌 8~16개의 투사영상을 얻는다는 것이다. 이 영상들은 환자의 심장 수축 주기의 특정 시기를 나타내며 이로써 얻어진 좌심실의 위치와 카운트 분포를 빠른 동영상으로 보여주어 심장 수축주기에 따른 좌심근의 삼차원의 단층 영상을 만들어낸다. 이론적으로 게이트 간격 즉 프레임수가 많을수록 심근의 움직임과 용량의 변화를 추적하기 쉽겠지만 이것은 각 투사영상에 필요한 계수를 충족하는 일과 상쇄된다. 앞서 언급한 바와 같이 Tl-201의 계수는 Tc-99m의 계수의 1/2 이하이기 때문에 특히 충분한 계수를 얻는데 필요한 요건을 충족시키는 것이 필요하다. 계수에 영향을 주는 요인으로는 사용된 동위원소의 종류, 투여량, 영상획득 시간, 환자 체중, 카메라 구성형태와 예민도, 프레임 수, count acceptance criteria 등이다.

Tl-201의 투여량은 3~4.5 mCi를 사용하는데, 체중에 따라서 그 양을 조절하여야 한다. 일반적으로 70 Kg을 기본으로 하여 3 mCi를 사용하고, 0.04 mCi/kg씩 양을 늘려서 사용한다. 영상의 획득 시간은 배후 방사능을 뺀 심장에서의 계수가 50만 이상이 되도록 시간을 정할 수 있다. 영상획득 시간은 환자가 움직이지 않고, 검사를 할 수 있는 시간을 고려하여야 하는데, 대부분의 연구에서는 20분 내외이며, 최대 30분 이내여야 한다. 조준기는 Tl-201 게이트 SPECT가 계수가 낮기 때문에 저에너지범용조준기가 권장된다. 고해상도 조준기는 Tc-99m과 같이 계수가 높은 경우에 사용되며, Tl-201과 Tc-99m을 모두 사용하는 이중검사법의 경우 사용될 수 있다. 화소는 64×64 행렬로 화소의 크기는 6 mm내외

가 대부분 사용된다. 심장이 작은 경우 심수축기 용적이 매우 작게 측정될 수 있어서, 충분한 양의 계수가 보장된다면, 보다 더 작은 화소를 사용할 수 있다. 영상 획득은 180°를 얻는데, Tl-201은 후면상이 가지는 감쇠와 낮은 해상력의 영향이 특히 더 크기 때문이다. 32 내지 64 투사영상을 얻을 수 있는데, 저에너지범용조준기를 사용하는 Tl-201 게이트 스펙트는 32 투사영상으로 충분하다. 부하영상상와 안정영상은 다르기 때문에 부하와 안정시 모두에서 게이트 SPECT를 얻어야 한다.

심전도 게이트

게이트 SPECT에서 가장 중요한 요건은 게이트 SPECT에서 좌심실의 기능과 용적에 대한 정보를 얻기 위하여 관류영상에 영향을 주지 않아야 한다는 것이다. 게이트 영상 획득시 부정맥에 의하여 영상획득이 되지 않은 경우에는 심근관류영상이 정확하지 않게 된다. 따라서 게이트 영상 획득의 방법, 영상 기기, 소프트웨어 등을 점검하여, 각 병원에 맞는 게이트 영상획득 방법을 정하여야 한다.

