

## 관상동맥질환에서 N-13 암모니아 PET/CT와 Tc-99m 세스타미비 SPECT의 임상 유용성 비교

영남대학교 의과대학 핵의학교실, 내과학교실<sup>1</sup>  
공은정 · 조인호 · 천경아 · 원규장<sup>1</sup> · 이형우<sup>1</sup> · 박종선<sup>1</sup> · 신동구<sup>1</sup> · 김영조<sup>1</sup> · 심봉섭<sup>1</sup>

### Comparison of Clinical Usefulness between N-13 Ammonia PET/CT and Tc-99m Sestamibi SPECT in Coronary Artery Disease

Eun-Jung Kong, M.D., Ihn-Ho Cho, M.D., Kyung-Ah Chun, M.D., Kyu-Chang Won, M.D.<sup>1</sup>,  
Hyung-Woo Lee M.D.<sup>1</sup>, Jeong-Sun Park, M.D.<sup>1</sup>, Dong-Gu Shin, M.D.<sup>1</sup>,  
Young-Jo Kim, M.D.<sup>1</sup>, and Bong-Seop Shim, M.D.<sup>1</sup>

Department of Nuclear Medicine and Internal Medicine<sup>1</sup> Yeungnam University, College of Medicine, Daegu, Korea

**Purpose:** N-13 ammonia uptake and retention in the myocardium is related to perfusion and metabolism. There are several potential advantages of N-13 ammonia positron emission tomography (PET) to detect myocardial ischemia, such as higher spatial resolution, greater counting efficiencies, and robust attenuation correction. But there are few reports comparing Tc-99m myocardial perfusion single photon emission tomography (MPS) and N-13 ammonia PET. We thus compared adenosine stress N-13 ammonia PET/CT and Tc-99m sestamibi MPS in patients with suspected coronary artery stenosis. **Materials and Methods:** Seventeen patients (male 13 : 63±11 years old) underwent adenosine stress N-13 ammonia PET/CT (Discovery ST, GE), Tc-99m sestamibi MPS (dual head gamma camera, Hawkeye, GE) and coronary angiography within 1 week. N-13 ammonia PET/CT and Tc-99m sestamibi MPS images were assessed with a 20-segment model by visual interpretation and quantitative analysis using automatic quantitative software (Myovation, GE). **Results:** Both sensitivities and specificities of detecting an individual coronary artery stenosis were higher for N-13 ammonia PET/CT than Tc-99m sestamibi MPS (PET/CT: 91%/ 89% vs MPS: 65%/ 82%). N-13 ammonia PET/CT showed reversibility in 52% of segments that were considered non-reversible by Tc-99m sestamibi MPS. In the 110 myocardial segments supplied by the stenotic coronary artery, N-13 ammonia PET/CT showed higher count densities than Tc-99m MPS on rest study ( $p < 0.01$ ), and the difference of count density between the stress and the rest studies was also larger on N-13 ammonia PET/CT. **Conclusion:** Adenosine stress N-13 ammonia PET/CT had higher diagnostic sensitivity and specificity, more reversibility of perfusion defects and greater stress/rest uptake differences than Tc-99m sestamibi MPS. Accordingly, N-13 ammonia PET/CT might offer better assessment of myocardial ischemia and viability. (Nucl Med Mol Imaging 2008;42(5):354-361)

**Key Words:** N-13 ammonia, PET/CT, SPECT, myocardial perfusion, myocardial ischemia

## 서 론

심근관류스캔은 혈류에 비례하여 심근에 섭취되는 방사성 의약품을 주사하고, 그 분포를 영상화함으로써 심근의 관류 상태를 관찰하거나, 컴퓨터로 반정량화 함으로써 관상동맥질환을 진단하는 비침습적인 진단법으로 알려져 있으며, 관상

동맥질환의 진단과 이미 진단된 환자의 위험도 및 치료효과 관정에 이용된다. Tc-99m 세스타미비, Tc-99m 테트로포스민 혹은 탈륨-201을 이용한 심근관류 단일광자방출단층촬영(single photon emission computed tomography : SPECT)이 임상에서 널리 이용되고 있으며, 부하 유발에 의한 심근의 관류저하의 정도나 범위는 환자의 치료 방법 결정이나 예후 추정에 중요한 것으로 보고되고 있다.<sup>1-3)</sup>

Tc-99m 세스타미비 SPECT는 관상동맥질환을 진단하는 민감도와 특이도가 77%, 84%로 높고, 언제든지 사용할 수 있는 편리함과 함께 가격 대비 효과 면에서 우수한 검사방법으로 알려져 있다.<sup>4)</sup> 그러나, 심근관류 SPECT에 사용하는 테

• Received: 2008. 6. 24. • Accepted: 2008. 9. 11.  
• Address for reprints: Ihn-Ho Cho, M.D. Department of Nuclear Medicine, Yeungnam University Hospital, 317-1 Daemyung 5-dong, Nam-gu, Daegu 705-717, Korea  
Tel: 82-53-620-3078, Fax: 82-53-651-7415  
E-mail: ihcho@med.yu.ac.kr

크네슘 제제는 심근 추출률이 0.6-0.7로 낮아서 혈관협착부위에서의 관류결손 대비나 크기가 작아진다고 알려져 있으며, 간혹 심근에 나타난 비가역적인 관류 결손들이, 치료 후 회복되는 것이 관찰되어 심근 생존능 검사에는 제한점이 있는 것으로 알려져 있다.<sup>5)</sup>

