

게이트 심근관류 SPECT를 이용한 심기능 분석: 정량분석 소프트웨어 QGS, 4D-MSPECT 및 심초음파법의 비교

인제대학교 의과대학 핵의학교실
이석모 · 배상균

Analysis of Myocardial Function Using Gated Myocardial SPECT : Comparison of QGS, 4D-MSPECT Software and Echocardiography

Seok Mo Lee, M.D. and Sang Kyun Bae, M.D.

Department of Nuclear Medicine, Inje University College of Medicine, Busan, Korea

Purpose: Gated myocardial perfusion SPECT provides not only myocardial perfusion status but also various functional parameters of left ventricle. We compared left ventricular ejection fraction, end-diastolic volume, LV mass by cardiac SPECT using Quantitative Gated SPECT (QGS), 4D-MSPECT software and standard 2D-echocardiography. **Materials and Methods:** One hundred fourteen patients (male 51, female 63; 29-85 years old, mean 61.3 ± 13.3 years old) with normal perfusion status on Tc-99m tetrofosmin gated myocardial perfusion SPECT were analyzed retrospectively. Ejection fraction (LVEF), End-diastolic volume (LVED), LV mass (LVM) were calculated using QGS, 4D-MSPECT, and LVEF, LVM using 2D-echocardiography. Statistical analysis including Bland-Altman plot was performed using MedCalc[®] (MedCalc software, Mariakerke, Belgium). **Results:** The correlation of LVEF between methods was good: 0.95/0.96 (stress/rest) between QGS and 4D-MSPECT, 0.79 between QGS and echocardiography, 0.79 between 4D-MSPECT and echocardiography ($p < 0.001$). Using Bland-Altman plot, the 95% confidence interval of agreement between QGS and 4D-MSPECT ranged from -12.7% to 7.3% / from -12.2% to 6.5% (stress/rest). The agreement between QGS and echocardiography, 4D-MSPECT and echocardiography ranged from -17.4% to 24.0%, and -14.8% to 27.0% respectively. The correlation of LVM between methods was also good: 0.95 between QGS and 4D-MSPECT, 0.76 between QGS and echocardiography, 0.73 between 4D-MSPECT and echocardiography ($p < 0.001$). The 95% confidence interval of agreement between QGS and 4D-MSPECT ranged from -33.8 g to 14.1 g (stress/rest). The 95% confidence interval of agreement between QGS and echocardiography, 4D-MSPECT and echocardiography ranged from -148.7 g to 21.8. g, and -142.8 g to 35.5 g, respectively. **Conclusion:** There was a good correlation for LVEF, LVED, LVM among methods (QGS, 4D-MSPECT, echocardiography), but the variance between methods was big. Therefore, the functional parameters by each method cannot be used interchangeably. (Nucl Med Mol Imaging 2008;42(6):435-443)

Key Words: Tc-99m tetrofosmin gated myocardial perfusion SPECT, QGS, 4D-MSPECT, echocardiography

서 론

게이트 심근관류 SPECT는 심근관류 소견뿐 아니라 좌심실의 벽운동, 벽의 두꺼워짐, 좌심실용적, 좌심실 박출율 등의 정보도 제공함으로써 관동맥질환 환자의 진단과 예후 평가에 중요한 역할을 한다. 관동맥질환의 진단에 있어 심근관류상태와 함께 좌심실의 기능평가는 환자의 상태와 예후를 평가하는데 중요하다.¹⁾ 게이트 심근관류 SPECT 영상을 정량분석하기 위한 몇 가지 소프트웨어가 소개되어있고, 이러한 소프트웨어를 이용한 정량분석과 심초음파, 자기공명영상 등 다른 검사의 정량분

• Received: 2008. 7. 28. • Revised: 2008. 11. 3.

• Accepted: 2008. 11. 13.

• Address for reprints: Sang Kyun Bae, M.D., Department of Nuclear Medicine, Inje University College of Medicine, 633-165 Gaegum-Dong, Busanjin-Gu, Busan 614-735, Korea
Tel: 82-51-890-6318, Fax: 82-51-895-2353
E-mail: sbae@inje.ac.kr

※ 본 논문은 2003년 인제대학교 학술연구조성비 보조에 의한 것임
(This work was supported by the 2003 Inje University Research Grant.)

Table 1. Comparison between QGS and 4D-MSPECT

	Stress EF (%)		Rest EF (%)		Stress EDV (ml)		Rest EDV (ml)		LVM (g)	
	QGS	4DM	QGS	4DM	QGS	4DM	QGS	4DM	QGS	4DM
Mean±SD	57.9±16.7	60.6±17.2	60.2±17.2	63.1±17.4	105.8±52.1	116.8±56.2	102.7±55.9	113.9±57.6	135.3±41	145.1±38.4
Bland-Altman limit	LL:-12.7 UL:7.3		LL:-12.2 UL:6.5		LL:-24.6 UL:3.8		LL:-28.6 UL:6.1		LL:-33.8 UL:14.1	

*QGS : Quantitative Gated SPECT, 4DM : 4D-MSPECT

† EF : ejection fraction, EDV : end diastolic volume, LVM : left ventricular mass

‡ LL : lower limit, UL : upper limit

§Bland-Altman limit : 95% confidence interval

석 결과와 비교 연구된 바 있다.²⁻⁸⁾ 하지만, 이들 연구는 대부분 상관관계수만을 구한 것으로 최근 Bland-Altman 분석결과 상호 호환 여부에 대해서는 부정적인 결과가 있다. 또, 이들 연구가 서양인을 대상으로 연구된 것으로 국내에서 이들 소프트웨어 사이의 비교연구나 일반 진료에서 흔히 사용되는 심초음파 검사와의 비교연구는 드물었다.^{9,10)} 저자들은 심근관류 SPECT에서 뚜렷한 관류결손이 없는 사람들의 자료를 대상으로 게이트 심근관류분석프로그램인 Quantitative Gated SPECT (QGS), 4D-MSPECT 소프트웨어를 이용하여 측정된 좌심실 박출율, 확장기말 좌심실 용적, 좌심근 질량 간의 상관관계 및 일치도, 또 이들 자료와 이면성 심초음파 검사법을 이용하여 측정된 좌심실 박출율과 좌심근 질량과의 상관관계 및 일치도를 분석하였다.

