

Original Article

Brain SPECT 검사 시 Dynamic Continuous Mode의 유효성 평가

삼성서울병원 핵의학과

박선명 · 김수영 · 최성욱

The Evaluation of Dynamic Continuous Mode in Brain SPECT

Park Sun Myung, Kim Soo Yung and Choi Sung Wook

Department of Nuclear Medicine, Samsung Medical Center, Seoul, Korea

Purpose During Brain SPECT study, critical factor for proper study with ^{99m}Tc -ECD or ^{99m}Tc -HMPAO is one of the important causes to patient's movement. It causes both improper diagnosis and examination failure. In this study, we evaluated the effect of Dynamic Continuous Mode Acquisition compared to Step and Shoot Mode to raise efficacy and reject the data set with movement, as well as, be reconstructed in certain criteria.

Materials and Methods Deluxe Jaszczak phantom and Hoffman 3D Brain phantom were used to find proper standard data set and exact time. Step and Shoot Mode and Dynamic Continuous Mode Acquisition were performed with SymbiaT16. Firstly, Deluxe Jaszczak phantom was filled with $\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$ 370 MBq and obtained in 60 minutes to check spatial resolution compared with Step and Shoot Mode and Dynamic Continuous Mode. The second, the Hoffman 3D Phantom filled with $\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$ 74 MBq was acquired for 15 Frame/minutes to evaluate visual assessment and quantification. Finally, in the Deluxe Jaszczak phantom, Spheres and Rods were measured by MI Apps program as well as, checking counts with the frontal lobe, temporal lobe, occipital lobe, cerebellum and hypothalamus parts was performed in the Hoffman 3D Brain Phantom.

Results In Brain SPECT Study, using Dynamic Continuous Mode rather than current Step and Shoot Mode, we can do the reading using the 20 to 50 % of the acquired image, and during the test if the patient moves, we can remove unneeded image to reduce the rate of restudy and reinjection.

Conclusion Dynamic Continuous Mode in Brain study condition enhances effects compared to Step and Shoot Mode. And also is powerful method to reduce reacquisition rate caused by patient movement. The findings further indicate that it suggest rejection limit to maintain clinical value with certain reconstruction factors compared with Tomo data set. Further examination to improve spatial resolution, SPECT/CT should be the answer for that.

Key Words SPECT, Step and Shoot Mode(SSM), Dynamic Continuous Mode(DCM), Filtered Back Projection(FBJ), Iteration Reconstruction(IR)

서 론

본원에서 시행하는 Brain SPECT 검사는 ^{99m}Tc -ECD 또는

^{99m}Tc -HMPAO를 주사한 후 뇌 영상을 얻어 뇌 관류상태를 평가하는 검사이다.¹⁾ 하지만 검사 중 일부 환자 상태가 불안정할 경우 움직임이 발생하여 재촬영이나 검사실패로 이어지는 경우가 발생 된다(Fig. 1).^{2,3)} 이에 현재의 Step and Shoot Mode (SSM)이 아닌 움직임이 발생되더라도 재구성을 통해 재촬영 없이 영상 구현이 가능한 Dynamic Continuous Mode (DCM)를 적용하여 환자의 재촬영과 피폭선량을 감소시키고 검사실에 운영 효율성을 높일 수 있는지 증명하여 보고자 한다.

· Received: April 28, 2017 Accepted: May 10, 2017

· Corresponding author : Sun Myung Park

Address for correspondence : Department of Nuclear Medicine,
Samsung Seoul Hospital, Ilwon-dong, Kangnam-gu, Seoul, Korea
Tel.: +82-2-3410-6285, Fax.: +82-2-3410-6284

E-mail: simam.park@samsung.com

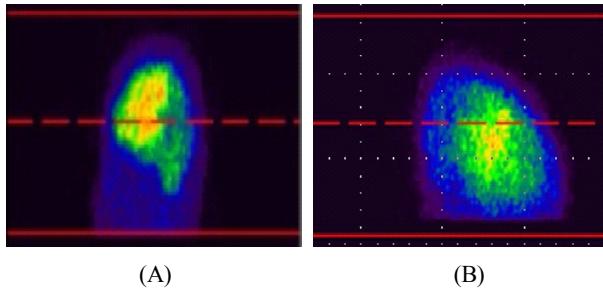


Fig. 1. Without motion During Brain SPECT(A) With motion During Brain SPECT(B)

실험재료 및 방법

1. 팬텀정보

첫 번째 사용한 팬텀은 Deluxe Jaszczak phantom으로 Cold Rod Diameters(4.8, 6.4, 7.9, 9.5, 11.1 and 12.7 mm)과 Solid Sphere Diameters(9.5, 12.7, 15.9, 19.1, 25.4 and 31.8 mm)으로 구성 되어 있으나 Cold Rod만 이용하여 평가 하였다.⁴⁾ 두 번째 사용한 팬텀으로는 Hoffman 3D Brain Phantom으로 전두엽, 후두엽, 측두엽, 소뇌, 시상하부를 평가하였다(Fig. 2).⁵⁾

