

Original Article

Dual detector system에서 Brain SPECT의 new reconstruction method의 연구

서울대학교병원 핵의학과

이형진 · 김수미 · 이홍재 · 김진의 · 김현주

The Study of New Reconstruction Method for Brain SPECT on Dual Detector System

Hyung Jin Lee, Hong Jae Lee, Jin Eui Kim, Hyun Joo Kim

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

Purpose: Brain SPECT study is more sensitive to motion than other studies. Especially, when applying 1-day subtraction method for Diamox SPECT, it needs shorter study time in order to prevent reexamination. We were required to have new study condition and analysing method on dual detector system because triple head camera in Seoul National University Hospital is to be disposed. So we have tried to increase image quality and make the dual and triple head to have equivalent study time by using a new analysing program. **Materials and Methods:** Using IEC phantom, we estimated contrast, SNR and FWHM. In Hoffman 3D brain phantom which is similar with real brain, we were on the supposition that 5% of injected doses were distributed in brain tissue. To compare with existing FBP method, we used fan-beam collimator. And we applied 15 sec, 25 sec/frame for each SEPCT studies using LEHR and LEUHR. We used OSEM2D and Onco-flash3D reconstruction method and compared reconstruction methods between applied Gaussian post-filtering 5mm and not applied as well. Attenuation correction was applied by manual method. And we did Brain SPECT to patient injected 15 mCi of ^{99m}Tc -HMPAO according to results of Phantom study. Lastly, technologist, MD, PhD estimated the results. **Results:** The study shows that reconstruction method by Flash3D is better than exiting FBP and OSEM2D when studied using IEC phantom. Flowing by estimation, when using Flash3D, both of 15 sec and 25 sec are needed post-filtering 5 mm. And 8 times are proper for subset 8 iteration in Flash3D. OSEM2D needs post-filtering. And it is proper that subset 4, iteration 8 times for 15sec and subset 8, iteration 12 times for 25sec. The study regarding to injected doses for a patient and study time, combination of input parameter-15 sec/frame, LEHR collimator, analysing program-Flash3D, subset 8, iteration 8times and Gaussian post-filtering 5mm is the most appropriate. On the other hands, it was not appropriate to apply LEUHR collimator to 1-day subtraction method of Diamox study because of lower sensitivity. **Conclusions:** We could prove that there was also an advantage of short study time effectiveness in Dual camera same as Triple gamma camera and get great result of alternation from existing fan-beam collimator to parallel collimator. In addition, resolution and contrast of new method was better than FBP method. And it could improve sensitivity and accuracy of image because lesser subjectivity was input than Metz filter of FBP. We expect better image quality and shorter study time of Brain SPECT on Dual detector system. (*Korean J Nucl Med Technol* 2009;13(1):57-62)

Key Words : Brain SPECT, OSEM 2D, FLASH3D, FBP, Metz filter

서론

- Received: November 18, 2008. Accepted: December 17, 2008.
- Corresponding author: Hyung Jin Lee
Department of nuclear medicine, Seoul National University Hospital, 28 Yeongeon-dong, Jongno-gu, Seoul, 110-744, Korea
Tel: +82-2-2072-2532, Fax: +82-2-766-9083
E-mail: jini0521@naver.com

Brain SPECT 검사는 뇌혈관 질환과 뇌종양의 진단 및 간질, Alzheimer's disease의 진단에 적용되는 검사로서 타 검사에 비해 환자의 움직임으로 인한 실패율이 가장 많은 검사이다.¹⁾ 특히 Diamox SPECT의 1-day protocol을 적용할 경우 무엇