대상 및 방법

핵의학과에 심근관류 SPECT 검사를 위해 의뢰되었던 환자 중 심근관류 SPECT에서 관류소견이 정상이었던 114명(남자 51명, 여자 63명, 평균 61.3±13.3세, 29-85세)을 대상으로 후향적 연구를 시행하였다. 게이트 심근관류 SPECT는 아테노신을 이용한 약물부하(0.14 mg/kg/min)를 6분간 시행하면서 3분제에 Tc-99m tetrofosmin (296 MBq)를 정맥주사하고 1시간 후에 부하기 영상을 얻었다. 4시간 후 Tc-99m tetrofosmin (925 MBq)을 정맥주사하고 다시 1시간 후에 휴식기 영상을 얻었다. SPECT 영상은 이중 헤드 감마카메라 (Forte™ JETSTREAM®, Philips, USA)를 사용하여 투사 영상당 64×64 행렬 크기, 64 angle, 25초/angle의 조건으로 우전사위(RAO) 45도에서 좌후사위(LPO) 45도 사이에서 얻었으며, 배율은 1.46배를 사용하였다. 또한 심박주기당 16 프레임으로 게이팅 자료를 획득하였다. 획득된 영상은 Pegasys 워크스테이션(ADAC Laboratories, Milpitas, CA, USA)에서 Butterworth 필터(cut-off frequency 0.5 Nyquist; order 5.0)를 이용하여 횡 단면상을 얻고, 이를 재정위하여 수평 장축 단면상, 수직 장축 단면상, 단축 단면상으로 재구성하였다. 워크스테이션에 설치된

QGS (AutoQuant version 5.1.1), 4D-MSPECT (version 2.5) 소프트웨어를 이용하여 좌심실 박출율, 확장기말 좌심실 용적, 좌심근 질량을 구하였다. 심초음파 검사의 좌심실기능평가는 이면성 심초음파기(2D echocardiography, ACUSON, Malvern, PA, USA)를 이용하여 좌심실 박출율과 좌심근질량을 측정하였다. 게이트 심근관류 SPECT와 초음파 검사간의 간격은 평균 7.5일이었다.

통계 분석은 개인용 Windows 컴퓨터에서 MedCalc® (MedCalc software, version 9.5.1, Mariakerke, Belgium)를 이용하여 QGS와 4D-MSPECT, QGS와 심초음파검사, 4D-MSPECT와 심초음파검사 간 정량지표의 상관계수를 구하고, Bland-Altman plot 분석¹¹⁾을 하였다. QGS와 4D-MSPECT는 부하기, 휴식기 모두 비교하였고 심초음파검사와는 휴식기 자료와 비교하였다.

결 과

1. QGS 부하기/휴식기 와 4D-MSPECT 부하기/휴식기 정량지표분석(Table 1)

1) 좌심실 박출율

QGS 부하기/휴식기와 4D-MSPECT 부하기/휴식기의 좌심실 박출율의 평균은 각각 57.9±16.7% / 60.2±17.2% 와 60.6±17.2% / 63.1±17.4%로 QGS를 이용한 측정값이 4D-MSPECT에서 구한 값보다 다소 낮게 측정되었고, 상관관계수(correlation coefficient) 0.95와 0.96으로 강한 상관관계를 보였다(p<0.001, Fig 1A, 1B). Bland-Altman 분석에서 95% 신뢰구간은 부하기와 휴식기 각각 하한값 -12.7%, 상한값 7.3%와 하한값 -12.2%, 상한값 6.5%의 범위를 보였다(Fig 1E, 1F).

2) 확장기말 좌심실 용적

QGS 부하기/휴식기와 4D-MSPECT 부하기/휴식기의 확장기말 좌심실 용적은 각각 105.8±52.1 mL / 102.7±55.9 mL와 116.8±56.2 mL / 113.9±57.6 mL로 QGS를 이용한 측정값이