SPECT보다 높은 공간해상도를 가지는 positron emission tomography/computed tomography(PET/CT)는 계수효율이 높고, 감쇠보정이 가능하며, 사용할 수 있는 방사성 의약품이 다양하고 특성이 우수하여, 최근에 급속히 확대되고 있다. 심근관류검사에서도 추출률이 높은 N-13 암모니아, Rb-82, O-15 H<sub>2</sub>O 등이 사용될 수 있으며, 혈류의 직접적인 측정이 가능하다. 여러 논문에서 관상동맥질환의 진단에 SPECT보다 우수하다고 보고되고 있다.<sup>6-8)</sup> 그러나 PET/CT는 장비 가격이 비싸고, 방사성의약품을 얻기 위해서는 사이클로트론이 필요하기 때문에 상당한 제약이 있어 왔다.

최근에 PET/CT와 사이클로트론의 급속한 보급이 이루어지고, 중앙분야의 F-18 fluorodeoxyglucose(F-18 FDG) PET/CT의 이용이 증가하고 있으나, 심근관류검사에서의 이용은 제한적이다. 이에 저자들은 동일 환자에서 아데노신 부하 Tc-99m 세스타미비 SPECT와 N-13 암모니아 PET/CT를 시행하고 비교 분석하여 N-13 암모니아 PET/CT의 이용 가능성과 임상적 유용성을 알아보았다.

## 대상 및 방법

### 1. 연구대상

관상동맥질환이 의심되어 Tc-99m 세스타미비 SPECT검사가 의뢰된 환자 중에서 N-13 암모니아 PET/CT를 시행할 수 있었던 21명 중, 검사 1주일 이내에 관상동맥조영술을 시행하였던 17명의 환자(남자 : 13명/ 여자 : 4명, 평균연령 : 63±11세)를 대상으로 하였다.

### 2. 방법

모든 대상자들은 검사 전 4시간 이상의 금식과 24시간 이상의 xanthine 제제 및 카페인을 제한 후 검사를 시행하였다. 아데노신 약물 부하를 하였으며, 아데노신은 6분 동안 140 µg/kg/min의 속도로 정맥주사 하였다. 아데노신 주입 시작 후 3분에 N-13 암모니아(555 MBq)와 Tc-99m 세스타미비(740 MBq)를 동시에 주사하였다. 약물 부하 직후에 암모니아 PET/CT(Discovery ST, GE사)영상을 10분 동안 1 bed를 먼저 얻고, 1시간 후에 부하 SPECT(Dual head gamma camera, Hawkeye, GE사)를 시행하였다. 휴식기 N-13 암모니아 PET/CT는 부하검사 직전에 259 MBq를 주사한 후 10분간

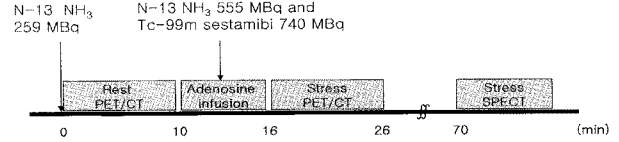


Figure 1. Modified protocol for Tc-99m sestamibi SPECT and N-13 ammonia PET/CT in patients with suspected coronary artery disease.

영상을 획득하였고, 휴식기 Tc-99m 세스타미비 SPECT 검사는 약물부하 하루 전 혹은 그 다음 날에 Tc-99m 세스타미비 (740 MBq) 정맥 주사 1시간 후에 실시하였다(Fig. 1).

N-13 암모니아 PET/CT 영상은 BGO 섬광결정체와 8절편 CT를 장착한 PET/CT 스캐너를 이용하여 2차원 모드로 투과 영상과 탐색영상을 얻었고, OSEM(ordered-subsets expectation maximization) 방식으로 영상을 재구성하였다.

SPECT 영상의 획득은 왼쪽 후방 45도에서 시작하여 두 개의 카메라 헤드가 회전하면서 영상을 얻었으며, 영상을 획득하고 다시 회전하는 방식(step and shoot)으로 180도를 3도 간격으로 한 영상 당 20초로 하여 총 60개의 영상을 얻었다. 저에너지 고해상도 조준기를 사용하였고, 매트릭스 크기는 64×64에, RR 간격에 20% 창을 열어 영상을 얻었으며, OSEM 방식으로 영상을 재구성하였다. 1회의 심박주기를 8개의 구간으로 나누어 게이트 심근관류 스캔을 얻었다.

### 3. 영상분석

PET/CT 와 SPECT의 분석은 20분절 모델을 적용하여, 각각 육안분석과 정량분석을 하였다. 육안분석은 단축상과 수직 장축상 및 수평 장축상에 대하여 두 명의 핵의학 전문가가 판독하였고, 유방에 의한 감쇠와 간이나 장 등의 인공산물의 영향으로 인한 섭취저하를 고려하였다. 정량분석은 자동정량소프트웨어(Myovation, GE사)를 이용하여, 분절의 평균 계수를 심근내 최고치에 대한 상대적인 백분율로 표시하였으며, 기저부의 6개의 분절을 제외한 14분절을 분석하였다.

### 4. 통계분석

모든 자료의 분석은 윈도우용 SPSS (version 14.0) 소프트웨어를 이용하여 카이제곱 검정과 paired t-test를 시행하였고, p값은 0.05 미만인 경우 통계적으로 유의한 것으로 하였다.