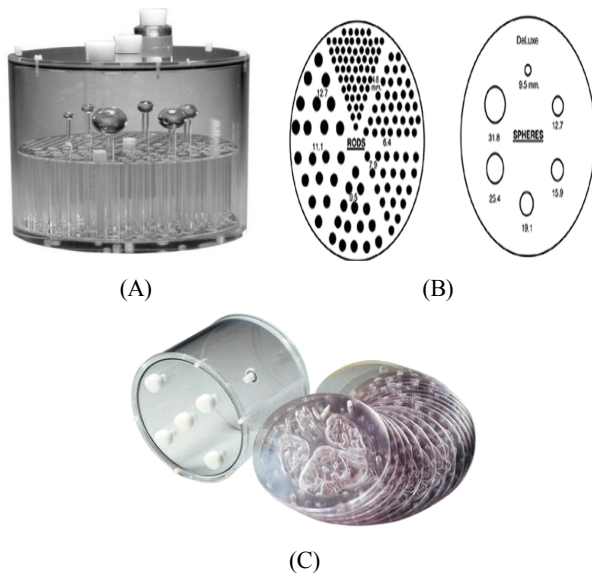


Fig. 2. (A) (B) Cold Rod in Deluxe Jaszczak Phantom (C) Hoffman 3D Brain Phantom were used.

2. 검사 장비와 검사 방법 및 조건

장비로는 Siemens사의 Symbia T16 SPECT/CT(Siemens medical system, Germany)이며(Fig. 3) Deluxe Jaszczak phantom 검사에서는 SSM으로 검사는 120Sec/Frame으로 총 60분 하였으며 Dynamic Continuous Mode(DCM)는 SSM과

동일한 카운트를 얻기 위해 60Repeat/1Circle/60sec 총 60분 하였다. Hoffman 3D Brain Phantom검사에서는 Step and Shoot Mode (SSM)로 70k/Frame를 얻기 위해 30초Sec/Frame로 총16분 하였으며 Dynamic Continuous Mode (DCM)는 SSM과 동일한 70k/Frame를 얻기 위해 15Repeat/1Circle/60sec로 총 16분 하였다. 검사재구성 방법으로는 첫 번째 Filtered Back Projection (FBP)으로 Butterworth Filter와 Order (6), Cutoff(0.5)를 적용하였으며두 번째 Iteration Reconstruction (IR)으로 Subset (6), Iteration (12), Gaussian Filter (FWHM 6 mm)를 적용하였다.

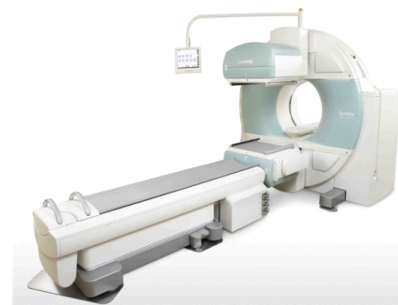


Fig. 3. Siemens Symbia T16 SPECT/CT Scanner was used for acquisition.

3. 평가방법

Deluxe Jaszczak phantom의 블라인드 육안평가와 Hoffman 3D Brain Phantom 카운트평가와 육안평가를 위해 핵의학과 5 년이상의 임상경력이 있는 의사5명과 방사선사5명을 대상으로 리커트 5점 척도(Likert 5 Scale)로 5-매우좋다, 4-좋다, 3-보통이다, 2-나쁘다, 1-매우나쁘다로 설문 하였고 카운트평가는 장비내에 MI Application을 이용하였다. Deluxe Jaszczak phantom의 DCM의 Repeat이 하나씩 줄어들수록 이미지의 육안평가를 실시 하였고 Hoffman 3D Brain Phantom의 전두엽, 측두엽, 후두엽, 소뇌, 시상하부의 평가는 판독의에게 Repeat 수를 하나씩 줄여가면서 보여주고 환자의 재촬영을 감수하고 어디까지 감안하고 판독 할 수 있는지 평가 하였다. 또한 Repeat이 줄어들수록 카운트의 실제 값은 어떠한 변화가 있는지 알아보았다.

결 과

1. Deluxe Jaszczak phantom의 FBP 육안평가

5점척도의 평균 결과값은 다음과 같았다. 리커트 척도 3점

보통이다를 기준으로 3.0 이상인 이미지는 A. SSM 에서는 12.7mm, 11.1mm, 9.5mm / B. DCM 100% 에서는 12.7mm, 11.1mm, 9.5mm / C. DCM 75% 에서는 12.7mm, 11.1mm, 9.5mm / D. DCM 50% 12.7mm, 11.1mm / E. DCM 25% 12.7mm로 나왔다(Fig.4). 테스트를 위해 제공한 이미지이다(Fig. 5).