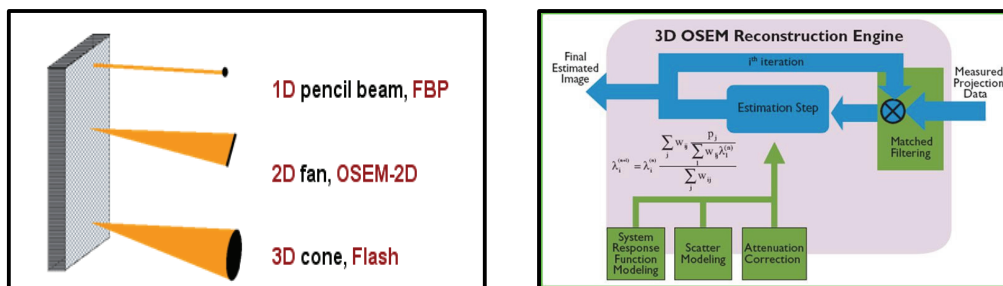


Fig. 1. Beam models used in different algorithms & 3D iterative method.

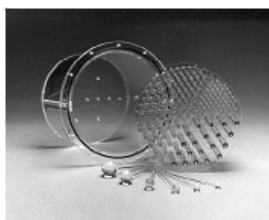


Fig. 2. Jaszczak phantom.



Fig. 3. Hoffman 3D Phantom.

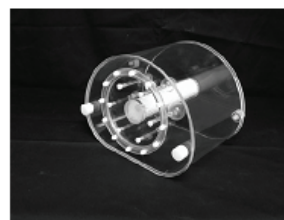


Fig. 4. IEC phantom.

Table 1. volunteer test summary

Date	Scanner	Collimator	cps	Scan time	Total Count
08/08 (pm 7:10)	E.CAM3 (Normal)	LEHR	1.5	32 sec T _{ST} : 34 min	5,931,948
08/12 (pm 8:00)	E.CAM3 (Short)	LEAP	2.3	15 sec T _{ST} : 16 min	4,116,391
08/12 (pm 8:20)	PRISM3000 (Normal)	Fan-beam (FB)	2.7	20 sec T _{ST} : 13.3 min	6,079,541
08/22 (am 9:30)	E.CAM3 (Short)	LEHR	1.8	20 sec T _{ST} : 21 min	4,699,939
08/30 (am 9:30)	E.CAM3 (Short)	LEUHR	1.1	20 sec T _{ST} : 21 min	2,714,945

TST; total scan time, Unit; Kcount/sec (cps), sec/view (scan time).

보다 짧은 검사 시간이 요구된다.⁶⁾ 본원의 Triple head gamma camera의 폐기 계획으로 인하여 시행하지 않았던 Dual gamma camera에서의 Brain SPECT의 연구가 필요하게 되었고, 이에 필자는 본원에서 가장 많이 보유하고 있는 Siemens E.CAM dual gamma camera의 Flash-3D 재구성법을 이용하여 Dual detector system에서의 적절한 검사 조건과 collimator의 변화와 재구성방법의 비교를 통한 다양한 결과를 제시하고자 한다. 단순 역투사 방법은 방사선원의 위치에 대한 정보만 제공할 뿐 방사선원의 정확한 세기는 알 수 없으며 방사선원의 분포가 복잡할수록 배경잡음이 증가되어 재구성된 영상의 대조도가 낮아지므로 방사선원의 위치에 대한 정확한 정보를 얻기 어렵다.⁴⁾ 반면에 방출단층영상에 적용되어 그 성능이 입증된 기대값 최대화(expectation maximization, EM) 알고리즘은 광자의 투사과정을 통계적으로 표현하여 정확한 영상을 재구성

할 수 있으므로 이를 영상재구성에 적용할 경우 FBP에 비해 월등히 향상된 영상을 기대할 수 있다.³⁾ 연구에 사용된 Flash 3D는 새로운 3D OSEM Reconstruction 방식을 채택함으로써 noise를 줄이고 image quality를 PET장치와 유사한 수준까지 향상시킨 기술로서 촬영시간을 반으로 줄여 보다 적은 count로도 기존 full time acquisition한 이미지와 동질의 이미지를 구현할 수 있는 재구성법이다. 모든 연구는 동등한 검사 시간으로 fan-beam을 사용하였던 Triple gamma camera보다 parallel을 사용한 Dual gamma camera에서 보다 우수한 영상을 구현하고자 하는 목표를 지향하였다.