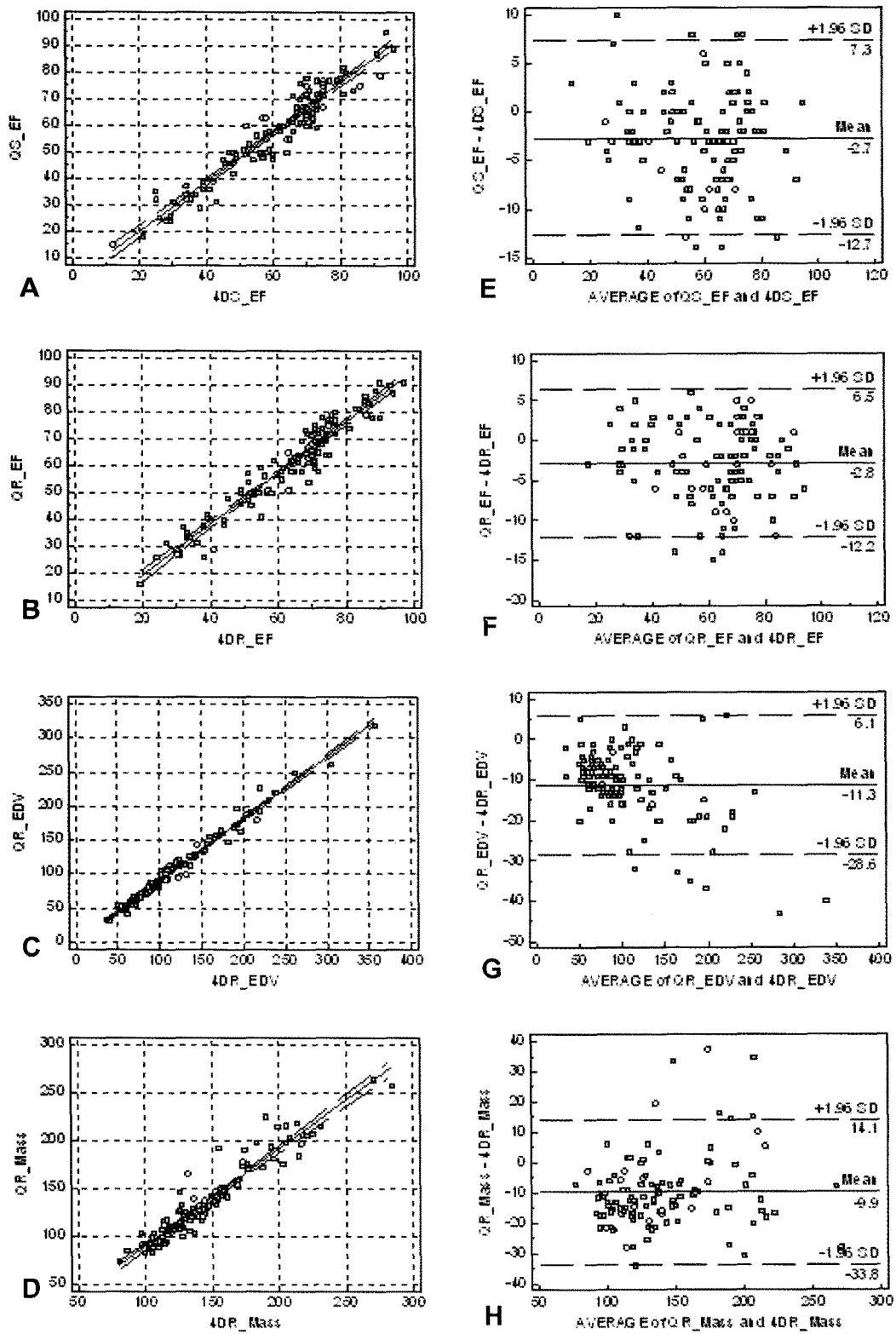


Figure 1. Images A,B,C,D show the plot of correlation analysis. Images E,F,G,H show Bland-Altman analysis of differences versus means of left ventricular ejection fraction, left end diastolic volume, and left ventricular mass for QGS and 4D-MSPECT. (A & E : stress LVEF, B & F : rest LVEF, C & G : left end diastolic volume, D & H : left ventricular mass)

Table 2. Comparison between QGS and Echocardiography

	Rest EF (%)		LVM (g)	
	QGS	echo	QGS	Echo
Mean±SD	60.2±17.2	56.9±13.9	135.3±41.0	198.7±65.3
Bland-Altman limit	LL:-17.4 UL:24		LL:-148.7 UL:21.8	

*Echo : echocardiography
 *QGS : Quantitative Gated SPECT
 †EF : ejection fraction, LVM : left ventricular mass
 ‡LL : lower limit, UL : upper limit
 §Bland-Altman limit : 95% confidence interval

Table 3. Comparison between 4D-MSPECT and Echocardiography

	Rest EF (%)		LVM (g)	
	4DM	echo	4DM	Echo
Mean±SD	63.1±17.4	56.9±13.9	145.1±38.4	198.7±65.3
Bland-Altman limit	LL:-14.8 UL:27		LL:-142.8 UL:35.5	

*Echo : echocardiography
 *4DM : 4D-MSPECT
 †EF : ejection fraction, LVM : left ventricular mass
 ‡LL : lower limit, UL : upper limit
 §Bland-Altman limit : 95% confidence interval

4D-MSPECT에서 구한 측정값에 비해 낮게 측정되었고, 상관 계수는 모두 0.99로 강한 상관관계를 보였다($p<0.001$, Fig 1C). Bland-Altman 분석에서 95% 신뢰구간은 부하기와 휴식기 각각 하한값 -24.6 mL, 상한값 3.8 mL과 하한값 -28.6 mL, 상한값 6.1 mL의 범위를 보였다(Fig 1G).

3) 좌심실 질량

QGS 부하기/휴식기와 4D-MSPECT 부하기/휴식기의 좌심실 질량은 각각 134±40.3 g / 135.3±41 g와 147±37.7 g / 145.1±38.4 g로 QGS를 이용한 측정값이 4D-MSPECT에서 구한 측정값에 비해 낮게 측정되었고, 상관계수 0.94와 0.95로 강한 상관관계를 보였다($p<0.001$, Fig. 1D). Bland-Altman 분석에서 95% 신뢰구간은 부하기와 휴식기 각각 하한값 -40.4 g, 상한값 14.4 g과 하한값 -33.8 g, 상한값 14.1 g의 범위를 보였다(Fig. 1H).

2. QGS 휴식기와 심초음파의 정량지표분석(Table 2)

1) 좌심실 박출율

QGS 휴식기와 심초음파에서 측정된 좌심실 박출율은 각각 60.2±17.2%와 56.9±13.9%이었고, 상관계수 0.79로 좋은 상관관계를 보였다($p<0.001$, Fig 2A). Bland-Altman 분석에서 95% 신뢰구간은 각각 하한값 -17.4%, 상한값 24%의 범위를 보였다(Fig. 2E).