	12.7mm	11.1mm	9.5mm	7.9mm	6.4mm	4.8mm
A	4.6	4.0	3.0	1.8	1.8	1.2
B	4.8	4.2	3.2	1.8	1.8	1.2
C	3.8	3.6	3.0	1.8	1.2	1.0
D	3.8	3.4	2.6	1.2	1.0	1.0
E	3.0	2.4	1.6	1.2	1.0	1.0

Fig. 4. Blind Test Result of FBJ in Deluxe Jaszczak phantom

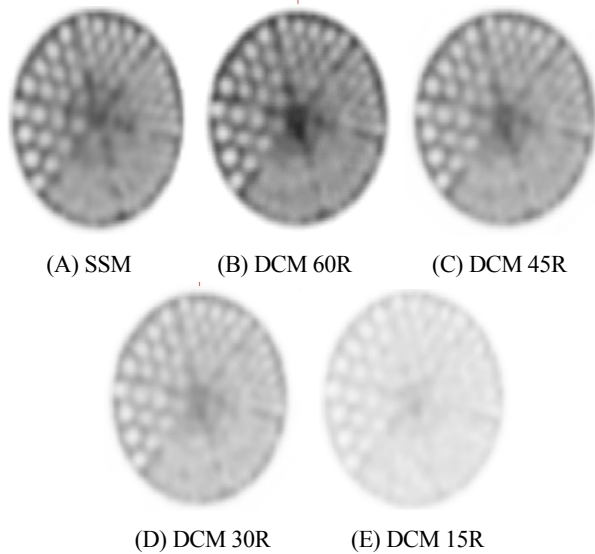


Fig. 5. Blind Test Image of FBJ in Deluxe Jaszczak phantom

2. Deluxe Jaszczak phantom의 IR 육안평가

5점척도의 평균 결과값은 다음과 같았다 리커트 척도 3점 보통이다를 기준으로 3.0 이상인 이미지는 A. SSM 에서는 12.7mm, 11.1mm, 9.5mm / B. DCM 100% 에서는 12.7mm, 11.1mm, 9.5mm / C. DCM 75% 에서는 12.7mm, 11.1mm, 9.5mm / D. DCM 50% 12.7mm, 11.1mm, 9.5mm / E. DCM 25% 12.7mm, 11.1mm로 나왔다(Fig. 6). 테스트를 위해 제공한 이미지이다(Fig. 7).

	12.7mm	11.1mm	9.5mm	7.9mm	6.4mm	4.8mm
A	4.2	4.0	3.4	2.8	1.2	1.0
B	4.8	4.4	3.8	2.8	1.2	1.0
C	4.0	4.0	3.6	2.2	1.0	1.0
D	4.0	4.0	3.0	1.6	1.0	1.0
E	3.4	3.2	2.6	1.2	1.0	1.0

Fig. 6. Blind Test Result of IR in Deluxe Jaszczak phantom

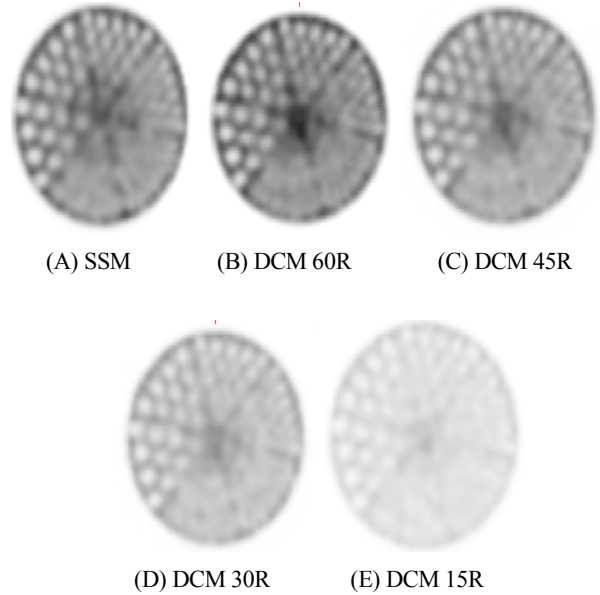


Fig. 7. Blind Test Image of IR in Deluxe Jaszczak phantom

3. Hoffman 3D Brain Phantom FBJ 육안평가 (전두엽, 측두엽, 후두엽)

핵의학 판독의에게 다음과 같은 이미지(Fig. 8)를 보여준 후 얻은 결과는 판독의 1은 N까지 판독에 쓸 수 있겠다 판독의 2는 M까지, 판독의 3도 역시 M까지, 판독의 4는 I까지, 판독의 5는 J까지 쓸 수 있다. 이는 판독의 1이 선택한 N은 DCM 3R이며 이는 총 15개 Repeat중에 12개 Repeat을 버려도 판독 할 수 있다. 판독의 2,3이 선택한 M은 DCM 4R은 총 15개 Repeat중에 11개 Repeat을 버려도 판독 할 수 있다 판독의 4가 선택한 I는 DCM 8R 이다. 이는 총 15개 Repeat중에 7개 Repeat을 버려도 판독할 수 있다. 마지막으로 판독의 5가 선택한 J는 DCM 7R이며 이는 총 15개 Repeat중에 8개 Repeat를 버려도 판독할 수 있다는 뜻한다(Fig. 9).