## 결 과

### 1. 대상환자의 특성

21 명의 환자 중 관상동맥조영술을 시행하지 못한 4명을

Table 1. Patient Characteristics

Patients No.	Age (yrs)	Sex	BMI* (kg/m <sup>2</sup> )	Hypertension†	DM‡	Dyslipidemia§	Smoking	Lesion
1	73	F	21.6	+	-	-	-	LAD
2	61	F	23.8	+	-	+	-	LAD, RCA
3	53	M	23.2	-	-	-	-	-
4	76	M	27	+	-	+	-	LAD
5	68	M	26.8	+	+	+	-	LAD, LCX, RCA
6	38	M	25.9	-	+	-	-	LAD, LCX, RCA
7	58	M	19.3	-	+	+	+	LAD, LCX, RCA
8	71	F	17.6	+	-	-	-	-
9	72	F	22	-	-	-	-	RCA
10	50	M	24.3	-	-	+	+	LCX, RCA
11	61	M	25.7	+	-	-	-	LAD
12	59	M	22.5	+	+	-	-	LAD, RCA
13	68	M	23.3	+	-	-	-	LAD
14	67	M	24.1	-	-	-	-	-
15	77	M	21.5	+	-	-	-	LAD
16	61	M	23.7	-	-	+	+	LCX
17	51	M	28	-	-	+	+	LCX

\* BMI (body mass index) = body weight(kg)/ height<sup>2</sup>(m<sup>2</sup>).

† Hypertension : systolic blood pressure ≥ 140 mmHg or diastolic blood pressure ≥ 90 mmHg.

‡ DM (diabetes mellitus) : patients who received oral hypoglycemic agent or insulin injection.

§ Dyslipidemia : patients who have abnormalities in the serum levels of lipids.

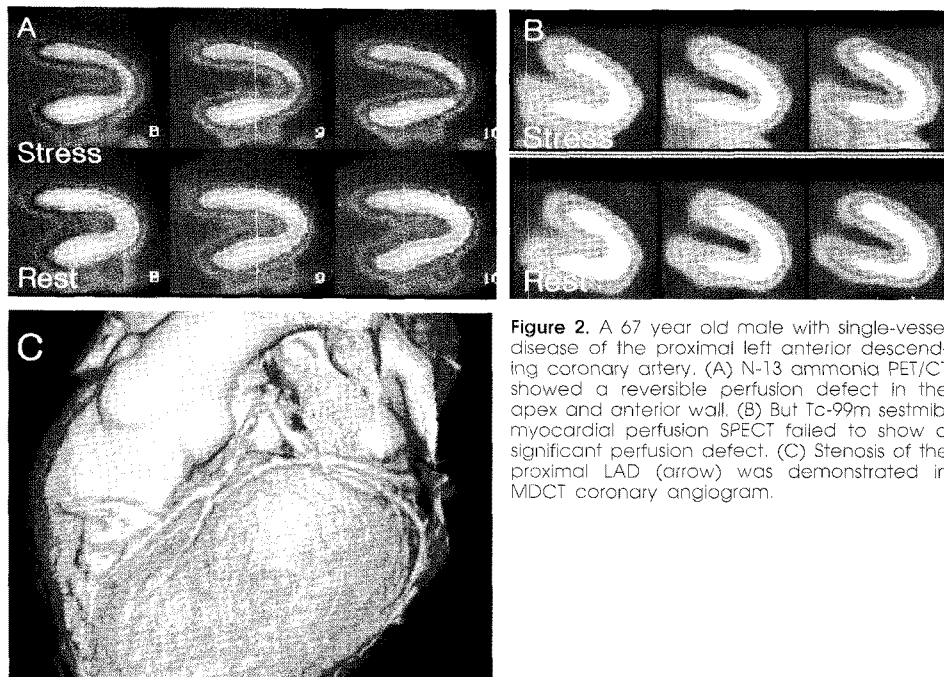


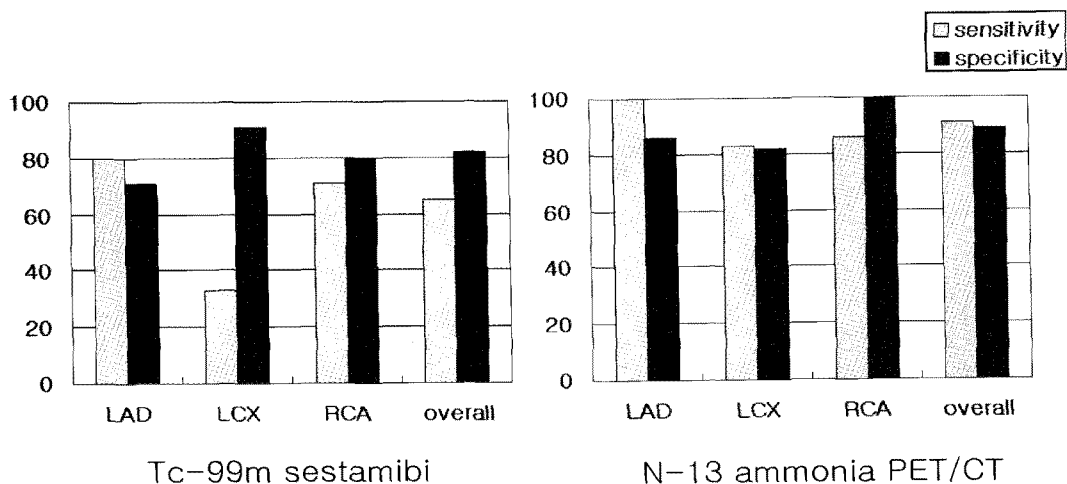
Figure 2. A 67 year old male with single-vessel disease of the proximal left anterior descending coronary artery. (A) N-13 ammonia PET/CT showed a reversible perfusion defect in the apex and anterior wall. (B) But Tc-99m sestamibi myocardial perfusion SPECT failed to show a significant perfusion defect. (C) Stenosis of the proximal LAD (arrow) was demonstrated in MDCT coronary angiogram.