2) 좌심실 질량

QGS 휴식기와 심초음파에서 측정된 좌심실 질량은 각각 135.3±41 g와 198.7±65.3 g이었고, 상관계수 0.76으로 좋은 상관관계를 보였다($p<0.001$, Fig 2B). Bland-Altman 분석에서 95% 신뢰구간은 각각 하한값 -148.7 g, 상한값 21.8 g의 범위를 보였다(Fig 2F).

3. 4D-MSPECT 휴식기와 심초음파의 정량지표분석 (Table 3)

1) 좌심실 박출율

4D-MSPECT 휴식기와 심초음파에서 측정된 좌심실 박출율은 각각 63.1±17.4%와 56.9±13.9%이었고, 상관계수 0.79로 좋은 상관관계를 보였다($p<0.001$, Fig 2C). Bland-Altman 분석에서 95% 신뢰구간은 각각 하한값 -14.8%, 상한값 27%의 범위를 보였다(Fig 2G).

2) 좌심실 질량

4D-MSPECT 휴식기와 심초음파에서 측정된 좌심실 질량은 각각 145.1±38.4 g와 198.7±65.3 g이었고, 상관계수 0.73으로 좋은 상관관계를 보였다($p<0.001$, Fig 2D). Bland-Altman 분석에서 95% 신뢰구간은 각각 하한값 -142.8 g, 상한값 35.5 g의 범위를 보였다(Fig 2H).

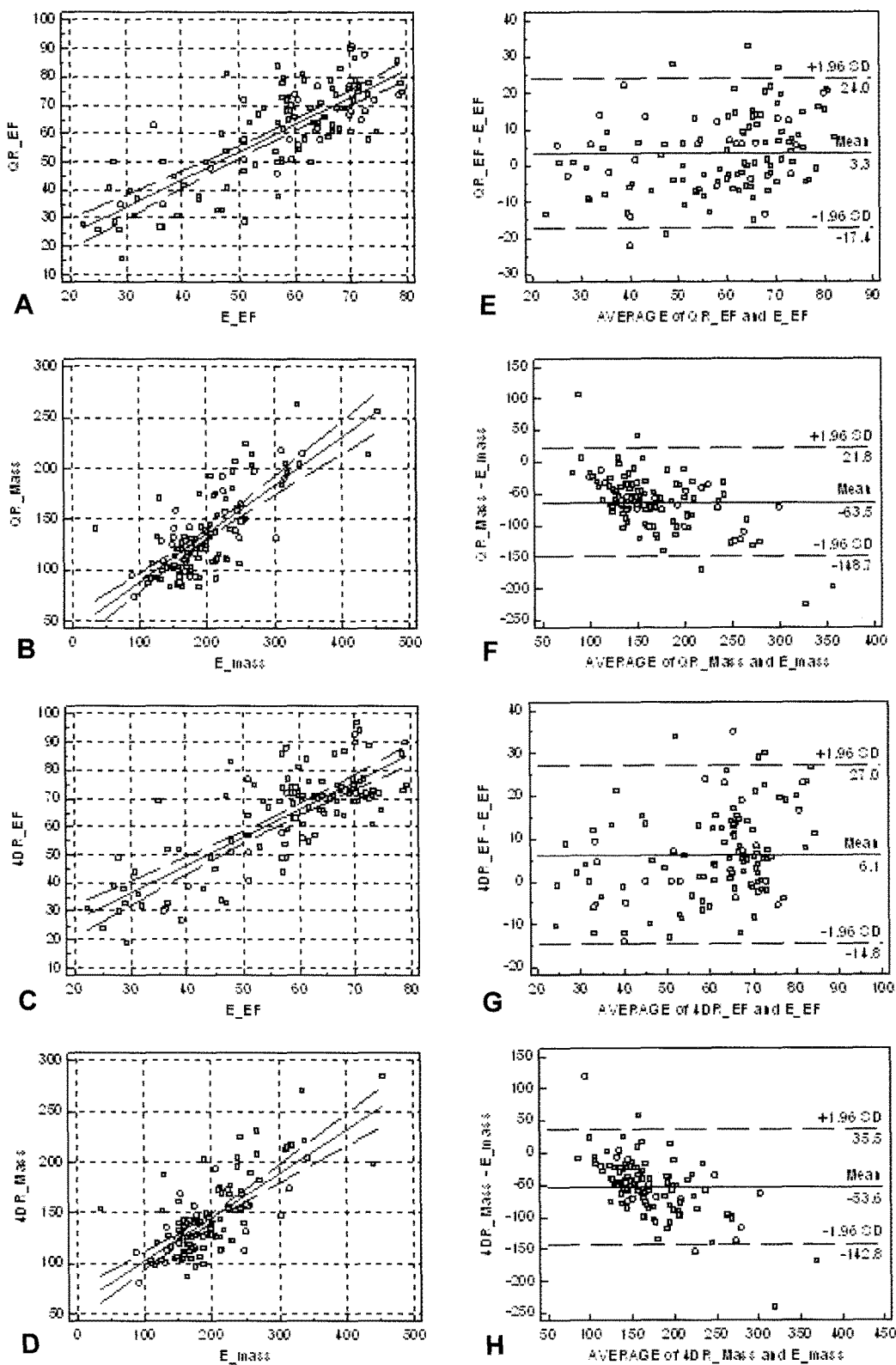


Figure 2. Images A,B,C,D show the plot of correlation analysis. Images E,F,G,H show Bland-Altman analysis of difference versus means of left ventricular ejection fraction and left ventricular mass for QGS (A,B,E,F), 4D-MSPECT (C,D,G,H) and echocardiography. (A & E, C & G : left ventricular ejection fraction, B & F, D & H : left ventricular mass)