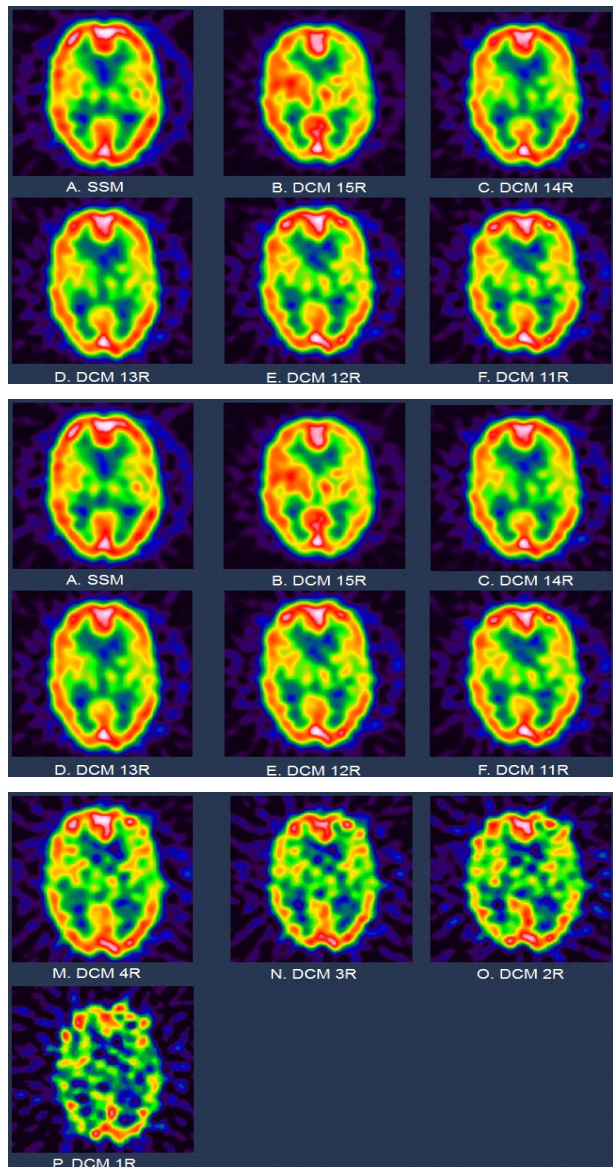


Fig. 8. Blind Test Image of FBJ in Hoffman 3D Brain Phantom (A~P) (Frontal Lobe, Temporal Lobe, Occipital Lobe)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
판독의1																★
판독의2															★	
판독의3															★	
판독의4									★							
판독의5										★						

Fig. 9. Blind Test Result of FBJ in Hoffman 3D Brain Phantom (Frontal Lobe, Temporal Lobe, Occipital Lobe)

4. Hoffman 3D Brain Phantom FBJ 육안평가 (소뇌, 시상하부)

핵의학 판독의에게 다음과 같은 이미지를 보여준 후 얻은 결과는 판독의 1은 M까지 판독에 쓸 수 있다(Fig. 10). 판독의 2는 L까지, 판독의 3,4,5는 I까지 쓸 수 있다. 판독의 1이 선택한 M은 DCM 4R입니다. 이는 총 15개 Repeat중에 11개 Repeat을 버려도 판독 할 수 있다. 판독의 2가 선택한 L은 DCM 5R입니다. 이는 총 15개 Repeat중에 10개 Repeat을 버려도 판독 할 수 있다. 판독의 3,4,5가 선택한 I는 DCM 8R입니다. 이는 총 15개 Repeat중에 7개 Repeat을 버려도 판독할 수 있다(Fig. 11).