게이트 SPECT는 각 심장 박동시의 영상을 8개의 단위로 나누어 영상을 획득한다. 이 때에 심장박동기간의 창을 설정하여 심장박동시의 계수를 얻어 게이트 SPECT의 영상을 얻는다. 그러나 R-R 간격은 계속 변하므로 계수 과정에서 생기는 카운트 소실을 방지하기 위하여 어느 정도의 허용범위를 정하게 되며, 보통 20%의 창(±10%) 내에 있는 심장박동시의 영상계수를 얻는다. 그러나, 부정맥이 심한 경우에는 많은 영상 자료가 획득되지 않아서 심근관류에 영향을 주며, 게이트 심근 SPECT의 정량 수치에도 오차가 발생한다. 즉 심근박동기간의 허용범위를 좁히면 게이트 SPECT자료를 더 좋아지나, 심근 관류 영상에 영향이 커지고, 허용범위가 넓어지면 심근관류영상에는 영향이 없으나, 게이트 SPECT자료에 오차가 커진다. 따라서 해당 검사기에 게이트 영상 획득시 동시에 게이트 영상이 아닌 심근관류영상을 위한 투사영상을 따로 저장할 수 있는지에 따라 게이트 영상 획득이 달라져야 한다. 게이트 SPECT를 하지 않은 심근관류영상을 따로 저장하는 경우에는 20%(±10%)의 창을 사용하며, 따로 저장하지 않고, 게이트 SPECT의 자료를 더하여 심근관류 SPECT영상을 만드는 경우에는 부정맥에 의하여 영상획득 자료가 소실되는 것을 막기 위하여 100% (±50%)의 창을 열어야 한다. 그러나, 아주 심한 부정맥환자에서는 게이트를 하지 않은 SPECT가 최선의 검사 방법일 수 있다. 이러한 게이트 SPECT의 문제는 투사 영상간에도 차이가 생길 수가 있기 때문에 투사 영상간에 얻은 게이트 자

료를 면밀히 분석하여 투사영상간의 차이가 있는지를 검토하는 것이 필요하며, 특히 프로젝션 당 고정 계수로 영상을 얻을 때 고정 시간을 적용할 때에는 보다 문제가 심각해질 수 있으므로 주의하여야 한다.

심근박동기간의 창을 넓게 연 경우에는 부정맥에 의하여 심기능 지표가 부정확 할 수 있으므로, 영상 획득시의 심전도와 심박동수의 변화를 직접 측정하거나, 영상 획득 후 8개 영상 단위 간의 획득된 박동수, 계수를 분석하여야 한다. 부정맥의 정도가 6번 박동 시마다 1개 이상의 경우에는 게이트 SPECT가 부정확 하다고 판단하는 병원도 있다.

부정맥이 있는 환자에서 심장박동기간의 허용범위를 넓게 잡아 놓으면 충분한 양이 계수 되지만 잘못된 위치의 프레임으로 할당이 된다. 전형적인 예로 count drop-off phenomenon을 들 수 있는데, 이는 심박이 짧을 때 후반부의 게이팅 간격에서는 계수가 되지 않는 현상이다. 따라서 동영상에서는 깜빡거림이 발생한다. 이렇게 되면 이완기 용적 측정이 부정확해진다. 심박주기가 변하면 특히 이완기 기능 평가가 어려운데 이는 수축기 시간은 고정되어있는 반면 이완기는 변화가 심하기 때문이다. 따라서 심방 조동이 있는 경우에도 게이트 스펙트가 수축기 기능은 비교적 정확하게 측정하는 이유가 된다. 또한, extra-beat후에 따라오는 수축기 기능은 향진되어 있기 때문에 부정맥과 이후에 따라오는 심박을 제외해 주어야 수축기 기능 평가도 정확해진다. 부정맥이 미치는 영향에 대한 자세한 기술을 한 논문을 참조하는 것이 좋다.^{9,10)}

게이트 SPECT 영상처리

영상처리 filter의 선택은 해상력을 유지하면서, 영상의 잡음을 적게 하는가가 목적이다. 따라서 게이트 SPECT의 filter는 게이트를 하지 않은 SPECT와 다르며, Tl-201의 경우 부하와 안정시가 다를 수 있다. 이러한 filter의 선택은 위양성, 위음성에 직접적인 영향을 미칠 수 있기 때문에 환자에 따라 달리 적용하는 것 보다는 모든 환자에게서 같은 filter를 선정하여 적용하는 것이 권고된다. 자세한 filter나 영상 재구성 방법에 대한 것은 본 논문의 범위를 벗어나므로, 생략하고자 한다.

영상을 재구성한 후에는 판독에 앞서서 영상처리 전의 투사 영상을 영화 화면 표시 방법으로 돌려보아야 한다. 게이트 방법에 문제가 있을 경우 투사 영상 간의 계수가 달라서 이를 발견할 수 있다. 그러나, 이 투사영상은 각 투사영상내의 모든 게이트 단위의 합이기 때문에 일시적으로 생기는 부정맥에 의한 영향을 평가하기 위해서는 모든 투사영상의 계

수를 도면으로 표시하여 보는 것이 좋다.