고 찰

심근관류 SPECT 소견이 정상인 사람들에게서 정량 소프트웨어 QGS, 4D-MSPECT를 통해 얻은 좌심실의 확장기말 용적, 좌심실 박출율, 좌심실 질량의 상호비교와 QGS, 4D-MSPECT를 통해 얻은 자료와 심초음파 검사에서 얻은 좌심실 박출율, 좌심실 질량을 상호 비교한 결과 각 검사법 간의 상관관계는 우수하였다. 하지만, 높은 상관관계에도 불구하고 Bland-Altman 분석 결과 각 검사 사이에 큰 변이가 있었다. 따라서, 임상상황에서 각 검사로부터 얻은 이들 지표를 서로 대체하여 사용할 수는 없었다.

관동맥질환에서 좌심실의 용적, 좌심실 박출율, 좌심실 질량 등 좌심실의 정량적 기능분석은 환자의 예후와 관련하여 매우 중요하다.^{1,12)} 게이트 심근관류 SPECT를 이용한 관동맥질환의 평가는 심근관류 뿐 아니라, 좌심실의 벽운동, 벽의 두꺼워짐, 좌심실용적, 좌심실 박출율 등을 비교적 높은 재현성으로 제공함으로써 환자의 예후 평가에 중요한 정보를 제공한다.¹³⁻¹⁷⁾ 게이트 심근관류 SPECT를 정량적으로 분석하는 프로그램에는 QGS (Quantitative Gated SPECT, Cedar-Sinai Medical Center, Los Angeles, CA), 4DM (4D-MSPECT, University of Michigan Medical Center, Ann Arbor, MI), ECT (Emory Cardiac Toolbox, Emory University, Atlanta, GA) 등이 이용되고 있다. 또한 핵의학 검사 이외에 심초음파와 심장 자기공명 영상을 이용할 수 있다.¹⁸⁻²¹⁾ 저자들은 핵의학과에 심근관류 SPECT 검사를 위해 의뢰되었던 환자 중 심근관류 SPECT에서 관류소견이 정상인 사람을 대상으로 정량 소프트웨어 QGS와 4D-MSPECT를 이용하여 구한 좌심실의 확장기말 용적, 좌심실 박출율, 좌심실 질량을 상호 비교하고, 임상에서 흔히 사용하는 이면성 심초음파 검사법을 이용하여 측정된 좌심실 박출율과 좌심실 질량과의 상관관계 및 일치도를 분석하였다.

좌심실 박출율, 확장기말 좌심실용적 비교에서 QGS와 4D-MSPECT 간 상관관계수는 0.95 이상의 높은 상관관계를 보여 이전의 연구와 유사한 결과를 보였다. Lum 등⁴⁾도 QGS, 4D-MSPECT, ECT를 이용한 좌심실 기능의 정량분석 결과 비교에서 각 소프트웨어 간의 좌심실 박출율과 확장기말 좌심실 용적의 상관관계수가 0.9 이상의 높은 상관관계를 보이는 것으로 보고하였다.

본 연구에서 좌심실 구혈율 및 확장기말 좌심실 용적의 비교에서 QGS보다 4D-MSPECT에서 높은 값을 보여 이전의 연구들과 유사한 결과를 보였다.^{4,6,9)} 이는 다른 연구에서도 지적되었듯이 각 프로그램의 분석방법의 차이 때문으로 생각된다.^{2,5,9)}

QGS, 4D-MSPECT에 의한 결과사이에 높은 상관관계에도 불구하고 Bland-Altman 분석에서 휴식기와 부하기의 좌심실

박출율, 확장기말 좌심실용적의 변이의 95% 신뢰구간의 범위는 각각 6.5% ~ -12.2%, 7.3% ~ -12.7%, 6.1 ml ~ -28.6 ml로 커서 각 프로그램으로 얻어진 결과를 상호 호환하기는 어려울 것으로 생각되었다. 이는 두 프로그램의 분석방법의 차이가 원인인 것으로 생각된다.^{4,8)} Lum 등⁴⁾도 Bland-Altman 분석에서 각 검사에서 얻은 지표의 일치도에 대한 넓은 오차 범위 때문에 결과를 상호 호환할 수 없다고 하였다. 관동맥질환의 가능성이 10% 미만인 환자를 대상으로 한 정 등⁹⁾의 연구에서도 좌심실 확장기말 용적, 좌심실 수축기말 용적, 좌심실 박출율을 구하는 QGS와 4D-MSPECT 두 프로그램 간에 높은 상관관계가 있으나 두 프로그램 값을 혼용하여 사용할 수는 없을 것으로 보고하였다.

게이트 심근관류 SPECT와 심초음파검사를 통한 좌심실 박출율은 QGS와 심초음파검사, 그리고 4D-MSPECT와 심초음파검사간의 상관관계수는 각각 0.79로 좋은 상관관계를 보여 기존의 연구결과들(0.75-0.83)과 유사한 결과를 보였다.²²⁻²⁴⁾ 하지만 대부분의 연구에서 Bland-Altman 분석을 하지는 않았었다. Patel 등²⁵⁾은 휴식기 TI-201 심근관류 SPECT와 2D 심초음파의 비교에서 확장기말 좌심실 용적, 수축기말 좌심실 용적, 좌심실 박출율이 좋은 상관관계를 보이며, Bland-Altman 분석결과 좌심실 박출율은 일치도가 좋으나 확장기말 좌심실 용적, 수축기말 좌심실 용적은 일치도가 떨어진다고 하였다. 그 이유로 확장기말 좌심실 용적, 수축기말 좌심실 용적의 측정에는 계통 오차가 있었을 가능성이 있으며, 박출율은 이러한 영향을 받지 않았을 것으로 추정하고 있다. 이들은 TI-201 심근관류 SPECT에서 Emory cardiac toolbox를 이용한 것이어서 본 연구와 직접 비교하기는 어렵다.

