

Original Article

¹³N-암모니아 심근관류 PET/CT 검사 시 영상 재구성 방법에 따른 관류량 변화와 영상 평가

서울대학교병원 핵의학과
도용호 · 이홍재 · 김진의

Evaluation of Perfusion and Image Quality Changes by Reconstruction Methods in ¹³N-Ammonia Myocardial Perfusion PET/CT

Yong Ho Do, Hong Jae Lee and Jin Eui Kim

Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Hospital, Seoul, Korea

Purpose: The aim of this study was to evaluate changes of quantitative and semi-quantitative myocardial perfusion indices and image quality by image reconstruction methods in ¹³N-ammonia (¹³N-NH₃) myocardial perfusion PET/CT. **Materials and Methods:** Data of 14 (8 men, 6 women) patients underwent rest and adenosine stress ¹³N-NH₃ PET/CT (Biograph TruePoint 40 with TrueV, Siemens) were collected. Listmode scans were acquired for 10 minutes by injecting 370MBq of ¹³N-NH₃. Dynamic and static reconstruction was performed by use of FBP, iterative2D (2D), iterative3D (3D) and iterative TrueX (TrueX) algorithm. Coronary flow reserve (CFR) of dynamic reconstruction data, extent(%) and total perfusion deficit (TPD) (%) measured in sum of 4-10 minutes scan were evaluated by comparing with 2D method which was recommended by vendor. The image quality of each reconstructed data was compared and evaluated by five nuclear medicine physicians through a blind test. **Results:** CFR were lower in TrueX 18.68% ($P=0.0002$), FBP 4.35% ($P=0.1243$) and higher in 3D 7.91% ($P<0.0001$). As semi-quantitative values, extent and TPD of stress were higher in 3D 3.07%p ($P=0.001$), 2.36%p ($P=0.0002$), FBP 1.93%p ($P=0.4275$), 1.57%p ($P=0.4595$), TrueX 5.43%p ($P=0.0003$), 3.93%p ($P<0.0001$). Extent and TPD of rest were lower in FBP 0.86%p ($P=0.1953$), 0.57%p ($P=0.2053$) and higher in 3D 3.21%p ($P=0.0006$), 2.57%p ($P=0.0001$) and TrueX 5.36%p ($P<0.0001$), 4.36%p ($P<0.0001$). Based on the results of the blind test for image resolution and noise from the snapshot, 3D obtained the highest score, followed by 2D, TrueX and FBP. **Conclusion:** We found that quantitative and semi-quantitative myocardial perfusion values could be under- or over-estimated according to the reconstruction algorithm in ¹³N-NH₃ PET/CT. Therefore, proper dynamic and static reconstruction method should be established to provide accurate myocardial perfusion value. (Korean J Nucl Med Technol 2014;18(1):69-75)

Key Words : ¹³N-NH₃ PET/CT, CFR, reconstruction method

서 론

최근 진단 분야에서 PET/CT (positron emission tomog-

raphy/computed tomography)는 종양학 분야는 물론 심장, 신경 등 여러 가지 분야에서 널리 활용되고 있다.¹⁻³⁾ 그 중 심장 분야에서는 ¹³N-ammonia (¹³N-NH₃), ⁸²Rb, ¹⁵O-water 등의 방사성 의약품을 이용하여 다양한 심혈관 질환을 가진 환자의 임상적인 이용과 연구에도 유용하게 쓰이고 있다. ¹³N-NH₃ 심근 관류 PET/CT는 MBF (myocardial blood flow)를 이용한 절대 심근 관류의 측정이 가능하며 심근 관류 SPECT에 비하여 공간 분해능과 대조도가 우수하고 CT를 이용한 보다 정확한 감쇄 보정이 가능하다는 장점을 가

• Received: March 28, 2014. Accepted: April 21, 2014.
• Corresponding author : **Yong Ho Do**
Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Hospital,
101 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 110-744, Korea
Tel: +82-2-2072-3937, Fax: +82-2-747-0208
E-mail: yhd_1981@naver.com

지고 있다.^{4,5)} 심근 관류 PET/CT에 이용되는 방사성의약품 중 $^{13}\text{N-NH}_3$ 는 양전자의 평균에너지가 0.49MeV이며 평균 비정거리가 0.49mm로 공간 해상력이 우수하며 9.96의 짧은 반감기를 가지고 있어 안정기와 부하기 검사를 짧은 시간에 진행할 수 있는 장점을 가지고 있다.⁶⁾ 본 연구에서는 $^{13}\text{N-NH}_3$ PET/CT 검사 시 각 재구성 방법에 따른 정량적, 반 정량적 심근 관류 지표의 변화와 image quality의 변화를 비교하고자 하였다.