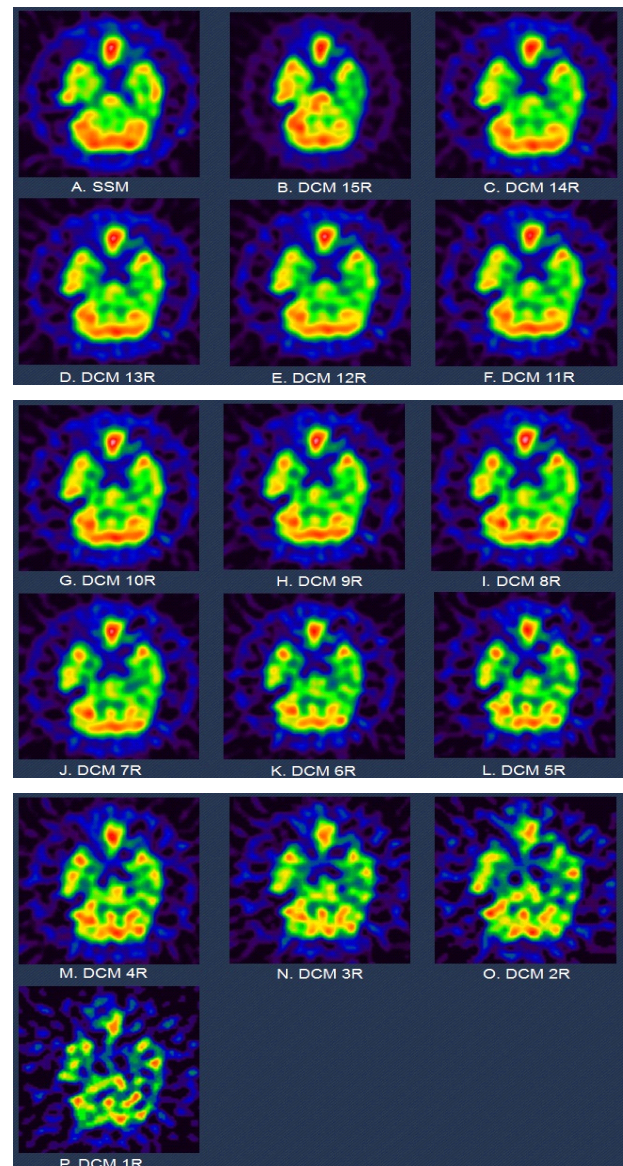


Fig. 10. Blind Test Image of FBJ in Hoffman 3D Brain Phantom (A~P) (Cerebellum, Hypothalamus)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
판독의1																
판독의2																
판독의3																
판독의4																
판독의5																

Fig.11. Blind Test Result of FBJ in Hoffman 3D Brain Phantom (Cerebellum, Hypothalamus)

5. Hoffman 3D Brain Phantom FBJ 카운트 평가(전두엽, 측두엽, 후두엽, 소뇌, 시상하부)

전두엽, 측두엽, 후두엽, 소뇌, 시상하부에 ROI를 그려 카운트 평균 Max값을 구한다음 기존의 SSM에 비해 DCM의 Repeat수에 따른 카운트 감소비율을 구했다. DCM의 Repeat수가 줄어들수록 SSM의 비해 카운트는 감소하는 패턴을 보여지고 있습니다. 블라인드 테스트를 통해 판독에 유용한 최소 3R~8R까지 카운트 감소율을 보면, SSM에 비해 전두엽은 -55.97%~ -82.17%, 측두엽은 -56.55%~ -83.18%, 후두엽은 -50.18%~ -80.78%, 소뇌는 -70.8%~ -89.21%, 시상하부는 -74.23%~ -88.96%의 카운트 감소를 보였다(Fig. 12).

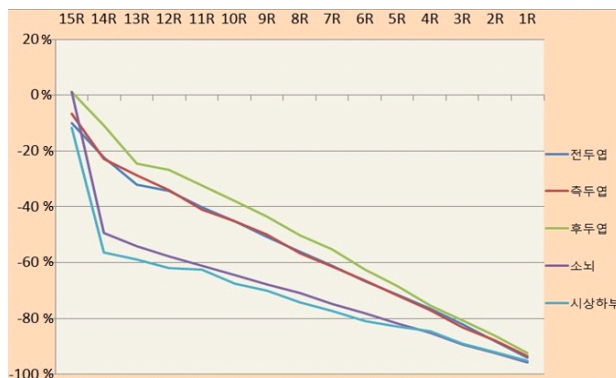


Fig.12. Count Test Result of FBJ in Hoffman 3D Brain Phantom (Frontal Lobe, Temporal Lobe, Occipital Lobe, Cerebellum, Hypothalamus)

6. Hoffman 3D Brain Phantom IR 육안평가 (전두엽, 측두엽, 후두엽)

핵의학 판독의에게 다음과 같은 이미지를 보여준 후 얻은

결과는 판독의 1은 J까지 판독에 쓸 수 있다(Fig. 13). 판독의 2,3은 M까지, 판독의 4,5는 I까지 쓸 수 있다. 판독의 1이 선택한 J는 DCM 7R, 이는 총 15개 Repeat중에 8개 Repeat을 버려도 판독 할 수 있다 판독의 2,3이 선택한 M은 DCM 4R, 이는 총 15개 Repeat중에 11개 Repeat을 버려도 판독 할다. 판독의 4,5가 선택한 I는 DCM 8R, 이는 총 15개 Repeat중에 7개 Repeat를 버려도 판독 할 수 있다(Fig. 14).