제외한 17명 중에서 관상동맥조영술에서 50%이상 유의한 협착을 가진 환자는 14명이었고, 병변은 23개 였다. 단일 혈관 질환 환자가 8명, 두 혈관 질환 환자가 3명, 세 혈관 질환 환자가 3명, 협착혈관이 없는 환자가 3명으로 나타났다. 이중

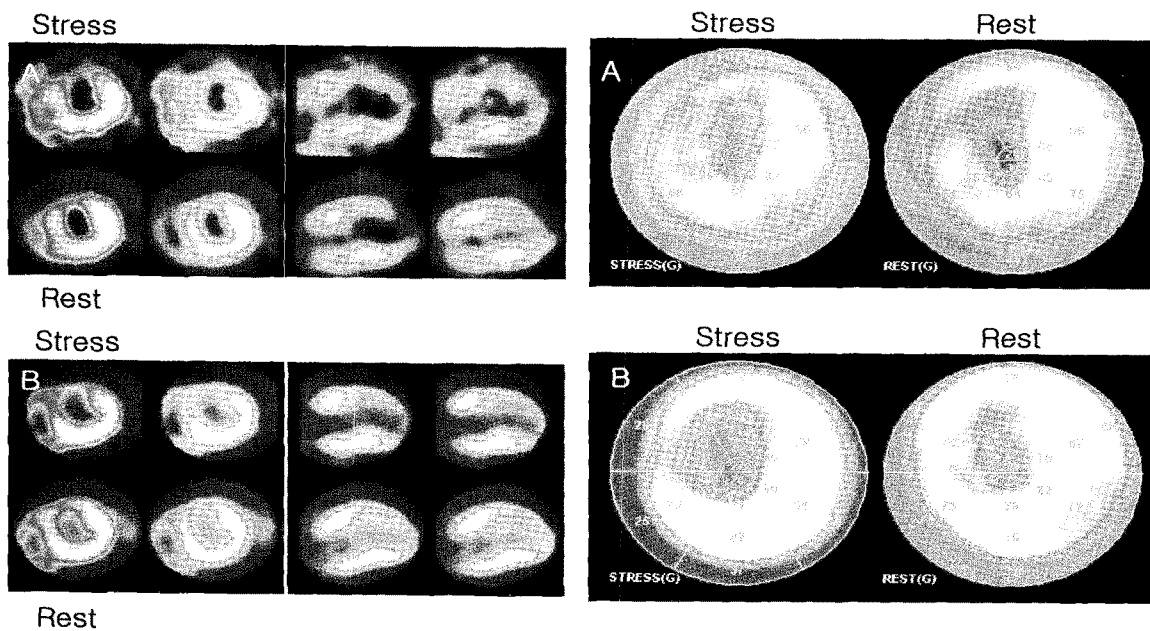
심근경색으로 진단된 환자는 9명이었다(Table 1).

## 2. 진단 예측능

50%이상 유의한 협착을 보인 23개의 병변에 대한 진단의



**Figure 3.** Comparison of Tc-99m sestamibi SPECT versus N-13 ammonia PET/CT imaging: Sensitivity and specificity for localizing significant coronary artery stenosis.



**Figure 4.** A 76 year old male patient with total occlusion in the proximal left anterior descending coronary artery. (A) Tc-99m sestamibi myocardial perfusion SPECT showed a fixed perfusion defect in the apex and anterior wall. (B) N-13 ammonia PET showed a partial reversible perfusion defect in the apex, anterior wall and anteroseptal wall.

민감도와 특이도는 N-13 암모니아 PET/CT는 91%와 89% 이고, Tc-99m 세스타미비 SPECT는 65%와 82%로 각각 나타났다. 분지별로 살펴보면, 좌전하행동맥의 진단의 민감도,

특이도는 N-13 암모니아 PET/CT에서는 100%와 86%로, Tc-99m 세스타미비 SPECT에서는 80%와 71%로 나타났으며, 좌회선동맥에 대해서는 N-13 암모니아 PET/CT와

**Table 2.** Correlation of Interpretations of Myocardial Segments by Tc-99m Sestamibi SPECT and N-13 Ammonia PET/CT (n=17)

		Tc-99m sestamibi SPECT			
		normal	reversible defect	fixed defect	total
N-13 ammonia PET/CT	normal	128	4	15	147
	reversible defect	20	16	29	65
	fixed defect	13	3	10	26
	total	161	23	54	238

**Table 3.** Comparison of Segments with Coronary Artery Stenosis between N-13 Ammonia PET/CT and Tc-99m Sestamibi SPECT Polar Map

	PET/CT	SPECT
Stress	65.7±17.8	65.6±16.6
Rest	73.8±12.8*	68.9±14.9
Reversibility	8.1±9.6*	3.3±7.6

N=110 segments.