실험재료 및 방법

1. 연구 대상

2013년 1월부터 11월까지 서울대학교병원에서 $^{13}\text{N-NH}_3$ PET/CT 검사를 시행받은 14명(평균연령 60.24±7.21세, 평균 몸무게 71.54±7.43kg, 남자 8명, 여자 6명)의 데이터를 분석하였다.



Fig. 1. Siemens Biograph Truepoint 40 with TrueV PET/CT Scanner.

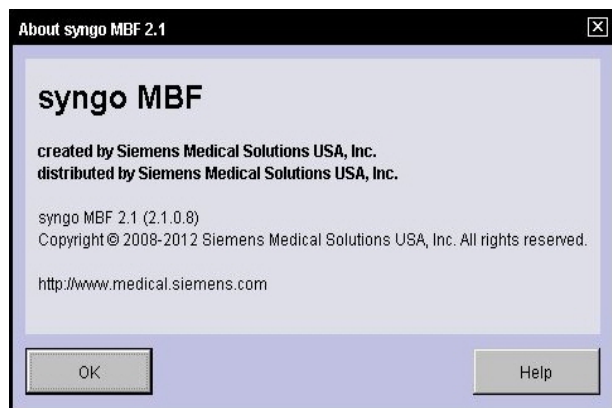


Fig. 2. Syngo MBF version 2.1.0.8.

2. 실험 장비 및 분석 소프트웨어

검사 시 이용된 장비는 Biograph Truepoint40 with TrueV (Siemens medical system, Germany) (Fig. 1)이며 영상 분석에 이용된 소프트웨어는 정량적 심근 관류 평가를 위한 Syngo MBF version 2.1.0.8 (Fig. 2), 반 정량적 심근 관류 평가를 위한 QPS 2009 (Fig. 3) 그리고 image quality 평가를 위한 Syngo MI application version 6.0.14.4 (Fig. 4)가 사용되었다.

3. 검사 방법

1) 전 처치

검사 전 6시간 이상의 NPO를 시행하였으며 카페인을 포함한 음식과 약제는 24시간, aminophylline 계열 약제는 48시간 이상 제한하였다.

2) 영상획득 방법

안정기 검사에서 $^{13}\text{N-NH}_3$ 370 MBq을 순간주사하며 listmode 10분 획득하였다. CT의 영상 획득 조건은 관전압

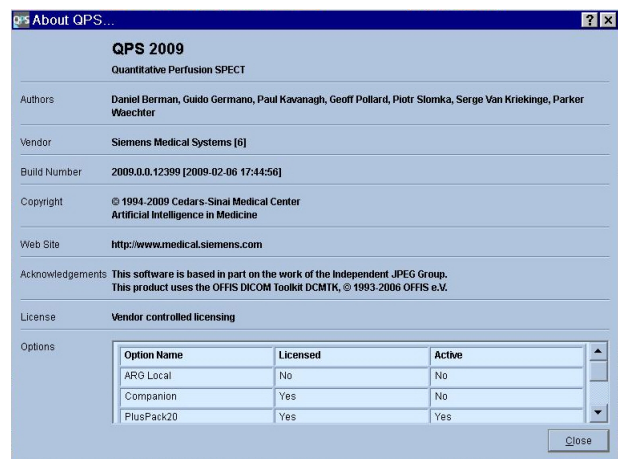


Fig. 3. QPS version 2009.



Fig. 4. Syngo MI application version 6.0.14.4.