실험재료 및 방법

1. 실험 기기 및 재료

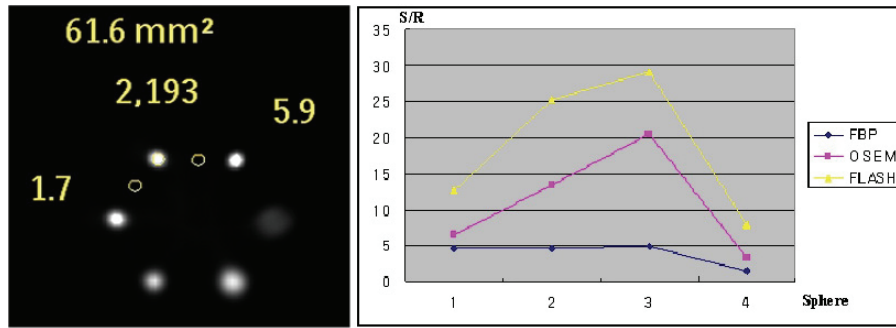


Fig. 5. ROIs of IEC phantom for comparing SNR & result graph.

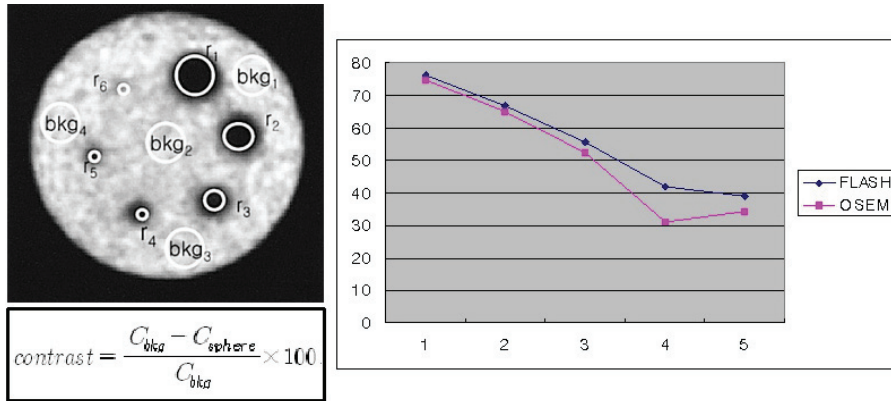


Fig. 6. ROIs of Jaszczak phantom for comparing contrast & result graph.

- ▶ E.CAM-signature (Siemens)
- ▶ PRISM 3000 (PICKER)
- ▶ Flanged Jaszczak ECT phantom
- ▶ Body IEC phantom
- ▶ Hoffman 3D phantom
- ▶ Volunteer

2. 실험 방법

- 1) Body IEC phantom과 Jaczack performance phantom을 이용하여 SNR과 contrast를 비교하였다.
- 2) Hoffman 3D phantom을 이용한 실험에서는 인체에 투여량의 5%가 뇌 조직에 분포한다고 가정하고 0.625 mCi/L (=15 mCi×0.05/1.2L)를 주입하였다. 팬텀안의 아주 미세한 air bubble은 실제 defect라 가정하여 무시하였고 모든 실험은 15% energy window, matrix size 128×128로 하였다.
 - ① fan-beam의 비교를 위하여 PRISM3000과 E.CAM에서 50k counts/frame를 만족하도록 영상을 획득하였다.