좌심실 질량(left ventricular mass)은 좌심실비대 또는 관동맥질환을 가진 환자의 예후와 진단에 중요한 요소로 관동맥질환이 있는 환자에서 좌심실 질량이 증가될수록 예후가 나쁜 것으로 알려져 있다.²⁶⁻²⁹⁾ QGS와 4D-MSPECT를 이용하여 좌심실 질량을 비교한 본 연구에서 높은 상관관계를 보였으며, 게이트 심근관류 SPECT의 정량 소프트웨어 사이의 좌심실 질량비교는 보고된 바 없다. 게이트 심근관류 SPECT와 심초음파의 결과 사이에도 높은 상관관계를 보였다(QGS와의 상관관계수 0.76, 4D-MSPECT와의 상관관계수 0.73). Diamond 등³⁰⁾은 본 연구와 동일하게 게이트 심근관류 SPECT와 2D M mode 심초음파 검사와의 비교에서 상관관계수 0.72 ($p < 0.0001$)의 의미 있는 상관관계를 보였고, Akinboboye 등³¹⁾도 게이트 심근관류 SPECT와 3D 심초음파 검사를 이용한 좌심실 질량간의 비교에서 두 검사 간의 의미 있는 상관관계가 있음을 보고하였으나 (상관관계수 0.63, $p < 0.0001$), 넓은 오차범위로 인해 게이트 심근관류 SPECT를 이용한 좌심실 질량과 3D 심초음파 검사의 값

은 상호 호환할 수 없다고 하였다.

본 연구에서 게이트 심근관류 SPECT를 이용하여 구한 좌심실 질량은 심초음파 검사의 경우에 비하여 낮게 측정되는 경향을 보였는데, 이는 아마도 두 검사방법 간의 심실벽 두께측정에 대한 해상도 차이가 원인일 것으로 생각된다.^{31,32)}

본 연구의 제한점으로 심근 SPECT에서 관류가 정상이었던 사람들만을 대상으로 한 것인데, 이것은 관류 결손에 따른 각 소프트웨어에서의 분석 차이를 최소화 하기 위해서였다. 하지만 관류가 정상이나 크기에 이상이 있을 수 있는 확장심근병증 환자가 포함되었을 수 있으며 실제로 약 20명의 환자에서 확장기말 용적이 커서 대부분의 자료는 한쪽으로 치우쳐 나타났다. 앞으로 관류결손이 있는 경우와 심장의 크기에 따른 정량화 소프트웨어의 차이 등에 대한 연구도 있어야 할 것으로 보인다. 또 이 연구에서 정량 소프트웨어 QGS와 4D-MSPECT 외에 심초음파 검사를 비교한 것은 심초음파 검사가 검사자에 따라 결과가 달라질 수 있는 검사이긴 하지만, 일반 진료에서 흔히 사용되기 때문에 그 결과를 비교하였다. 목적이 다른 연구이지만 심초음파를 절대표준(gold standard)으로 삼고 게이트 심근관류 SPECT의 정량 소프트웨어를 분석한 경우도 있다.³³⁾

결론적으로 QGS와 4D-MSPECT를 이용한 좌심실 박출율, 확장기말 좌심실 용적, 좌심근 질량의 측정은 서로 높은 상관관계를 보였고, 좌심실 박출율, 좌심근 질량의 측정에 있어서도 게이트 심근관류 SPECT를 이용한 정량분석 결과와 2D 심초음파 검사사이에 좋은 상관관계를 보였다. 하지만 높은 상관관계에도 불구하고 Bland-Altman분석에서 QGS, 4D-MSPECT, 심초음파 검사 사이에 큰 변이가 있어 임상상황에서 각 검사로부터 얻은 이들 지표를 서로 대체하여 사용할 수는 없었다.

요 약

목적: 게이트 심근 관류 SPECT는 심근 관류 소견 뿐 아니라, 좌심실의 벽운동, 벽의 두꺼워짐, 좌심실 용적, 좌심실 박출율 등의 부가적인 정보를 제공한다. 심근영상에서 이들 정보를 얻기 위한 여러 가지 프로그램들이 제공되고 있다. 이 연구에서는 게이트 심근 관류 SPECT 분석 프로그램인 Quantitative Gated SPECT (QGS), 4D-MSPECT 소프트웨어를 이용하여 좌심실 박출율, 확장기말 좌심실 용적, 좌심근 질량을 구하고 이면성 심초음파검사를 통해 좌심실 박출율과 좌심근 질량을 구해 비교하였다. **대상 및 방법:** 핵의학과에 심근관류 SPECT 검사를 위해 의뢰되었던 환자 중 심근관류 SPECT에서 관류소견이 정상이었던 114명(남자 51명, 여자 63명, 평균 61.3±13.3세, 29-85세)의 자료를 후향적으로 분석하였다. 게이트 심근 관류 SPECT는 이데노신 (0.14 mg/kg/min)을 6분간 부하하면서