120 kVp, 관전류 11 mAs (CareDose4D 적용), collimation 1.2 mm, 슬라이스 두께 3.0 mm, Pitch 1.5, 겐트리 회전시간 0.5 sec로 적용하였다. 안정기 검사 종료 후 부하기 검사까지 최소 30분 이상의 간격을 두었다. 부하기 검사에서 CT 영상 획득 조건은 안정기 검사와 동일하게 적용하였으며 혈압과 심전도를 체크하며 adenosine (0.14 mg/kg/min) 주입 3분에 $^{13}\text{N}\text{-NH}_3$ 370MBq를 순간주사하며 listmode 10분 획득하였다.

3) PET 영상 재구성 방법

안정기, 부하기에서 각 동적, 정적 영상을 재구성 하였다. 동적 영상의 dynamic frame strategy는 10sec×12frame, 30sec×6frame, 60sec×2frame, 180sec×1frame으로 적용하였으며 정적 영상의 경우 240-360 sec의 data를 이용하여 재구

성 하였다. 동적, 정적 영상들은 FBP, iterative2D, iterative3D, TrueX의 방법으로 재구성 되었으며 재구성 parameter로 iteration 4, subsets 8, image size 168, gaussian 5 mm 필터가 적용되었다.

4. 결과 분석

1) 동적 영상을 이용한 정량적 관류 평가

안정기, 부하기의 각 동적 영상을 이용하여 MBF에서 재구성 방법에 따른 RCA, LAD, LCX의 각 territory 별 심근관류와 global, reserve (stress/rest)값을 비교하였다(Fig. 5).

2) 정적 영상을 이용한 반 정량적 관류 평가

안정기, 부하기의 각 정적 영상을 이용 QPS에서 각 재구성 방법에 따른 extent와 TPD (otal perfusion deficit)를 비교하였다(Fig. 6).

3) 정적 영상을 이용한 snapshot image quality 평가

재구성 방법 별 정적 영상의 snapshot을 제작하여 영상의 해상력과 노이즈, 판독의 용이성을 기반으로 핵의학과 판독의 5명의 blind test를 시행하였다(Fig. 7).

결 과

1. 동적 영상을 이용한 정량적 관류 평가

MBF에서 안정기 관류의 변화는 LAD에서 2D, 3D, FBP, TrueX 순으로 관류가 증가하였으며 LCX, RAC에서는 2D, FBP, 3D, TrueX 순으로 관류가 증가하였다(Table 1). 부하

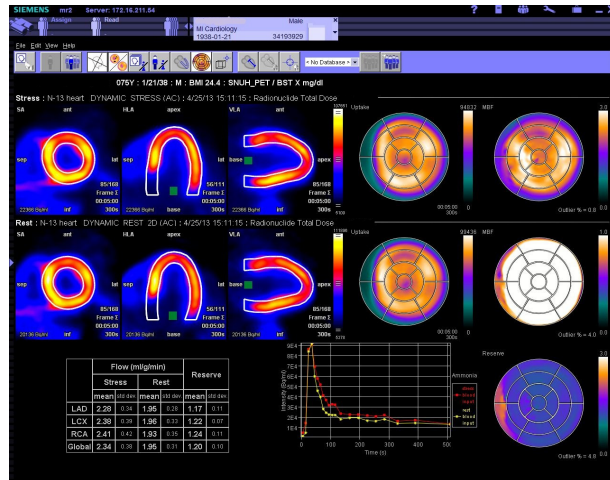


Fig. 5. Quantitative perfusion analysis in MBF.

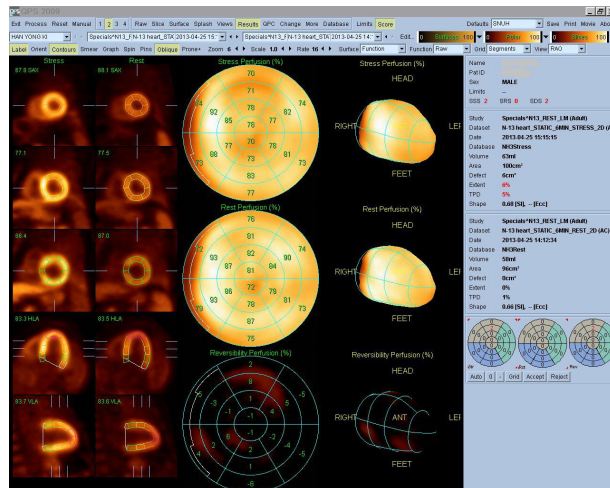


Fig. 6. Semi-quantitative perfusion indices analysis in QPS.