Data are expressed as percentage±SD.

Reversibility : stress - rest.

\*p&lt; 0.01 compared with SPECT value

Tc-99m 세스타미비 SPECT에서 83%, 82%와 33%, 91%로 각각 나타났다. 우관상동맥의 진단에 대해서는 N-13 암모니아 PET/CT에서는 86%와 100%로, Tc-99m 세스타미비 SPECT에서는 71%와 80%로 각각 관찰되었다(Fig. 2, 3). 전체 병변에 대한 민감도와 정확도에서 두 검사 간에 통계적으로 유의한 차이를 보였으나(p<0.05), 혈관별 분석이나, 특이도의 차이는 통계적으로 유의한 차이는 아니었다(p>0.05).

N-13 암모니아 PET/CT와 Tc-99m 세스타미비 SPECT는 전체 238개의 분절 중 65%인 154분절에서 정상, 가역적인 관류저하 혹은 비가역적인 병변으로 동일한 결과를 보였다. N-13 암모니아 PET/CT는 65개의 가역적인 관류저하분절을, Tc-99m 세스타미비 SPECT에서는 23개의 가역적인 관류저하분절을 보였고, Tc-99m 세스타미비 SPECT에서 비가역적인 관류결손을 보였던 54개의 분절 중 54%인 29개의 분절에 대하여 N-13 암모니아 PET/CT는 가역적인 관류결손으로 나타났다(Table 2, Fig. 4).

### 3. 정량분석

자동정량소프트웨어를 이용한 정량분석에서는, 관상동맥 조영술에서 유의한 협착이 있는 것으로 증명된 혈관이 관찰하는 심근부위에 해당하는 110개의 분절에 대하여 부하기와 휴식기의 계수를 N-13 암모니아 PET/CT와 Tc-99m 세스타미비 SPECT에서 각각 비교하여 보았다. 부하기의 계수를 비교하였을 때, 두 검사 간에 유의한 차이를 보이지 않았으나, 휴식기에서는 N-13 암모니아 PET/CT의 계수가 Tc-99m 세스타미비 SPECT의 계수보다 높았으며(p<0.01), 휴식기에서 부하기의 계수를 뺀 차이도 N-13 암모니아 PET/CT가

Tc-99m 세스타미비 SPECT보다 컸다(p<0.01, Table 3).

또한, 부하기와 휴식기 사이에 관류가 10% 이상 차이 난 분절의 개수는 N-13 암모니아 PET/CT에서는 42개의 분절로 관류차이를 보였던 분절의 43%였으나, Tc-99m 세스타미비 SPECT에서는 관류차이를 보인 분절의 16%인 16개의 분절에서만 10%이상의 관류차이를 보였다(p<0.01).

## 고 찰

이 연구는 동일한 환자를 대상으로 하여, 아데노신 약물부하로 Tc-99m 세스타미비 SPECT와 N-13 암모니아 PET/CT를 비교한 연구로, N-13 암모니아 PET/CT가 Tc-99m 세스타미비 SPECT 보다 심근허혈의 진단과, 허혈성 관상동맥 병변을 검출에 있어 더 높은 민감도와 특이도를 나타내었다. PET으로 관상동맥질환을 진단하는 것에 대한 877명의 환자를 포함하는 9개의 연구에서 N-13 암모니아 또는 Rb-82로 국소적인 심근관류 저하를 진단하는 데 있어 50% 이상 좁아진 관상동맥을 검출하는 민감도는 91%(83~100%)이고, 특이도는 89%(73~100%)로 보고되었다.<sup>6) Bateman 등<sup>7)</sup>이 성별과 체질량 계수 및 관상동맥질환의 중증도가 비슷한 환자군에 대하여 Rb-82 PET과 Tc-99m 세스타미비 SPECT를 비교한 연구에서 PET의 영상의 질이 유의하게 뛰어나고, 인공음영이 없는 영상의 비율도 44%와 17%로 PET이 더 좋은 것으로 나타났으며, 진단에 오류를 줄 수 있는 간 및 장관계 섭취가 PET에서 SPECT보다 적었다. 또한 정상과 비정상으로 명백하게 판독할 수 있는 경우도 96%와 81%로 PET에서 높게 나타났으며, 저위험군 환자에서 특이도가 PET에서 더 높은 것으로 나타났다. 다혈관 환자의 진단에는 민감도가 71%와 48%로 PET이 SPECT보다 높았다. 우리 연구에서도 진단의 민감도와 특이도가 N-13 암모니아 PET/CT에서는 91%와 89%, Tc-99m 세스타미비 SPECT에서는 65%와 82%로 각각 나타나, 앞선 연구와 비슷한 결과를 보였으나, SPECT에서 민감도가 낮은 것은 대상 환자의 수가 적은 것과 세 혈관 질환 환자의 균형잡힌 저관류(balanced hypoperfusion)로 인한 것으로 생각된다.</sup>

우리 연구에서는 좌회선동맥의 병변을 가진 환자가 모두 6

명으로, 위음성 환자 2명은 좌전하행동맥과 우관상동맥이 거의 전폐색을 보였으나, 좌회선동맥은 50~70%의 협착을 동반한 세 혈관질환 환자였고, 다른 2명에서는 좌심실 측벽의 관류는 비교적 잘 유지되면서, 하벽의 관류저하가 심했던 경우로 우관상동맥의 병변으로 오인되어 민감도가 33%로 매우 낮게 나온 것으로 생각된다.