좌심실 기능의 정량 소프트웨어

게이트 관류 스펙트는 심기능의 지표들을 정량적으로 나타내는데 수축기 기능 지표로는 LVEF, EDV, ESV 등이고 이완기 기능 지표로는 PFR (peak filling rate), TPFR (time to PFR), PER (peak ejection rate), TPER (time to PER), mean filling fraction (1/3 FF)이 있다. 좌심실기능의 국소 지표로는 심근벽운동(WM) 과 심근 비후(WT) 가 있으며 이들은 분절 모델을 사용하여 반정량적으로 점수화하여 나타내고 이들을 합하여 summed wall motion score와 summed wall thickening score로 나타낸다. 그 외에 이완기말 관류 상태를 정량화 할 수 있어 미약한 관류 결손을 찾아낼 수 있고 transient ischemic dilation (TID)을 정량화하여 측정할 수 있다. 최근 게이트 SPECT에서 심기능 지표들을 측정하는 많은 알고리즘들이 개발되었으며 그 중 가장 많이 쓰이는 네 가지 방법은 QGS (Cedars-Sinai's software or Quantitative Gated SPECT), ECT (Emory University's software, Emory Cardiac Toolbox), 4D- MSPECT (University of Michigan's software), Yale University's software이다. 이 중에서 우리나라에서는 많이 사용되고 정량결과가 보고된 것은 QGS와 4D-MSPECT이다.

QGS는 완전 자동화된 방식으로 게이트된 short-axis 데이터를 쌓아 삼차원 영상을 만들어 이용한다. 첫번째 단계로 좌심실 심근의 automatic segmentation (initial heuristic thresholding, binarization, clusterification, cluster refinement)을 거치고 이런 반복 과정은 기대되는 좌심실의 크기와 모양, 위치가 정해지면 끝난다. 좌심실이 분리되었으면 그 중심을 자동적으로 정하고 구형 표본 모델에 근거해서 반경을 그린다. 모든 반경 중 최대치인 지점이 삼차원상의 첫번째 중간 심근(mid-myocardium) 표면이 된다. 이것은 다시 타원형으로 구성되어 방사선을 그리고 count profile을 측정한다. 이 count profile 은 Gaussian curve로 변형되어 Gaussian의 최대치가 최종 심근 중앙 표면을 나타낸다. 심내막과 심외막은 Gaussian의 표준편차로 결정되고 벨브면은 최대 심기저부를 잇는 면으로 결정된다. 심근양을 심근 주기 내내 일정하게 유지하면서 계속해서 심내막과 심외막을 다듬어 나간다. 관류 결손 부위에도 심근 표면을 정확하게 결정할 수 있는데 그 이유는 Gaussian fitting은 분절별로 작동되지만 threshold는 없기 때문에 육안으로 보이지 않는 아주 낮은 관류도 감지하며 관류 결손부위는 인접부위로 외삽하여 삼차원 심근 표면의 연속성을 유지하도록 하기 때문이다.

Table 1. Patients and Acquisition Methods of Tl-201 gated SPECT Studies

Author	Disease	No. of Patient	Tl-201 Dose (mCi)	No. of Detector	Collimator	ProjectionNo/time (sec)
Germano ¹⁶⁾		121	3-3.5	2	LEHR	64/35
Maunoury ¹⁷⁾		104	3	2	LEHR	32/50
Tademura ¹⁵⁾		20	3+1	2	LEHR	30/60
Vera ¹¹⁾	AMI	32	5	2	LEHR	32/120
Manrique ¹³⁾	Prior MI	50	5	2	LEHR	32/120
DePuey ¹⁸⁾	Prior MI	33	3.5	2	LEAP	32/55
Bacher-Sifer ¹⁹⁾	Suspected CAD	57	3	2	LEAP	? /30
He ²⁰⁾		63	3	2	LEHR	64/30
Manrique ¹²⁾	Prior MI	55	5	2	LEHR	32/120
Cwajg ²¹⁾		109	3	2	LEHR	64/30
Lee ²²⁾	Suspected CAD	20	3	2	VXHR	64/25
Wright ¹⁴⁾	Suspected CAD	70	1.5	1	LEHS	32/40
Ittf ²³⁾	Prior MI	50	3	1	LEAP	30/40
Hyun ²⁴⁾		30	3-4	2	LEHR	60/30