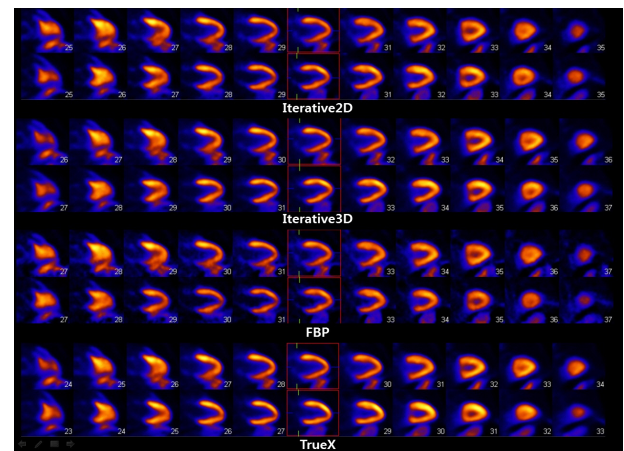


Fig. 7. Image quality comparison in MI application.

Table. 1. Rest perfusion in MBF

		2D	3D	FBP	TrueX
REST	LAD	0.92	0.95	0.99	1.05
	LCX	0.86	0.93	0.89	0.98
	RCA	0.87	0.97	0.95	1.00

Table. 2. Stress perfusion in MBF

		2D	3D	FBP	TrueX
STRESS	LAD	1.90	2.13	1.94	1.75
	LCX	1.93	2.26	1.98	1.76
	RCA	1.91	2.25	1.95	1.82

Table. 3. Rest & Stress global in MBF

		2D	3D	FBP	TrueX
GLOBAL	REST	0.89	0.95	0.95	1.02
	STRESS	1.91	2.20	1.95	1.78

Table. 4. Reserve values in MBF

	2D	3D	FBP	TrueX
Reserve	2.15	2.32	2.05	1.75

CFR(2D-3D)

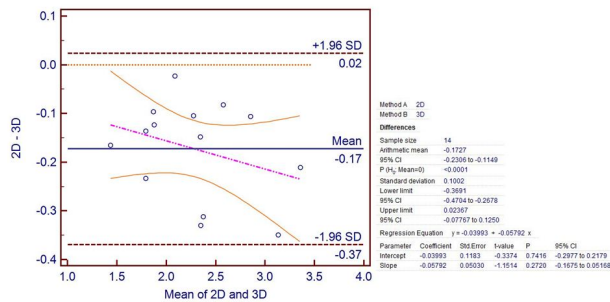


Fig. 8. Bland-altman plot for CFR (2D VS 3D).

CFR(2D-FBP)

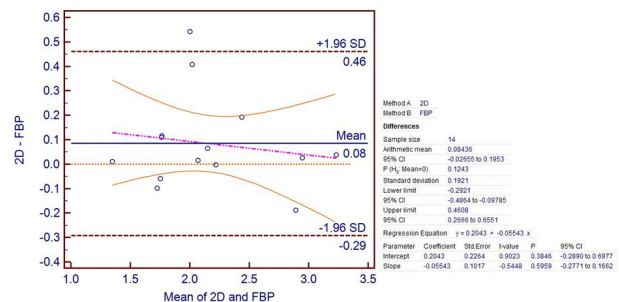


Fig. 9. Bland-altman plot for CFR (2D VS FBP).

기에서는 LAD, LCX, RCA 모두에서 TrueX, FBP, 2D, 3D 순으로 관류가 증가하였다(Table 2). 각 territory의 평균값을 의미하는 global값은 안정기에서 2D, 3D, FBP, TrueX 순으로 부하기에서는 TrueX, 2D, FBP, 3D순으로 관류가 증가하였다(Table 3). 부하기/안정기를 의미하는 reserve값은 TrueX, FBP, 2D, 3D순으로 증가하였으며 vendor에서 권고하는 iterative 2D 대비 3D는 7.91% 증가($P<0.0001$), FBP 4.35% ($P=0.1243$), TrueX 18.68% ($P=0.0002$) 감소된 값을 보였다(Table. 4) (Figs. 8-10).