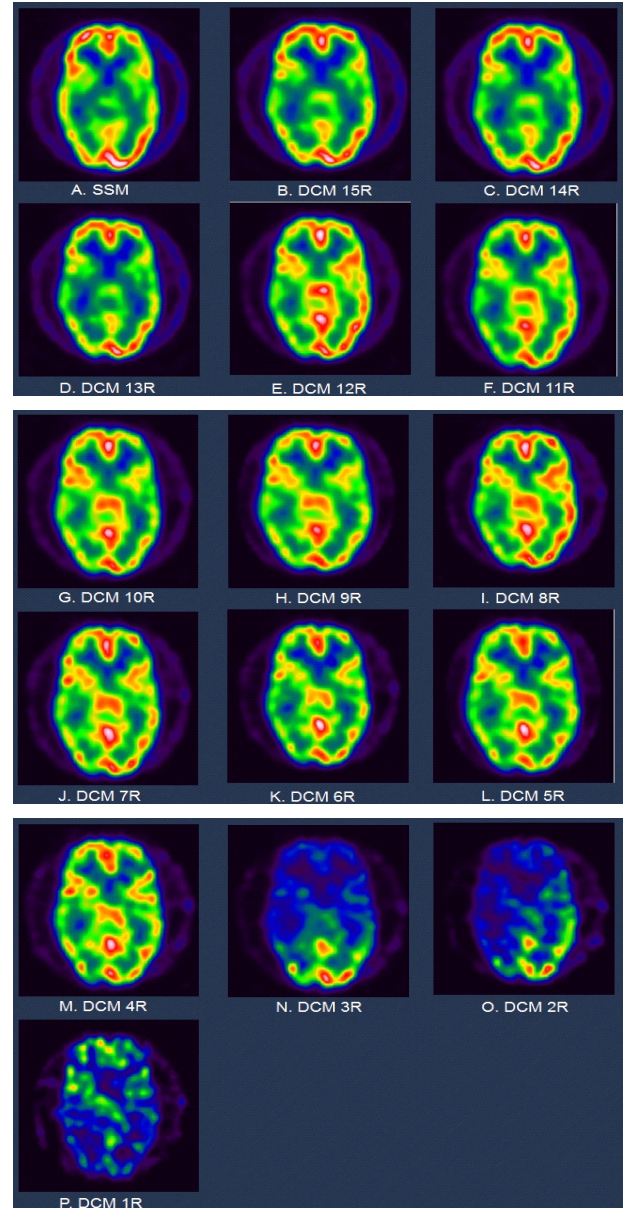


Fig. 13. Blind Test Image of IR in Hoffman 3D Brain Phantom (A~P) (Frontal Lobe, Temporal Lobe, Occipital Lobe)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
판독의1										★						
판독의2													★			
판독의3													★			
판독의4								★								
판독의5								★								

Fig. 14. Blind Test Result of IR in Hoffman 3D Brain Phantom (Frontal Lobe, Temporal Lobe, Occipital Lobe)

7. Hoffman 3D Brain Phantom IR 육안평가 (소뇌, 시상하부)

핵의학 판독의에게 다음과 같은 이미지를 보여준 후 얻은 결과는 판독의 1은 J까지 판독에 쓸 수 있다. 판독의 2,3은 M까지, 판독의 4는 L까지, 판독의 5는 H까지 쓸 수 있다(Fig. 15). 판독의 1이 선택한 J는 DCM 7R, 이는 총 15개 Repeat중에 8개 Repeat을 버려도 판독 할 수 있다. 판독의 2,3이 선택한 M은 DCM 4R, 이는 총 15개 Repeat중에 11개 Repeat을 버려도 판독 할 수 있다. 판독의 4가 선택한 L는 DCM 5R, 이는 총 15개 Repeat중에 10개 Repeat를 버려도 판독할 수 있다. 마지막으로 판독의 5가 선택한 H는 DCM 9R, 이는 총 15개의 Repeat중에 6개를 버려도 판독할 수 있다(Fig. 16).