혈류를 검사하기 위한 PET용 방사성의약품에는 N-13 암모니아와 Rb-82, O-15 H<sub>2</sub>O가 있다. 우리 연구에서 사용된 N-13 암모니아는 사이클로트론에서 생산되며, 에너지는 1.19 MeV이고 평균 positron range는 0.7 mm이다. 반감기가 9.96 분으로, 짧은 시간 동안 반복검사가 가능하여 휴식기와 부하기 검사를 연속으로 할 수 있다고 알려져 있다.<sup>8)</sup> 암모니아는 혈액 내에서는 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>와 NH<sub>3</sub>의 형태로 평형을 이루며, NH<sub>3</sub>의 형태로 세포 내로 자유확산된다. 심근세포 내에서는 확산된 NH<sub>3</sub>와 glutamine synthase에 의해 글루타민 형태로 된 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>가 재평형을 이루며, 반응하지 않고 있던 일부 NH<sub>3</sub>는 역확산되어 심근세포 밖으로 빠져나가기도 한다. 그래서 글루타민 합성이 NH<sub>3</sub>가 심근세포에 저류되는 속도 결정 단계 (rate limiting step)로 이해되어 진다.<sup>9)</sup> NH<sub>3</sub>는 세포막을 자유롭게 이동할 수 있어서 최초 순환 시 심근추출률은 거의 100%로 높으나, 심근 세포내로 확산된 NH<sub>3</sub>가 글루타민 형태로 저류되거나 혈류로 역확산되는 것을 고려하면 전체 추출률은 80%로 보고되고 있으며, 혈류속도가 증가되면, 추출률은 감소된다.<sup>9-13)</sup> 세스타미비는 심근 추출률이 0.65로, 정상범위의 혈류량에서는 직선의 상관관계를 보이나, 관류량이 감소된 경우 추출률이 높고, 심근 관류량이 커지면 추출률이 감소하여 섭취량이 혈류량과 달라진다.<sup>14-16)</sup>

PET에서는 방사성 추적자가 높은 에너지(511 keV)를 방출하여 SPECT보다 검출 민감도가 좋다. 또한 PET은 동시계수회로로 연결된 한 쌍의 검출기로 감마선을 검출하므로 조준기를 쓰지 않아도 더 많은 계수를 할 수 있고, 정확한 감쇠보정이 가능하여 정량적이고 정확한 정보를 제공하며, 이러한 점에서 SPECT 보다 감도가 20~50배 이상 높고, 공간 해상력도 3~5배 우수하다. 또한 양전자 방출 핵종은 반감기가 상당히 짧기 때문에 피검자의 피폭량도 적다.<sup>17,18)</sup> 또한 PET/CT는 CT로 감쇠보정을 하여 검사시간을 단축시킬 뿐 만 아니라 잡음이 적은 감쇠보정 영상을 얻게 하며, 고해상도의 CT를 통하여, 해부학적, 관상동맥 관련 및 동역학적인 정보를 제공하므로 심장을 평가하는 데에 도움이 된다.<sup>19)</sup> SPECT에서 연부조직에 의한 감쇠는 심근관류 진단의 검사 민감도를 떨어뜨리는 것이 알려져 있으며, 또한 심장 주변의 간과 장관에 높은 섭취는 심근 하벽의 계수를 감소되어 보이게 할 수 있다.<sup>20)</sup> PET에서도 인접장기에 의한 영향이 없지 않으나 빈도가 SPECT

보다 낮고, PET은 해상도가 뛰어나 심근과 심장외부의 방사능을 분리되게 보여 준다.<sup>7)</sup>

Tc-99m 세스타미비는 심근에 섭취될 때, 미토콘드리아의 음성막전위차에 의해 포획되므로, 괴사된 심근에는 섭취되지 않으면서, 재분포가 거의 없어 심근의 생존능을 판정하는데 유용하리라 생각되었으며<sup>21)</sup>, 수축능 회복의 여부는 기능이 저하된 부위의 관류저하가 생존 심근의 50~60% 이상인 경우로 하였다는 보고가 있으나<sup>22)</sup>, Tc-99m 세스타미비는 혈류가 저하되어 심근세포로 세스타미비의 수송이 감소된 경우에는 심근의 섭취가 저하되어, 생존능을 과소평가하는 것으로 알려져 있다.<sup>23,24)</sup>

N-13 암모니아는 심근에서 글루타민으로 합성되어 저류되는 데는 pH, 관류저하, 저산소증, 온도변화와 L-methiamine solfoximine(glutamine synthesis inhibitor) 등의 대사상태의 변화가 영향을 끼치는 것이 알려져 있다.<sup>10-12,25,26)</sup> Kitsiou 등<sup>27)</sup>의 연구에 의하면 N-13 암모니아 PET에서 정맥 주사 후 15-20 분에 얻은 후기 영상은 F-18 FDG나 탈륨-201의 섭취와 유사하게 나타나서 재관류술 후 심근 수축능 회복을 예측하는 데에 유용하였으며, 세포막의 온전성(integrity)과도 양의 상관관계를 보여 심근의 생존능을 판단할 수 있다고 한다. 우리 연구에서도 Tc-99m 세스타미비 SPECT에서 생존능이 없는 비가역적인 관류결손을 보였던 54개의 분절 중 54%인 29개의 분절에 대하여 N-13 암모니아 PET/CT에서는 가역적인 관류결손으로 나타나 심근 생존능이 있는 것으로 판정되었다. 비록 F-18 FDG PET/CT 혹은 추적검사로 심근기능호전을 증명하지는 못하였지만, Tc-99m 세스타미비 SPECT의 심근 생존능을 판정하는 예민도가 65~85%로 보고된 것을 고려하면<sup>22)</sup>, N-13 암모니아 PET/CT는 Tc-99m 세스타미비 SPECT에서 찾지 못한 생존심근을 확인할 수 있는 검사법으로 생각된다.