2. 정적 영상을 이용한 반 정량적 관류 평가

QPS에서 안정기의 extent와 TPD 모두 FBP, 2D, 3D, TrueX 순으로 증가되었으며(Table. 5) 부하기에서는 extent와 TPD 모두 2D, FBP, 3D, TrueX 순으로 증가되었다(Table 6).

Iterative2D 대비 안정기의 extent는 FBP 0.86%p ($P=0.1953$) 감소하였으며 3D 3.21%p ($P=0.0006$), TrueX 5.36%p ($P<0.0001$) 증가하였다(Fig. 11). TPD는 FBP 0.57%p ($P=0.2053$) 감소, 3D 2.57%p ($P=0.0001$), TrueX 4.36%p ($P<0.0001$) 증가하였다(Fig. 12).

Iterative2D 대비 부하기의 extent는 FBP 1.93%p ($P=0.4275$), 3D 3.07%p ($P=0.001$), TrueX 5.43%p ($P=0.0003$) 증가하였고 (Fig. 13), TPD는 FBP 1.57%p ($P=0.4595$), 3D 2.36%p ($P=0.0002$), TrueX 3.93%p ($P<0.0001$) 증가하였으며(Fig. 14) 이는 각 재구성 방법에 따라 결손 부위가 과대 또는 과소평가됨을 의미한다.

4. 정적 영상을 이용한 snapshot image quality 평가

영상의 해상력과 노이즈, 판독의 용이성을 기반으로 핵

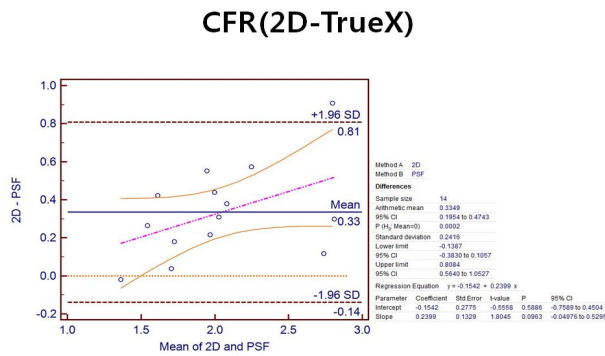


Fig. 10. Bland-altman plot for CFR(2D VS TrueX).

의학과 판독의 5명의 blind test에서는 FBP로 재구성된 영상이 최하위로 평가되었으며 TrueX, iterative2D, iterative3D 순으로 평가되어 iterative3D로 재구성된 영상이 판독 시 가장 우수한 영상을 평가되었다.

결론

심근 관류 PET/CT 시 사용되는 다양한 방사성의약품 중 ¹³N-NH₃는 공간 해상력이 우수하며 짧은 반감기를 가지고 있어 안정기와 부하기 검사를 짧은 시간에 진행할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 영상 획득 후 재구성 방법에 따라 심근의 정량적 관류 값의 차이가 있으며 extent, TPD와 같은 반 정량적 지표에서 결손 부위가 과대 또는 과소평가된다. 본 연구에서는 각 재구성 방법에 따라 vendor에서 권고 되는 iterative2D 대비 정량적 심근 관류의 CFR (coronary flow reserve)는 최소 -18.68%에서 최대 7.91%의 변화를 보였으며 반 정량적 지표들은 안정기에서 extent는 최소 -0.86%p에서 최대 5.36%p, TPD는 최소 -0.57%p에서 최대 4.36%p, 부하기에서 extent는 최소 1.93%p에서 최대 5.43%p, TPD는 최소 1.57%p에서 3.93%p 증가된 값을 보였다. 각 재구성 영상의 snapshot 역시 재구성 방법에 의한 영상 quality의