AMI = acute myocardial infarction, MI = myocardial infarction, CAD = coronary artery disease, LEHR = low energy high resolution, LEAP = low energy all purpose, LEHS = low energy high sensitivity

Table 2. Measured Left Ventricular Functional Parameters of Gated Tl-201 Studies

Author	Software	Comparison	No. of frame	Tl-201 Imaging	Measured LV parameters
Germano ¹⁶⁾	QGS	MIBI SPECT	8	rest	EF
Maunoury ¹⁷⁾	SMV	MIBI SPECT	8	rest	EF, EDV, ESV
Tademura ¹⁵⁾	QGS	MRI	8	RI	EF, EDV, ESV
Vera ¹¹⁾	SMV	ERNA, LVG	8	rest	EF, EDV, ESV
Manrique ¹³⁾	QGS	ERNA	8	rest	EF
DePuey ¹⁸⁾		MIBI SPECT	8	RD	EF
Bacher-Sifer ¹⁹⁾	QGS	2D-Echo	8	Ex/Di	EF
He ²⁰⁾	QGS			RD	
Manrique ¹²⁾		FPRNA	8	rest	EF
Cwajg ²¹⁾	QGS	ERNA	8 / 16	rest	EF
Lee ²²⁾	QGS	2D-Echo	8	Ex/Ad	EF, EDV, ESV
Wright ¹⁴⁾	QGS			RD	
Ittf ²³⁾		MIBI SPECT	16	rest	EF, EDV, ESV
Hyun ²⁴⁾	QGS	ERNA	8	Ex/RD	EF
	QGS	ERNA	8	Rest/RD	EF
	QGS	MIBI SPECT	8	rest	EF, EDV, ESV

QGS = Quantitative Gated SPECT (Cedars-Sinai Medical Center), MIBI = sestamibi, SPECT = single photon emission computed tomography, MRI = magnetic resonance imaging, ERNA = equilibrium radionuclide angiography, LVG = left ventriculography, 2D-Echo = two-dimensional echocardiography, FPRNA = single pass radionuclide angiography, RI = reinjection, RD = redistribution, Ex= exercise, Ad = adenosine stress, LV = left ventricle, EF = ejection fraction, EDV = end-diastolic volume, ESV = end-systolic volume

각 게이트 주기마다 심내막과 심외막 벨브면을 측정하고 심내막과 벨브면 안에 들어오는 voxel의 부피와 그 수를 곱하여 좌심실내 용적을 계산한다. 이 중 가장 큰 것이 이완기말 용적이고 가장 작은 것이 수축기말 용적이다. 국소벽운동은 삼차원 심내막 표면의 이완기말에서 수축기말까지의 운동으로 측정된다. 분절 벽 비후는 심외막과 심내막사이의 거리 (geometric) 부분 용적효과에 의한 계수 증가(count)를 고려하여 계산된다. 국소벽운동과 분절 벽 비후는 정상군 데이터베이스에 근거하여 자동으로 점수가 매겨진다.

4D-MSPECT의 표면 추정 알고리즘은 분절영상 및 연속성 제한과 함께 이차원의 기울기 연산자를 사용하여 심내막

과 심외막의 최초 추정 표면을 만들어낸다. 최초 표면 경계면에 강도프로파일을 측정하여 가중치를 둔다. 이 가중치와 추정된 심장 곡면을 이용하여 관류 결손 등의 데이터 결손 부위를 채운다. 새로 형성된 심장 표면에 강도프로파일을 그려 Gaussian fit를 사용하여 최대 계수점을 찾고 심근 두께를 추정해낸다. 해상도의 한계를 보정하기 위하여 이완기말 심근두께를 평균 1cm이 되도록 일정비율로 조정한다. 여기에서 나온 scale factor는 심근 주기중 심근 양을 일정하게 유지하도록 심근 두께를 조절한다. 심내막 표면을 이용해 용적 곡선을 만들어낸다. 이 곡선에서 LVEF와 심박출량, 이완기말과 수축기말 용적을 구한다. 4D-MSPECT는 국소 심근 벽