우리 연구는 대상 환자의 수가 17명으로 적다는 것과 SPECT에서 비가역적인 변화를 보였으나, N-13 암모니아 PET/CT에서는 가역적인 관류저하를 보였던 병변부위의 생존능에 대하여서 F-18 FDG 심근 PET이나 추적검사 등으로 심근 생존능을 확인하지 못한 제한점이 있다. 또한 PET의 동적영상을 이용한 심근관류의 정량평가를 시행하지 못한 아쉬움이 있다.

결론적으로 N-13 암모니아 PET/CT로 심근관류를 평가하는 것은 Tc-99m 세스타미비 SPECT보다 관상동맥질환의 진단이나 생존심근을 발견하는 데에 민감도와 특이도가 높으므로, 사이클로트론에서 N-13 암모니아를 생산할 수 있는 곳에서는 PET/CT가 유용할 것으로 생각된다.

## 요 약

**목적:** 암모니아의 심근섭취는 심근의 관류나 생존능 및 대사에 관계되어 있으며, N-13 암모니아 PET은 심근의 허혈을 진단하는 데에 유용한 것으로 알려져 있다. 그러나, 아테노신을 이용한 약물부하 심근관류 검사로 N-13 암모니아 PET/CT와 Tc-99m 세스타미비 SPECT 검사를 비교한 연구는 없었다. 이 연구에서는 관상동맥질환이 의심되는 환자에게서 아테노신 약물부하로 N-13 암모니아 PET/CT와 Tc-99m 세스타미비 SPECT를 시행하여 두 검사의 차이를 비교분석하여 N-13 암모니아 PET/CT의 임상 유용성을 알아보았다.

**대상 및 방법:** 관상동맥질환이 의심되는 환자 중 Tc-99m 세스타미비 SPECT와 N-13 암모니아 PET/CT를 동시에 시행할 수 있었고, 검사 1주일 이내 관상동맥조영술을 시행하였던 17명의 환자(남자:13명, 평균연령: 63±11세)를 대상으로 하였다. 아테노신약물 부하 후 N-13 암모니아 PET/CT와 Tc-99m 세스타미비를 검사하여 육안 분석과 정량분석을 실시하였다. **결과:** 관상동맥조영술에서 50% 이상의 협착이 확인된 관상동맥의 진단에 대한 민감도와 특이도는 N-13 암모니아 PET/CT는 91%와 89%로, Tc-99m 세스타미비 SPECT는 65%와 82%로 각각 나타났다. 또한 N-13 암모니아 PET/CT와 Tc-99m 세스타미비 SPECT는 전체에 238분절 중 65%인 154분절에서 동일한 결과를 보였으며, N-13 암모니아 PET/CT는 Tc-99m 세스타미비 SPECT에서 비가역적인 관류결손을 보였던 병변 중 54%에 대하여 가역적인 관류결손을 나타내었다. 협착협관이 관장하는 심근부위에 해당하는 110개의 분절에 대하여 부하기와 휴식기의 계수를 N-13 암모니아 PET/CT와 Tc-99m 세스타미비 SPECT에서 각각 비교하였을 때, 부하기의 비교에서는, 두 검사 간에 유의한 차이를 보이지 않았으나, 휴식기에서는 N-13 암모니아 PET/CT의 계수가 Tc-99m 세스타미비 SPECT의 계수보다 높았으며 ( $p<0.01$ ), 휴식기와 부하기의 계수의 차이도 N-13 암모니아 PET/CT가 Tc-99m 세스타미비 SPECT보다 큰 것으로 나타났다( $p<0.01$ ). **결론:** N-13 암모니아 PET/CT는 Tc-99m 세스타미비 SPECT보다 관상동맥질환의 진단이 정확하고, 가역적인 관류결손을 보인 분절의 수가 많으며, 휴식-부하 관류 차이도 현저하여, 관상동맥질환의 정확한 진단과 함께 심근의 허혈이나 생존능을 더욱 잘 반영하는 것으로 사료된다.