Table. 5. Rest extent & TPD in QPS

	FBP	2D	3D	TrueX
Extent	2.21	3.07	6.29	8.43
TPD	2.43	3.00	5.57	7.36

Table. 6. Stress extent & TPD in QPS

	2D	FBP	3D	TrueX
Extent	3.64	5.57	6.71	9.07
TPD	3.57	5.14	5.93	7.50

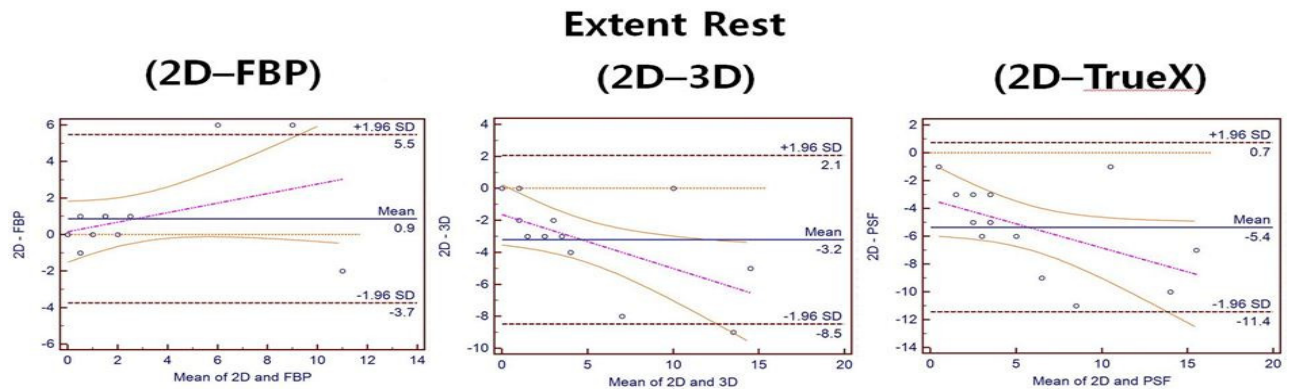


Fig. 11. Bland-altman plot for extent in rest.

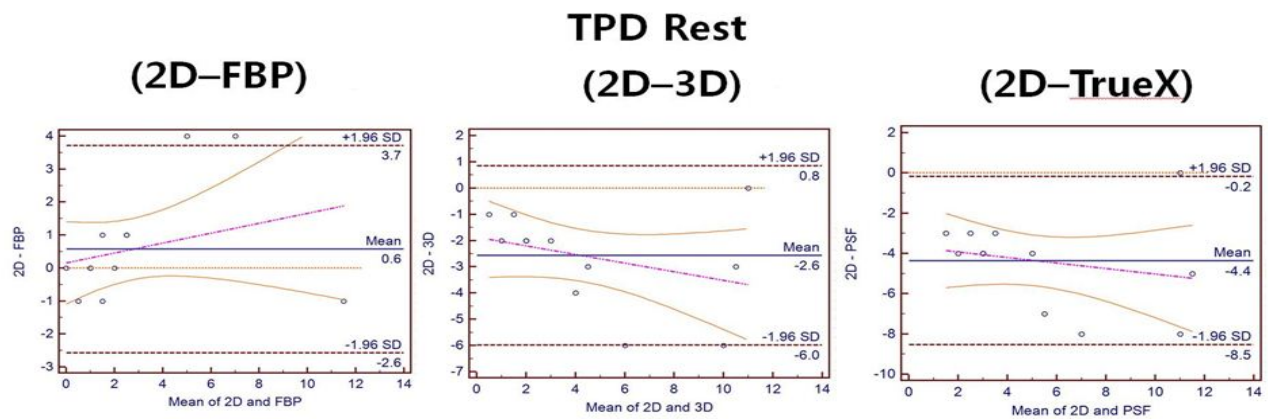


Fig. 12. Bland-altman plot for TPD in rest.