Table 3. Accuracy of Left Ventricular Ejection Fraction and Volume measured by Tl-201 Gated SPECT

Author	EF (%)			EDV (ml)			ESV (ml)		
	r	SEE	SD	r	SEE	SD	r	SEE	SD
Germano ¹⁶⁾	0.91								
Maunoury ¹⁷⁾	0.93			0.92			0.96		
Tademura ¹⁵⁾	0.92	1.2	5.7	0.85	2.3	18.4	0.94	4.2	10.3
Vera ¹¹⁾	0.7		10.5						
Manrique ¹³⁾	0.76	2.3	7.4						
DePuey ¹⁸⁾	0.91								
Bacher-Sifer ¹⁹⁾	0.86								
Ho ²⁰⁾	0.84								
Manrique ¹²⁾	0.94		5						
Cwajg ²¹⁾	0.75			0.86			0.85		
Lee ²²⁾	0.87		6	0.96		15.5	0.97		11.5
Wright ¹⁴⁾	0.71		16						
Ithi ²³⁾	0.88		6.4						
Hyun ²⁴⁾			5.2			12.0			9.3

*Hyun et al.: Repeatability data

r = Pearson's correlation coefficient between the gold standard and gated SPECT measurement, SEE = standard error of estimate of the difference between the gold standard and gated SPECT measurement, SD = standard deviation of the difference between the gold standard and gated SPECT measurement

운동과 심근 벽 비후를 데이터 베이스와 비교하여 분절별 점수를 나타내는 이차원과 삼차원 지도를 제공하며 육안분석을 위해 이차원과 삼차원의 동영상상을 제공한다.

TI-201 게이트 SPECT로 측정된 좌심실 기능지표

Table 1-3에 현재까지 보고된 TI-201 게이트 SPECT로 측정된 좌심실 기능의 지표에 대한 연구결과를 요약하였다. Table 1에는 게이트 SPECT의 대상 환자 및 영상획득 방법을 요약하였다. 일부의 연구에는 사용되고 있는 TI-201의 방사능이 권고되고 있는 양보다 높거나,¹¹⁻¹³⁾ 낮으며,¹⁴⁾ 영상획득 시간도 일부의 연구에서는 30분을 초과한다.¹¹⁻¹³⁾ 따라서 이러한 연구에서의 결과를 통상적인 영상획득 방법에도 같이 적용될 수 있을 지에 대한 의문이 있다. 또한 대부분의 연구에서 고해상 조준기를 사용하였다. 고해상 조준기의 경우 계수의 예민도가 범용 조준기에 비하여 약 1/2 내지 2/3이므로, 충분한 계수가 보장되지 않은 상태에서 검사가 되었다고 할 수 있다.

Table 2에는 좌심실 기능 지표를 측정하기 위한 방법에 대한 요약이 기술되어 있다. 사용된 정량측정 방법은 QGS로서, 다른 측정법에 대한 연구는 없다고 할 수 있다. TI-201 게이트 SPECT에서의 결과를 비교하기 위한 참고 측정방법으로는 Tc-99m MIBI SPECT가 가장 많고, 다음으로 게이트혈액풀신티그라피, 심에코가 있다. Tc-99m MIBI SPECT는 많은 연구가 이루어진 방법이지만, 최근의 자기공명영상을 금과옥조로 연구들의 결과를 보면, 그 정확성에 있