Tc-99m Tetrofosmin (Myoview)을 주사하여 부하기 영상을 얻고, 4시간 후 휴식기 영상을 얻었다. Quantitative Gated SPECT (QGS), 4D-MSPECT 소프트웨어를 이용하여 좌심실 박출율, 확장기말 좌심실 용적, 좌심근질량을 구하고 이면성 심초음파검사를 이용하여 좌심실 박출율, 좌심근질량을 구하였다. 각 방법 사이의 상관계수를 구하고 Bland-Altman분석을 이용하여 변이의 범위를 분석하였다. **결과:** 좌심실 박출율의 분석에서 QGS와 4D-MSPECT사이의 상관계수는 부하기/휴식기 각각 0.95/0.96로 강한 상관관계를 보였고, QGS와 심초음파 검사 사이의 상관계수는 0.79, 4D-MSPECT SPECT와 심초음파 검사 사이의 상관계수는 0.79로 좋은 상관관계를 보였다(p<0.001). 확장기말 좌심실 용적의 경우 QGS와 4D-MSPECT SPECT 사이의 상관계수는 부하기/휴식기 모두 0.99로 강한 상관관계를 보였다(p<0.001). 좌심근 질량의 경우 QGS와 4D-MSPECT사이의 상관계수는 부하기/휴식기 각각 0.94/0.95로 강한 상관관계를 보였고, QGS와 심초음파 검사 사이의 상관계수는 0.76, 4D-MSPECT SPECT와 심초음파 검사 사이의 상관계수는 0.73로 좋은 상관관계를 보였다(p<0.001). Bland-Altman 방법으로 분석하였을 때, 좌심실 박출율의 경우 QGS와 4D-MSPECT 검사 사이의 변이의 95% 신뢰구간은 부하기/휴식기 각각 -12.7% ~ 7.3% / -12.2% ~ 6.5%였고, QGS와 심초음파 검사의 경우 -17.4% ~ 24%, 4D-MSPECT SPECT와 심초음파 검사의 경우 -14.8% ~ 27%였다. 확장기말 좌심실 용적의 경우 QGS와 4D-MSPECT 검사 사이의 변이의 95% 신뢰구간은 부하기/휴식기 각각 -24.6 mL ~ 3.8 mL / -28.6 mL ~ 6.1 mL였다. 좌심근 질량의 경우 QGS와 4D-MSPECT 검사 사이의 변이의 95% 신뢰구간은 부하기/휴식기 각각 -40.4 g ~ 14.4 g과 -33.8 g ~ 14.1 g이었고, QGS와 심초음파 검사 사이는 -148.7 g ~ 21.8 g이었으며, 4D-MSPECT와 심초음파 검사 사이는 -142.8 g ~ 35.5 g이었다. **결론:** 좌심실 박출율, 확장기말 좌심실 용적, 좌심근 질량 등을 구하는 자동정량화 소프트웨어 QGS, 4D-MSPECT, 심초음파 검사(좌심실 박출율, 좌심근 질량) 상호간에 좋은 상관관계가 있었다. 하지만 Bland-Altman분석에서 QGS, 4D-MSPECT, 심초음파 검사간의 변이의 범위가 큰 편이어서 서로 바꾸어 사용할 수는 없었다.

References

1. Hammermeister KE, DeRouen TA, Dodge HT. Variables predictive of survival in patients with coronary disease. Selection by univariate and multivariate analyses from the clinical, electrocardiographic, exercise, arteriographic, and quantitative angiographic evaluations. *Circulation* 1979;59:421-30.
2. Svensson A, Akesson L, Edenbrandt L. Quantification of myocardial perfusion defects using three different software