- ② LEHR을 이용하여 50k counts/frame를 만족하는 25 sec/frame SPECT를 실시하였다(normal scan).
- ③ LEHR을 이용하여 E.CAM에서 normal scan의 3/5 count (35k counts)를 만족하는 15 sec/frame SPECT를 실시하였다(short scan).
- ④ LEAP와 LEUHR의 실험도 추가적으로 실시하였다.
- 3) E.CAM의 영상 분석 시 FBP, OSEM2D, OSEM3D의 비교를 위하여 Body IEC phantom으로 실험을 실시하였다.
- 4) phantom 실험을 바탕으로 volunteer test를 실시하였다. ^{99m}Tc-HMPAO 15 mCi를 사용하였으며 임상적으로 dia-mox 1-day protocol 적용을 고려하여 검사시간을 20 sec/frame로 실시해보았다.

결 과

• Flash 3D를 방법과 FBP의 비교

IEC phantom과 Jaszczak phantom을 이용한 실험에서 Flash-3D를 이용한 재구성법의 결과들이 기존의 FBP와 OSEM-2D

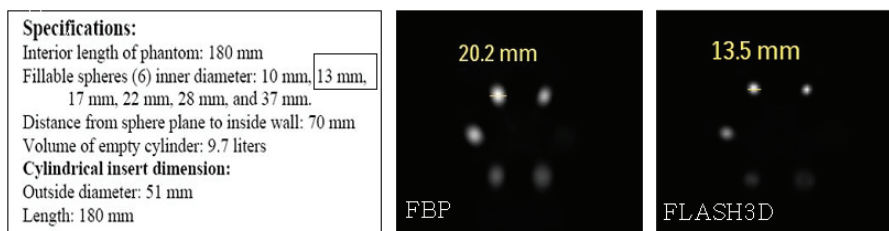


Fig. 7. Specification of IEC phantom & Comparison FLASH3D with FBP.

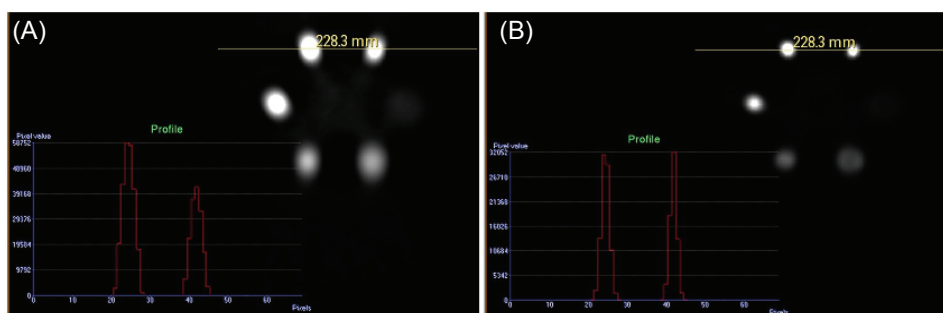


Fig. 8. Profile for comparing FBP (A) with FLASH3D (B).

보다 월등히 정확함을 정성적으로 확인하였다.

Hoffman 3D phantom을 이용한 실험에서는 Flash-3D를 사용하였을 때 15 sec와 25 sec 모두 Gaussian post-filtering 5 mm가 필요하였고, subset:8을 기준으로 iteration 4, 8, 12의

비교에서는 8회와 12회가 가장 적절하였다. 그러나 반복횟수가 적을수록 post-filtering의 적용에 따른 유의한 차이가 없었다. OSEM2D는 반드시 post-filtering이 필요하였고, 15 sec 영상은 subset 8과 iteration:4, 25 sec영상은 subset: 8과 iteration: 8, 12의 조건이 적절하였다. 환자의 투여량과 검사시간을 고려한 human 실험에서는 acquisition 조건 20 sec/frame와 LEHR collimator, 분석 프로그램 Flash-3D와 subset:8에 iteration: 8, 12회, Gaussian post-filtering 5~7 mm의 조합이 가장 적절하였다. LEUHR collimator는 sensitivity 저하로 Diamox검사 시 1-day subtraction protocol을 적용하기에는 임상적으로 부적합하였다. 영상의 평가는 핵의학과 판독의들과 방사선사들의 blind test로 시행하였다.