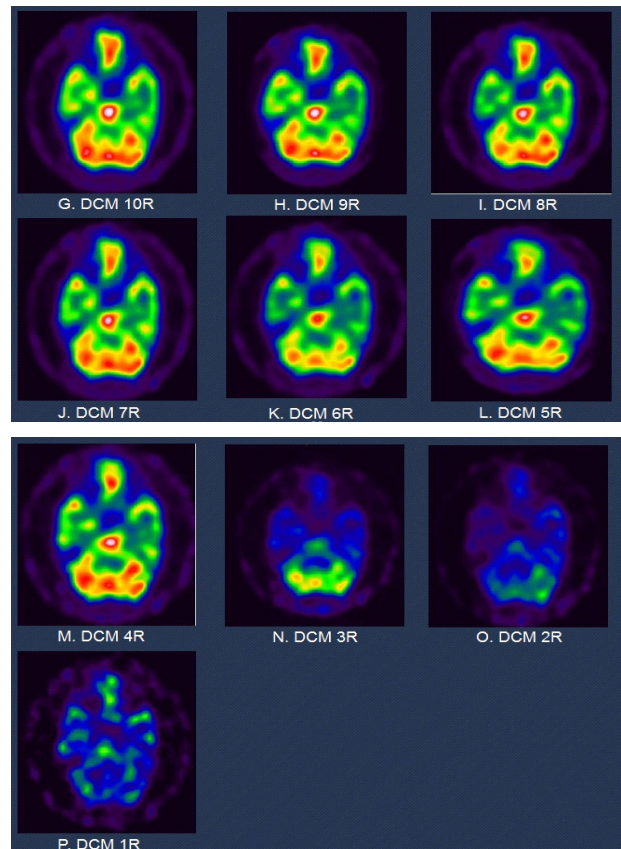
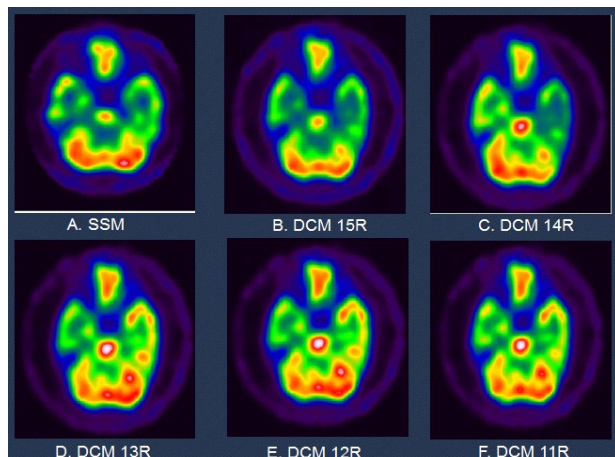


Fig. 15. Blind Test Image of IR in Hoffman 3D Brain Phantom (A~P) (Cerebellum, Hypothalamus)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
판독의1										★						
판독의2													★			
판독의3													★			
판독의4												★				
판독의5								★								

Fig. 16. Blind Test Result of IR in Hoffman 3D Brain Phantom (Cerebellum, Hypothalamus)

8. Hoffman 3D Brain Phantom IR 카운트 평가(전두엽, 측두엽, 후두엽, 소뇌, 시상하부)

DCM의 Repeat수가 줄어들수록 SSM의 비해 카운트는 감소하는 패턴을 보여지고 있다. 임상적으로 블라인드 테스트를 통해 판독에 유용한 최소 3R~8R까지 카운트 감소율을 보면 SSM에 비해 전두엽은 -48.68% ~ -79.22%, 측두엽은

-48.36% ~ -78.57%, 후두엽은 -44.13% ~ -76.51%, 소뇌는 -43.18% ~ -78.59%, 시상하부는 -48.47 ~ -82.21%의 카운트 감소를 보인다(Fig. 17).

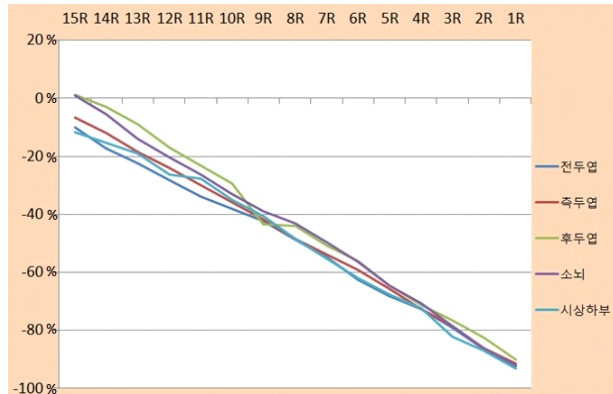


Fig. 17. Count Test Result of IR in Hoffman 3D Brain Phantom (Frontal Lobe, Temporal Lobe, Occipital Lobe, Cerebellum, Hypothalamus)

고 찰

방사성의약품 ^{99m}Tc -ECD 또는 ^{99m}Tc -HMPAO를 사용하여 Brain SPECT검사는 환자의 협조가 무엇보다 중요한 검사이다. 현재의 Step and Shoot Mode(SSM)로 검사 시 환자의 움직임이나 장비의 에러 발생시 바로 재검사를 하거나 날짜를 다시 잡아 또 다시 주사를 통해 검사를 시행하는 문제점이 있다. 이는 환자의 검사의 부담감과 피폭선량 증가뿐만 아니라 검사실의 운영 효율성 저하에 크게 영향을 미치는 요인이다. 이에 본 연구는 이러한 문제점을 극복하기 위해 현재의 Step and Shoot Mode(SSM)가 아닌 Dynamic Continuous Mode(DCM)로 Brain SPECT를 검사할 시 제시한 문제점을 극복할 수 있을지 알아보는 연구이다. DCM은 Repeat이라는 각각의 영상의 구성 묶음을 통해 최종적으로 우리에게 이미지를 제공한다. 반대로 말하면 불필요한 이미지나 움직임을 방사선사가 검사종료 후 재구성을 통해 임의로 제거할 수 있다. 하지만 어느 한계까지 제거 하는지가 이 논문에 핵심이었다. 이에 핵의학 전문의 5년 이상의 판독능력을 가진 의사를 토대로 블라인드 테스트를 통해 증명하였다. 실제 총 15R중 대부분이 3~8R만을 가지고도 판독이 가능하다 대답하였다. 이것은 총 15R중 30~50%의 Repeat만 있으면 판독에 문제가 없다는 것이다. 다시 말해 예를 들면 환자가 총 10분이라는 검사시간 중 3~5분의 움직임이 발생하여도 나머지 시간의 이미지 구성으로 판독을 할 수 있다는 획기적인 대안을 얻을 수 있었다. 또한 현재 SPECT의 재구성 방법인 Filtered Back Projection(FBJ)