- packages. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2004;31:229-32.
3. Nichols K, Santana CA, Folks R, Krawczynska E, Cooke CD, Faber TL, et al. Comparison between ECTb and QGS for assessment of left ventricular function from gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Cardiol* 2002;9:285-93.
 4. Lum DP, Coel MN. Comparison of automatic quantification software for the measurement of ventricular volume and ejection fraction in gated myocardial perfusion SPECT. *Nucl Med Commun* 2003;24:259-66.
 5. Nakajima K, Higuchi T, Taki J, Kawano M, Tonami N. Accuracy of ventricular volume and ejection fraction measured by gated myocardial SPECT: Comparison of 4 software programs. *J Nucl Med* 2001;42:1571-8.
 6. Schaefer WM, Lipke CS, Nowak B, Kaiser HJ, Reinartz P, Buecker A, et al. Validation of QGS and 4D-MSPECT for quantification of left ventricular volumes and ejection fraction from gated ¹⁸F-FDG PET: Comparison with cardiac MRI. *J Nucl Med* 2004;45:74-9.
 7. Schaefer WM, Lipke CS, Standke D, Kuhl HP, Nowak B, Kaiser HJ, et al. Quantification of left ventricular volumes and ejection fraction from gated ^{99m}Tc-MIBI SPECT: MRI validation and comparison of the Emory cardiac tool box with QGS and 4D-MSPECT. *J Nucl Med* 2005;46:1256-63.
 8. Wolak A, Slomka PJ, Fish MB, Lorenzo S, Acampa W, Berman DS, et al. Quantitative myocardial-perfusion SPECT: Comparison of three state-of-the-art software packages. *J Nucl Cardiol* 2008;15:27-34.
 9. Jeong Y, Park T, Cha K, Kim M, Kim Y, Kang D-Y. Reference values of functional parameters in gated myocardial perfusion SPECT : Comparison with QGS and 4DM program. *Korean J Nucl Med* 2005;39:430-7.
 10. Kwan J, Park K-S, Yang S-S, Lee K-H, Hong E-S, Seo J-K, et al. Echocardiographic assessment of left ventricular systolic function in comparison with automatic quantification of ²⁰¹Tl gated perfusion SPECT. *J Cardiovasc Ultrasound* 2000;8:226-35.
 11. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986;1:307-10.
 12. White HD, Norris RM, Brown MA, Brandt PW, Whitlock RM, Wild CJ. Left ventricular end-systolic volume as the major determinant of survival after recovery from myocardial infarction. *Circulation* 1987;76:44-51.
 13. Germano G, Kiat H, Kavanagh PB, Moriel M, Mazzanti M, Su HT, et al. Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT. *J Nucl Med* 1995;36:2138-47.
 14. Germano G, Kavanagh PB, Berman DS. An automatic approach to the analysis, quantitation and review of perfusion and function from myocardial perfusion SPECT images. *Int J Card Imaging* 1997;13:337-46.
 15. Allman KC, Shaw LJ, Hachamovitch R, Udelson JE. Myocardial viability testing and impact of revascularization on prognosis in patients with coronary artery disease and left ventricular dysfunction: A meta-analysis. *J Am Coll Cardiol* 2002;39:1151-8.
 16. Cleland JG, Pennell DJ, Ray SG, Coats AJ, Macfarlane PW, Murray GD, et al. Myocardial viability as a determinant of the ejection fraction response to carvedilol in patients with heart failure (Christmas trial): Randomised controlled trial. *Lancet* 2003;362:14-21.
 17. Smanio PE, Watson DD, Segalla DL, Vinson EL, Smith WH, Beller GA. Value of gating of technetium-99m sestamibi single-photon emission computed tomographic imaging. *J Am Coll Cardiol* 1997;30:1687-92.
 18. Iskandrian AE, Germano G, VanDecker W, Ogilby JD, Wolf N, Mintz R, et al. Validation of left ventricular volume measurements by gated SPECT ^{99m}Tc-labeled sestamibi imaging. *J Nucl Cardiol* 1998;5:574-8.
 19. DePuey EG, Rozanski A. Using gated technetium-99m-sestamibi SPECT to characterize fixed myocardial defects as infarct or artifact. *J Nucl Med* 1995; 36:952-5.
 20. Sharir T, Germano G, Kavanagh PB, Lai S, Cohen I, Lewin HC, et al. Incremental prognostic value of post-stress left ventricular ejection fraction and volume by gated myocardial perfusion single photon emission computed tomography. *Circulation* 1999; 100:1035-42.
 21. Ioannidis JP, Trikalinos TA, Dianas PG. Electrocardiogram-gated single-photon emission computed tomography versus cardiac magnetic resonance imaging for the assessment of left ventricular volumes and ejection fraction: A meta-analysis. *J Am Coll Cardiol* 2002;39:2059-68.
 22. Vourvouri EC, Poldermans D, Bax JJ, Sianos G, Sozzi FB, Schinkel AF, et al. Evaluation of left ventricular function and volumes in patients with ischaemic cardiomyopathy: Gated single-photon emission computed tomography versus two-dimensional echocardiography. *Eur J Nucl Med* 2001;28:1610-5.
 23. Nakae I, Matsuo S, Koh T, Mitsunami K, Horie M. Left ventricular systolic/diastolic function evaluated by quantitative ECG-gated SPECT: Comparison with echocardiography and plasma BNP analysis. *Ann Nucl Med* 2005;19:447-54.
 24. Henneman MM, Bax JJ, Schuijff JD, Jukema JW, Holman ER, Stokkel MP, et al. Global and regional left ventricular function: A comparison between gated SPECT, 2D echocardiography and multi-slice computed tomography. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2006;33:1452-60.
 25. Patel CD, Nadig MR, Kurien S, Barai S, Narang R, Malhotra A. Left ventricular ejection fraction and volumes on rest gated ²⁰¹Tl perfusion SPECT: Comparison with two-dimensional echocardiography. *Nucl Med Commun* 2006;27:425-9.
 26. Casale PN, Devereux RB, Milner M, Zullo G, Harshfield GA, Pickering TG, et al. Value of echocardiographic measurement of left ventricular mass in predicting cardiovascular morbid events in hypertensive men. *Ann Intern Med* 1986;105:173-8.
 27. Haider AW, Larson MG, Benjamin EJ, Levy D. Increased left ventricular mass and hypertrophy are associated with increased risk for sudden death. *J Am Coll Cardiol* 1998;32:1454-9.
 28. Koren MJ, Devereux RB, Casale PN, Savage DD, Laragh JH. Relation of left ventricular mass and geometry to morbidity and mortality in uncomplicated essential hypertension. *Ann Intern Med* 1991;114:345-52.
 29. Levy D, Garrison RJ, Savage DD, Kannel WB, Castelli WP. Prognostic implications of echocardiographically determined left ventricular mass in the framingham heart study. *N Engl J Med* 1990;322:1561-6.
 30. Diamond JA, Rodriguez FJ, Croft LB, Henzlava MJ. Normal value for left ventricular mass by myocardial SPECT imaging. *J Nucl Cardiol* 2001;8:S135.
 31. Akinboboye O, Germano G, Idris O, Nichols K, Gopal A, Berman D, et al. Left ventricular mass measured by myocardial perfusion gated SPECT. Relation to three-dimensional echocardiography. *Clin Nucl Med* 2003;28:392-7.
 32. Maruyama K, Hasegawa S, Nakatani D, Paul AK, Kusuoka H, Nishimura T, et al. Left ventricular mass index measured by quantitative gated myocardial SPECT with ^{99m}Tc-tetrofosmin: A

comparison with echocardiography. *Ann Nucl Med* 2003;17:31-9.

33. Pai M, Yang YJ, Im KC, Hong IK, Yun SC, Kang DH, et al. Factors affecting accuracy of ventricular volume and ejection

fraction measured by gated Tl-201 myocardial perfusion single photon emission computed tomography. *Int J Cardiovasc Imaging* 2006;22:671-81.