1) Normal scan vs short scan

35k counts/frame 정도를 만족하는 short scan과 50k counts/frame를 만족하는 normal scan은 같은 FLASH-3D 재구성법을 사용하였을 때 판독에 있어서 육안적인 유의한 차이는 없었다. 단지 gaussian post filtering의 5 mm, 7 mm의 미세한 차이만 있었다. 그러나 scan time이 길수록 즉, raw data의 count가 많을수록 그리고 iteration 횟수가 적을수록 post filtering의 적용유무에 따른 유의한 차이가 없었다. FBP와 OSEM2D는 normal scan과 short scan의 비교에서 영상의 차이가 큰 것으로 나타났다.

2) LEAP/LEHR/LEUHR

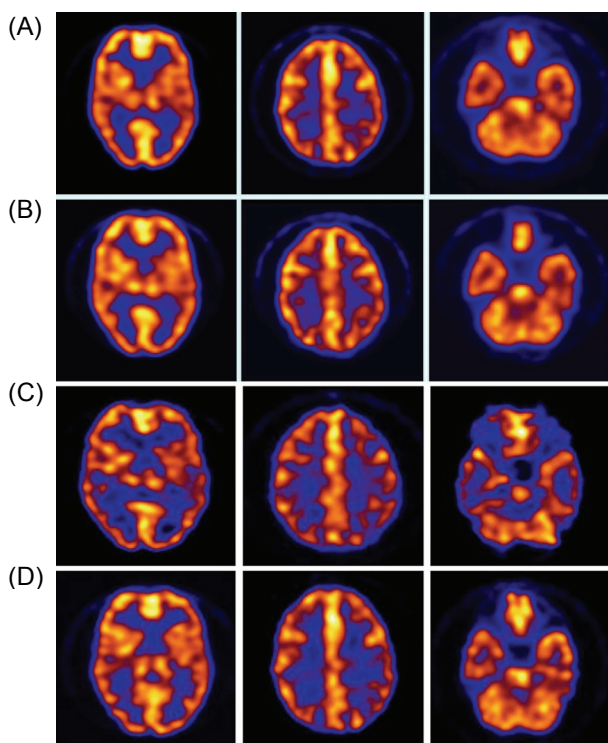


Fig. 9. Scan time 변화에 따른 영상변화. (A) FLASH3D/15sec, (B) FLASH3D/25sec, (C) OSEM2D/15sec, (D) OSEM2D/25sec.

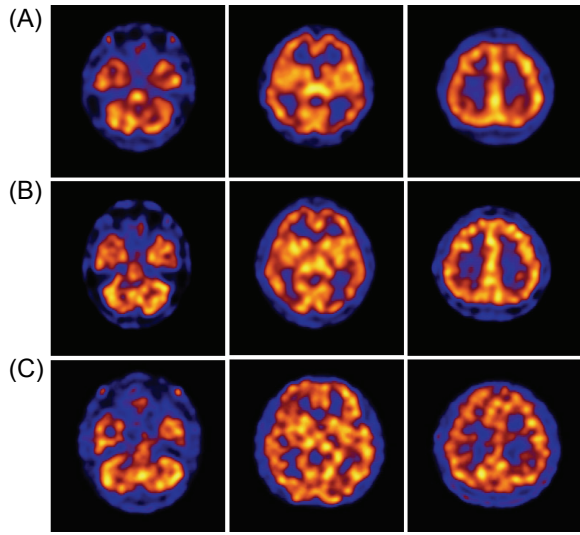


Fig. 10. collimator에 따른 영상의 변화. (A) LEAP, (B) LEHR, (C) LEUHR.