## References

1. Beller GA, Gibson RS. Sensitivity, specificity and prognosis significance of noninvasive testing for occult or known coronary

- disease. *Prog Cardiovasc Dis* 1987;29:241-70.
2. Rozanski A, Berman DS. The efficacy of cardiovascular nuclear medicine studies. *Semin Nucl Med* 1987;27:104-20.
3. Brown KA. Prognostic value of thallium-201 myocardial perfusion imaging. A diagnostic tool comes of age. *Circulation* 1991;83:363-80.
4. Husmann L, Wiegand M, Valenta I, Gaemperli O, Schepis T, Siegrist PT, et al. Diagnostic accuracy of myocardial perfusion imaging with single photon emission computed tomography and positron emission tomography: a comparison with coronary angiography. *Int J Cardiovasc Imaging* 2008;24:511-8.
5. Yoshinaga K, Katoh C, Noriyasu K, Yamada S, Ito Y, Kuge Y, et al. Low-dose dobutamine stress gated SPET for identification of viable myocardium: comparison with stress-rest perfusion SPET and PET. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2002;29(7): 882-90.
6. Di Carli M. Advances in positron emission tomography. *J Nucl Cardiol* 2004;11: 719-32.
7. Bateman TM, Heller GV, McGhie AI, Friedman JD, Case JA, Bryngelson JR, et al. Diagnostic accuracy of rest/stress ECG-gated Rb-82 myocardial perfusion PET : Comparison with ECG gated Tc-99m sestamibi SPECT. *J Nucl Cardiol* 2006;14: 24-33.
8. Hickey KT, Sciacca RR, Bokhari S, Rodriguez O, Chou RL, Faber TL, et al. Assessment of cardiac wall motion and ejection fraction with gated PET using N-13 ammonia. *Clin Nucl Med* 2004;29:243-8.
9. Schelbert HR, Phelps ME, Hoffman EJ, Hang SC, Selin CE, Kuhl DE. Regional myocardial perfusion assessed with N-13 labeled ammonia positron emission computerized axial tomography. *Am J Cardiol* 1979;43:209-18.
10. Schelbert HR, Phelps ME, Huang SC, MacDonald NS, Hansen H, Selin C, et al. N-13 ammonia as an indicator of myocardial blood flow. *Circulation* 1981;63:1259-72.
11. Rauch B, Helus F, Grunze M, Braunwell E, Mall G, Hasselbach WH, et al. Kinetics of N-ammonia uptake in myocardial single cells indicating potential limitations in its applicability as a marker of myocardial blood flow. *Circulation* 1985;71:387-93.
12. Krivokapich J, Huang SC, Phelps ME, MacDonald NS, Shine KI. Dependence of  $^{13}\text{NH}_3$  myocardial extraction and clearance on flow and metabolism. *Am J Physiol* 1982;242:H536-42.
13. Di Carli M. Myocardial perfusion imaging with PET. New York, Springer; 2007. p73-6.
14. Bella GA, Watson DD. Physiological basis of myocardial perfusion imaging with the technetium 99m agent. *Semin Nucl Med* 1991;21:173-81.
15. Canby RC, Silber S, Pohost GM Relations of the myocardial imaging agents Tc MIBI and TI to myocardial blood flow in a canine model of myocardial ischemic insult. *Circulation* 1990;81:289-96.
16. Ayalew A, Marie PY, Menu P, Mertes PM, Hassan N, Danchin N, et al. A comparison of the overall first-pass kinetics of thallium-201 and technetium-99m MIBI in normoxic and low-flow ischaemic myocardium. *Eur J Nucl Med* 2000;27:1632-40.
17. Schwaiger M. Myocardial imaging with PET. *J Nucl Med* 1994; 35:693-698.
18. Waki RL, Buchanan JW. Principles and practice of positron emission tomography. Philadelphia, Lippincott Williams and Wilkins; 2002. p48-65
19. Di Carli M. Myocardial perfusion imaging with PET. New York, Springer; 2007, p34-45.

20. Bateman TM, Cellom SJ. Attenuation correction SPECT myocardial perfusion imaging. *Semin Nucl Med* 2005;35:37-51.
21. De Coster PM, Wijns W, Cauwe F, Robert A, Beckers C, Melin JA. Area-at-risk determination by technetium-99m-hexakis-2-methoxyisobutyl isonitrile in experimental reperfused myocardial infarction. *Circulation* 1990; 82:2152-62.
22. Udelson JE, Coleman PS, Metherall J, Pandian NG, Gomez AR, Griffith JL, et al. Predicting recovery of severe regional ventricular dysfunction: comparison of resting scintigraphy with 201 Tl and 99m Tc-sestamibi. *Circulation* 1994; 89:2552-61.
23. Marshall RC, Leidholdt EM Jr, Zhang DY, Barnett CA. Technetium-99m hexakis 2-methoxy-2-isobutyl isonitrile and thallium-201 extraction, washout, and retention at varying coronary flow rates in rabbit heart. *Circulation* 1990; 82:998-1007.
24. Marzullo P, Sambuceti G, Parodi O. The role of sestamibi scintigraphy in the radioisotopic assessment of myocardial viability. *J Nucl Med* 1992;33: 1925-30.
25. Krivokapich J, Keen RE, Phelps ME, Shine KI, Barrio JR. Effects of anoxia on kinetics of N glutamate and N metabolism in rabbit myocardium. *Circulation Research* 1987;60:505-16.
26. Gewirtz H, Fischman AJ, Abraham S, Gilson M, Strauss HW, Alpert NM. Positron emission tomographic measurements of absolute regional myocardial blood flow permits identification of nonviable myocardium in patients with chronic myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 1994;23:851-9.
27. Kitsiou AN, Bacharach SL, Bartlett ML, Srinivasan G, Summers RM, Quyyumi AA et al. N-ammonia myocardial blood flow and uptake relation to functional outcome of asynergic regions after revascularization. *J Am Coll Cardiol* 1999; 33:678-86.