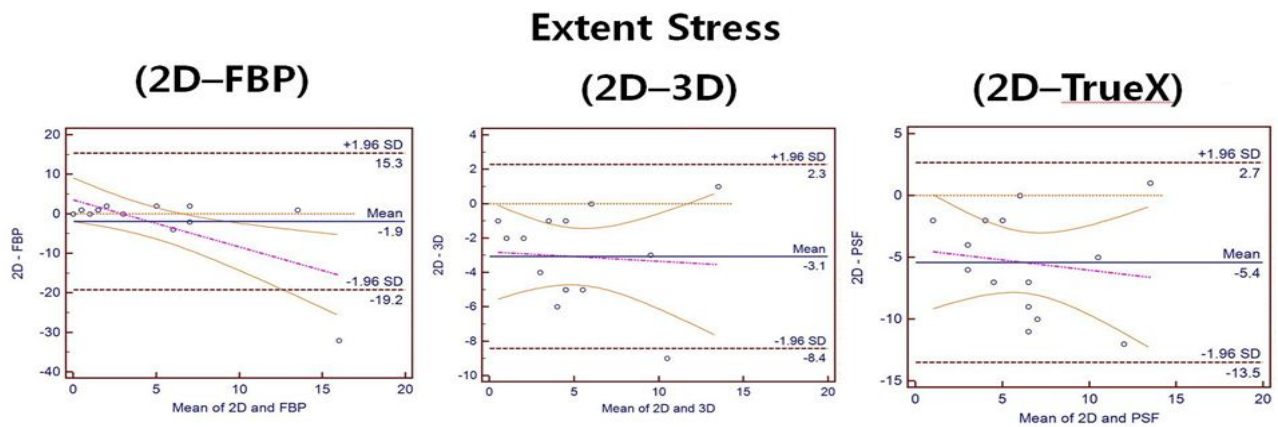


Fig. 13. Bland-altman plot for extent in stress.

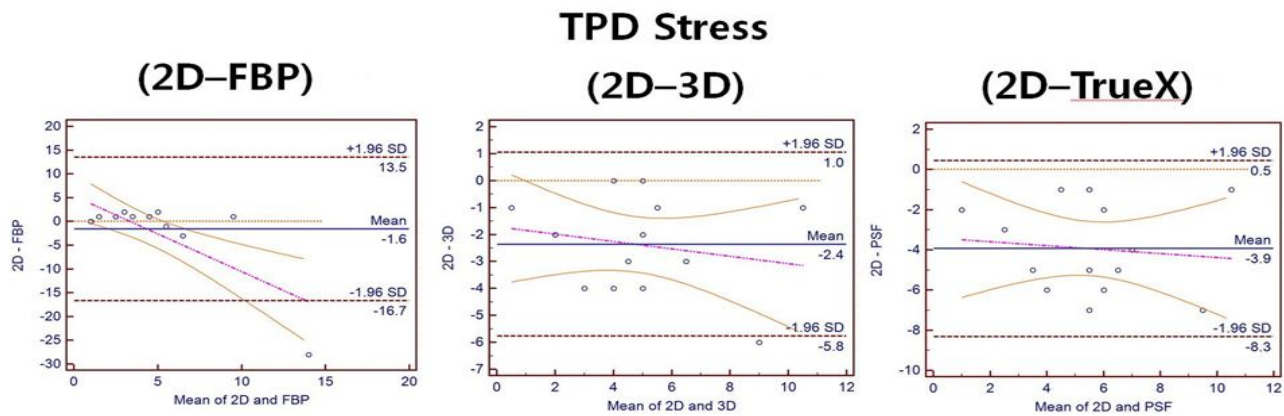


Fig. 14. Bland-altman plot for TPD in stress.

차이를 보였다. 각 병원은 장비에 따른 각 재구성 방법에 의한 정량적 심근 관류의 변화, 반 정량적 지표들의 과대 또는 과소평가 되는 정도를 확인하고 병원 장비의 실정에 적합한 동적, 정적 재구성 방법을 확립하여 진단에 보다 유용하고 정확한 심근 관류 값을 제공하여야 할 것이다.

요 약

최근 진단 분야에서 PET/CT는 종양학 분야는 물론 심장, 신경 등 여러 가지 분야에서 널리 활용되고 있다. 그 중 심장 분야에서 $^{13}\text{N-NH}_3$ 심근 관류 PET/CT는 MBF를 이

용한 절대 심근 관류의 측정이 가능하며 심근 관류 SPECT에 비하여 공간 분해능과 대조도가 우수하고 CT를 이용한다. 보다 정확한 감쇄 보정이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 ^{13}N - NH_3 PET/CT 검사 시 각 재구성 방법에 따른 정량적 심근 관류, 반정량 심근 관류 지표의 변화와 image quality의 변화를 비교하였다.