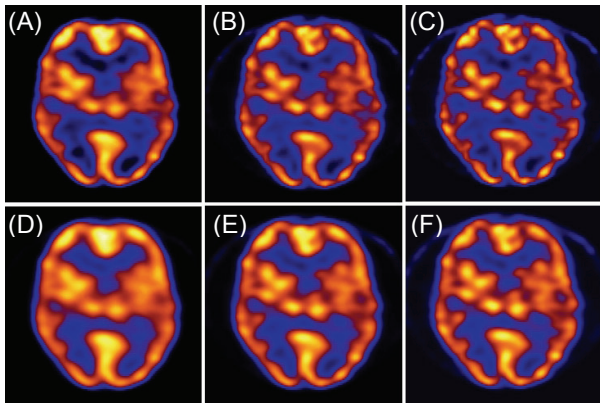


Fig. 11. (A) Iteration 4, non post filter (B) Iteration 8, non post filter (C) Iteration 12, non post filter (D) Iteration 4, gaussian 5 mm (E) Iteration 8, gaussian 5 mm (F) Iteration 12, gaussian 5 mm.

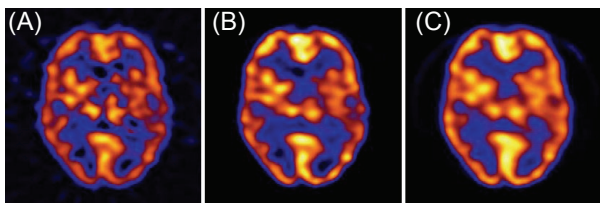


Fig. 12. (A) FBP, (B) OSEM2D, (C) FLASH3D.

FLASH-3D 재구성법으로 영상을 분석하였고 LEHR > LEAP > LEUHR의 순위가 매겨졌다.

LEUHR은 보다 많은 시간을 부여하면 좋은 영상이 획득될 수 있겠지만, 1 day protocol을 고려한 20 sec/frame에서는 raw data의 count 부족으로 임상에 적용하기엔 부적합하였다. LEAP는 raw data의 count는 충분했지만 contrast와 sharpness 등 전체적인 영상이 기존의 fan-beam을 이용한 PRISM3000과

유사하였다.

3) Subset 8의 iteration 변화(Fig. 11)

4) FBP VS OSEM2D VS OSEM3D

E.CAM의 parallel collimator를 이용한 실험에서 25 sec/frame를 획득한 normal scan은 OSEM2D와 FLASH3D의 큰 차이는 없었지만 부분적으로 FLASH3D의 영상에서 contrast가 좋아지는 효과를 확인할 수 있었다. 반면 15 sec/frame를 획득한 short scan에서는 OSEM2D와 FLASH3D의 영상의 차이가 두드러졌고 Raw data의 count가 적은 short scan에서는 OSEM2D를 적용하기에 어려움이 있었다. FBP방식은 normal scan과 short scan 모두 noise signal로 인하여 적절한 영상을 구현하기에 어려움이 있었고, 동일한 count를 획득한 raw data에서도 Flash3D와 비교했을 때 마치 count가 부족한 것과 같은 영상이 도출되었다.

결론 및 고찰

Triple detector의 시장성 축소로 인하여 Dual detector에서의 brain SPECT 검사가 증가하고 있고 검사시간의 단축을 위한 장비회사의 다양한 프로그램이 개발되고 있지만 그에 적용은 parallel collimator에만 국한되어진다. 이에 본 연구는 기존의 Triple detector에서 Fan-beam collimator를 이용한 짧은 검사시간과 공간분해능의 장점을 dual detector에서 LEHR과 OSEM3D의 조합을 통하여 효율적인 검사시간과 우수한 영상을 도출하는데 목적이 있다.²⁾ 단순한 phantom 실험에서는 Dual detector에서 fan-beam을 이용한 결과가 우수하였지만 임상적으로 적용하였을 시 환자의 검사시간을 고려하였을 때 1 day protocol을 시행하기엔 어려움이 있었다.