어서 의문점이 제기 되고 있는 만큼, 같은 게이트 SPECT방법을 금과옥조로 삼아 비교한 연구의 결과를 신뢰하기 어렵다. 게이트혈액풀신티그라피의 경우에는 심실용적을 측정할 수 없는 문제가 있고, 심에코는 반복측정시의 재현성이 낮고, 심실용적을 낮게 측정하는 경향이 있는 문제가 있다. 현재 가장 정확한 금과옥조로 여겨지는 자기공명영상을 비교한 연구는 하나에 불과하며, 검사 수도 20명에 불과한 문제가 있다.¹⁵⁾ TI-201을 주사한 시기는 대부분이 안정 시에 주사하였고, 부하 시에 주사를 한 경우는 적다. 부하시의 영상은 부하 시에 관동맥질환이 있을 경우 심실확장이나, 심 기능 저하를 판단할 수 있기 때문에 매우 유용하며, 안정 시보다 계수가 높아서 유용한 게이트 SPECT 결과를 얻을 수 있다. 측정하여 검증한 좌심실 지표도 대부분 LVEF이며, EDV, ESV를 평가한 연구는 적다.

Table 3에는 측정된 TI-201 게이트 SPECT의 정확성에 대한 자료를 요약하였다. 대부분의 연구가 상관계수를 구하였다. 그러나 상관계수가 높다는 사실만으로 금과옥조인 방법을 대신하여 사용할 수 있다는 결론은 내릴 수 없다. 차이에 대한 표준오차와 표준편차를 구하여 두 측정치 사이의 차이의 평균과 실제차이가 어떤 분포를 하며, 어떤 신뢰구간 내에 있는지를 측정하여야 하지만, 상당수의 연구는 이러한 자료가 없다. 더욱이 EDV, ESV를 평가하지 않아서, 이에 대한 어떤 결론을 내리기 어렵다. LVEF와 EDV, ESV를 측정하는데 있어서 혼란요인이 될 수 있는 관류 결손, 배후방사능, 주사후 경과시간, 주사량 및 각 정량측정 방법이 가지는 여러 가정에 대한 문제점 등이 모두 다 잘 밝혀져 있다고 할 수 없다.

앞서 기술한 대로 현재 까지 Tl-201 게이트 SPECT의 심실 기능의 지표를 측정할 결과는 여러 가지의 제한 점을 가지고 있다. 따라서 현재까지의 결과 만을 가지고, Tl-201 게이트 SPECT의 정확성에 대한 어떤 결론을 내리기 어렵다고 생각한다. 이는 앞으로의 많은 임상 연구를 통하여 밝혀질 것이 많다는 것을 의미한다.