2013년 1월부터 11월까지 서울대학교병원에서 ^{13}N - NH_3 PET/CT 검사를 시행받은 14명(평균연령 60.24 ± 7.21 세, 평균 몸무게 71.54 ± 7.43 kg, 남자 8명, 여자 6명)의 데이터를 분석하였다. 안정기, 부하기 각 10분 listmode scan의 data를 이용 동적, 정적 영상을 FBP, iterative2D, Iterative3D, TrueX의 재구성 방법을 이용하여 재구성하였다.

안정기, 부하기의 각 동적 영상을 이용하여 MBF에서 재구성 방법에 따른 RCA, LAD, LCX의 각 territory 별 심근 관류와 global, reserve (stress/rest)값을 비교하였다. 또한 정적 영상을 이용 QPS에서 각 재구성 방법에 따른 extent와 TPD를 비교하였으며 재구성 방법 별 정적 영상의 snapshot을 제작하여 영상의 해상력과 노이즈, 판독의 용이성을 기반으로 핵의학과 판독의 5명의 blind test를 시행하였다.

각 재구성 방법에 따라 vendor에서 권고 되는 iterative2D 대비 정량적 심근 관류의 CFR은 최소 -18.68% ($P=0.0002$)에서 최대 7.91% ($P<0.0001$)의 변화를 보였으며, 반 정량적 지표들은 안정기에서 extent는 최소 -0.86%p ($P=0.1953$)에서 최대 5.36%p ($P<0.0001$), TPD는 최소 -0.57%p ($P=0.2053$)에서 최대 4.36%p ($P<0.0001$), 부하기에서 extent는 최소 1.93%p ($P=0.4275$)에서 최대 5.43%p ($P=0.0003$), TPD는 최소 1.57%p ($P=0.4595$)에서 3.93%p ($P<0.0001$) 증가된 값을 보였다. 영상의 해상력과 노이즈, 판독의 용이성을 기반으로 핵의학과 판독의 5명의 blind test에서는 FBP로 재구성된 영상이 최하위로 평가 되었으며 TrueX, iterative2D,

iterative3D 순으로 평가되어 iterative3D로 재구성된 영상이 판독 시 가장 우수한 영상을 평가되었다.

각 병원은 장비에 따른 각 재구성 방법에 의한 정량적 심근 관류의 변화, 반 정량적 지표들의 과대 또는 과소평가되는 정도를 확인하고 병원 장비의 실정에 적합한 동적, 정적 재구성 방법을 확립하여 진단에 보다 유용하고 정확한 심근 관류 값을 제공하여야 할 것이다.

REFERENCES

1. Machac J, Bacharach SL, Bateman TM, Bax JJ, Beanlands R, Bengel F, et al. Positron emission tomography myocardial perfusion and glucose metabolism imaging. *J Nucl Cardiol* 2006; 13:121-151.
2. Beanlands R, Chow BJ, Dick A, Friedrich MG, Gulenchyn KY, Kiess M, et al. CCS/CAR/CANM/CNCS/CanSCMR joint position statement on advanced non-invasive cardiac imaging using positron emission tomography, magnetic resonance imaging and multi-detector computed tomographic angiography in the diagnosis and evaluation of ischemic heart disease abbreviated report. *Can J Cardiol* 2007;23:107-119.
3. Machac J. Cardiac positron emission tomography imaging. *Semin Nucl Med* 2005;35:17-36.
4. Bateman TM, Heller GC, 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.
5. Di Carli M. Advances in positron emission tomography. *J Nucl Cardiol* 2004;11:719-732.
6. Hickey KT, Sciacca RR, Bokhari S, Rodrigues Q, Chou RL, Faber TL, et al. Assessment of cardiac wall motion and ejection fraction with gated PET imaging N-13 ammonia. *Clin Nucl Med* 2004;29:243-248.