OSEM2D로 영상을 분석할 때는 Raw data의 count가 충분해야 매개변수에 따른 재구성 영상이 우수하였고, gaussian post-filtering도 반드시 필요한 반면, OSEM3D는 다소 부족한 Raw data의 count로도 우수한 영상을 도출할 수 있었고 Resolution과 sharpness 등이 살아나는 효과를 확인할 수 있었다.^{3,4)} 또한 충분히 count를 확보한 raw data일 경우에는 gaussian post-filtering의 적용 유무에 따른 유의한 차이가 없었다.³⁾ 연구를 통한 결과에서 볼 때 OSEM3D 영상분석 프로그램이 비교적 고가이지만, Dual detector system에서의 1 day protocol brain SPECT 시 Fan-beam보다 sensitivity가 떨어지는 parallel collimator의 단점을 보완하면서 영상의 질 또한 de-noising과 scatter correction, resolution recovery 등의 효과를 얻을 수 있으므로 brain SPECT의 신속한 검사에

유용할 것으로 사료된다. 그러나 이러한 half-time method라 제공되는 다양한 프로그램의 임상적용에 대한 광범위한 연구가 현실적으로 필요하며 향후 계속적인 연구가 기대되는 바이다.

요 약

목적 : 기존의 fan-beam을 이용한 triple detector system에서 parallel collimator를 이용한 dual detector system으로 변화에 있어 acquisition과 processing 부분에서 발생할 수 있는 여러 가지의 변수를 phantom과 volunteer test를 통하여 실험해 보았다. 1 day protocol brain spect를 위하여 parallel collimator에서만 적용되는 OSEM2D와 OSEM3D의 비교·분석을 중점으로 하였고, 모든 연구는 동등한 검사시간으로 fan-beam을 사용하였던 Triple gamma camera보다 parallel을 사용한 dual camera에서 보다 우수한 영상을 구현하고자 하는 목표를 지향하였다.

실험재료 및 방법 : Normal time scan과 short time scan을 실시하였고, collimator 변화에 따른 영상의 변화도 알아보았다. Jaczack performance phantom과 Body IEC phantom을 이용하여 SNR과 contrast를 평가해보았고 Hoffman 3D phantom의 실험을 거쳐 volunteer test를 실시하였다.

결과 : Normal time과 short time의 비교에서는 FLASH3D를 제외한 OSEM2D와 FBP는 분석방법으로 부적합하였다. LEAP는 resolution과 sharpess 등 전체적인 영상의 질이 기존의 fan-beam을 이용한 영상과 유사하였고, LEUHR은

감도의 저하로 1 day protocol을 적용하기 위한 scan time에는 부적합하였다. 재구성법의 비교에서는 Flash-3D를 이용한 결과들이 기존의 FBP와 OSEM-2D보다 월등히 정확함을 정성적으로 확인하였다.

결론 : OSEM3D 재구성법으로 Dual detector system에서의 1 day protocol brain SPECT 시 Fan-beam보다 sensitivity가 떨어지는 parallel collimator의 단점을 보완하면서 영상의 질 또한 de-noising과 scatter correction, resolution recovery 등의 효과를 얻을 수 있으므로 1 day protocol brain SPECT의 검사의 적용에 유용할 것으로 사료된다. 그러나 이러한 half-time method라 제공되는 다양한 프로그램의 임상적용에 대한 광범위한 연구가 현실적으로 필요하며 향후 계속적인 연구가 기대되는 바이다.

REFERENCES

1. 고창순 외. 제2판 핵의학. 고려의학.1997. p.395-417.
2. Walter Koch MD, Cristine Hamann MD, Julia Wesch MD. Is iterative reconstruction an alternative to filtered back projection in routine processing of dopamine transporter SPECT studies? *The journal of Nuclear Medicine* 2005;46:7-8.
3. Alain Seret, Ronald Boellaard, Arno van der Weerd. Number of iterations when comparing MLEM/OSEM with FBP. *The journal of Nuclear Medicine* 2004;45:2125-2126.
4. Kim SM, Lee JS, Lee MN, Lee JH, Kim JH, Kim CH, et al. Optimization Study for OS-EM Image Reconstruction in Compton Camera. 34th KOSOMBE Conference 2. 2006;Nov:17-20.