References

- Bateman T, Berman D, Heller G, Brown K, Cerqueira M, Verani M, et al. American Society of Nuclear Cardiology position statement on electrocardiographic gating of myocardial perfusion SPECT scintigrams. *J Nucl Cardiol* 1999;6:470-1.
- American Society of Nuclear Cardiology. Imaging guidelines for nuclear cardiology procedures, part 2. *J Nucl Cardiol* 1999;6:G47-84.
- Germano G, Berman DS. Acquisition and processing for gated perfusion SPECT : technical aspects. In: Germano G, Berman DS, eds. Clinical gated cardiac SPECT. Armonk, NY: Futura Publishing Company, Inc.; 1999:93-113.
- Weiss A, Berman D, Lew A, Nielsen J, Potkin B, Swan H, et al. Transient ischemic dilatation of the left ventricle on stress thallium-201 scintigraphy: a marker of severe and extensive coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1987;9:752-9.
- Yamagishi H, Shirai N, Yoshiyama M, Teragaki M, Akioka K, Takeuchi K, et al. Incremental value of left ventricular ejection fraction for detection of multivessel coronary artery disease in exercise (201)Tl gated myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med* 2002;43:131-9.
- Shirai N, Yamagishi H, Yoshiyama M, Teragaki M, Akioka K, Takeuchi K, et al. Incremental value of assessment of regional wall motion for detection of multivessel coronary artery disease in exercise (201)Tl gated myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med* 2002;43:443-50.
- American Society of Nuclear Cardiology. Updated imaging guidelines for nuclear cardiology procedures, part 1. *J Nucl Cardiol* 2001;8:G5-G58.
- Cullom SJ, Case JA, Bateman TM. Electrocardiographically gated myocardial perfusion SPECT: technical principles and quality control considerations. *J Nucl Cardiol* 1998;5:418-25.
- Germano G. Technical aspects of myocardial SPECT imaging. *J Nucl Med* 2001;42:1499-1507.
- Nichols K, Yao SS, Kamran M, Faber TL, Cooke CD, DePuey EG. Clinical impact of arrhythmias on gated SPECT cardiac myocardial perfusion and function assessment. *J Nucl Cardiol* 2001;8:19-30.
- Vera P, Manrique A, Pontvianne V, Hitzel A, Koning R, Cribier A. Thallium-gated SPECT in patients with major myocardial infarction: effect of filtering and zooming in comparison with equilibrium radionuclide imaging and left ventriculography. *J Nucl Med* 1999;40:513-21.
- Manrique A, Vera P, Faraggi M, Le Guludec D. Left ventricular ejection fraction and gated SPECT. *J Nucl Med* 2000;41:1120-2.
- Manrique A, Faraggi M, Vera P, Vilain D, Lebtahi R, Cribier A, et al. 201Tl and 99mTc-MIBI gated SPECT in patients with large perfusion defects and left ventricular dysfunction: comparison with equilibrium radionuclide angiography. *J Nucl Med* 1999;40:805-9.
- Wright GA, McDade M, Keeble W, Martin W, Hutton I. Quantitative gated SPECT myocardial perfusion imaging with 201Tl: an assessment of the limitations. *Nucl Med Commun* 2000;21:1147-51.
- Tadamura E, Kudoh T, Motooka M, Inubushi M, Shirakawa S, Hattori N, et al. Assessment of regional and global left ventricular function by reinjection Tl-201 and rest Tc-99m sestamibi ECG-gated SPECT: comparison with three-dimensional magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 1999;33:991-7.
- Germano G, Erel J, Kiat H, Kavanagh PB, Berman DS. Quantitative LVEF and qualitative regional function from gated thallium-201 perfusion SPECT. *J Nucl Med* 1997;38:749-54.
- Maunoury C, Chen CC, Chua KB, Thompson CJ. Quantification of left ventricular function with thallium-201 and technetium-99m-sestamibi myocardial gated SPECT. *J Nucl Med* 1997;38:958-61.
- DePuey EG, Parmett S, Ghesani M, Rozanski A, Nichols K, Salensky H. Comparison of Tc-99m sestamibi and Tl-201 gated perfusion SPECT. *J Nucl Cardiol* 1999;6:278-85.
- Bacher-Stier C, Muller S, Pachinger O, Strolz S, Erler H, Moncayo R, et al. Thallium-201 gated single-photon emission tomography for the assessment of left ventricular ejection fraction and regional wall motion abnormalities in comparison with two-dimensional echocardiography. *Eur J Nucl Med* 1999;26:1533-40.
- He ZX, Cwajg E, Preslar JS, Mahmarian JJ, Verani MS. Accuracy of left ventricular ejection fraction determined by gated myocardial perfusion SPECT with Tl-201 and Tc-99m sestamibi: comparison with first-pass radionuclide angiography. *J Nucl Cardiol* 1999;6:412-7.
- Cwajg E, Cwajg J, Keng F, He ZX, Nagueh S, Verani MS. Comparison of global and regional left ventricular function assessed by gated-SPECT and 2-D echocardiography. *Rev Port Cardiol* 2000;19 Suppl 1:139-46.
- Lee DS, Cheon GJ, Ahn JY, Chung JK, Lee MC. Reproducibility of assessment of myocardial function using gated 99Tc(m)-MIBI SPECT and quantitative software. *Nucl Med Commun* 2000;21:1127-34.
- Itti E, Rosso J, Damien P, Auffret M, Thirion JP, Meignan M. Assessment of ejection fraction with Tl-201 gated SPECT in myocardial infarction: Precision in a rest-redistribution study and accuracy versus planar angiography. *J Nucl Cardiol* 2001;8:31-9.
- Hyun IY, Kwan J, Park KS, Lee WH. Reproducibility of Tl-201 and Tc-99m sestamibi gated myocardial perfusion SPECT measurement of myocardial function. *J Nucl Cardiol* 2001;8:182-7.