와 Iteration Reconstruction(IR)의 모든 실험을 통해 증명하였다. 이 연구는 기존의 SSM 카운트에 비해 DCM으로 영상을 획득했을 시 3R ~ 8R의 카운트저하율은 작게는 40%에서 많게는 80%까지 감소율을 보였지만 판독의 들은 Brain SPECT의 경우 주변과 구별되는 hypoperfusion 부위를 찾는 것이 중요하기 때문에 혈관의 모양유지보다 주변과의 구별여부를 중심으로 판단 후 결정을 했다고 한다. 본 연구는 Brain SPECT뿐만 아니라 다른 SPECT검사 나아가 SPECT/CT에 적용할 수 있을 거라 사료된다.

결 론

Brain SPECT의 Step and Shoot Mode(SSM) 검사 시 환자의 움직임 등 불필요한 부분을 제거하여 영상을 재구성 하기 위해 기존의 Step and Shoot Mode(SSM)가 아닌 Dynamic Continuous Mode(DCM)를 적용하여 환자의 피폭선량 검사의 부담감, 검사실의 운영 효율을 증가 시키기 위해 Deluxe Jaszczak phantom 와 Hoffman 3D Brain phantom을 이용하여 Filtered Back Projection(FBJ)와 Iteration Reconstruction(IR)방식을 적용하여 비교, 실험하여 핵의학 종사 5년이상 방사선사와 의사를 상대로 블라인드 테스트를 실시 하였다. 결과는 DCM으로 획득 할 시 이미지의 30~50%를 제거 하여도 판독에는 어려움이 없다라고 답해 주었다.

요 약

본원에서 시행하는 Brain SPECT 검사는 ^{99m}Tc -ECD 또는 ^{99m}Tc -HMPAO를 주사한 후 뇌 영상을 얻어 뇌 관류상태를 평가하는 검사이다. 하지만 검사 중 일부 환자 상태가 불안정할 경우 움직임이 발생하여 재촬영이나 검사실패로 이어지는 경우가 발생 된다. 이에 현재의 Step and Shoot Mode(SSM)이 아닌 움직임이 발생되더라도 재구성을 통해 영상 구현이 가능한 Dynamic Continuous Mode(DCM)를 적용하여 환자의 재촬영과 피폭선량을 감소시키고 검사실에 운영 효율성을 높이고자 함에 있다. Deluxe PET/SPECT Phantom과 Hoffman 3D Brain Phantom으로 Filtered Back Projection(FBJ)과 Iterated Reconstruction(IR)으로 재구성하여 영상을 구현하였다. 이미지를 가지고 핵의학과 5년 이상의 임상경력이 있는 의사 5명과 방사선사 5명을 대상으로 리커트 5점 척도(Likert 5 Scale)와 블라인드 판독 테스트를 실시 하였다. 판독의 블라인드 테스트 결과 최소 DCM 3Repeat (30%)에서 7Repeat (50%)까지 판독에 영향을 주지 않는다고 답해 주었다.

DCM으로 검사 시 환자 움직임이 발생되면 불필요한 부분을 제거하여 재촬영, 재주사의 감소를 가져올 수 있고, 장비 오류 시 영상을 재구성 후 구현할 수 있어 검사실 운영 효율도 높을 수 있을 것으로 기대된다. 또한 SPECT검사뿐 만 아니라 SPECT/CT검사에서도 활발한 연구가 적용 될 거라 기대 되며 마지막으로 실제 환자 적용은 환자 데이터의 충분한 수집 후 병원 판독 실정에 맞게 도입이 필요 하리라 사료된다.

참고문헌

1. 고창순 외, 제3판 핵의학. 고려의학 2008 p398~465.
2. Cao Z1, Maunoury C, Chen CC, Holder LE. Comparison of continuous step-and-shoot versus step-and-shoot acquisition SPECT. J Nucl Med. 1996 Dec;37(12):2037-40.
3. John A. Biesz and Eric G. Hawman Evaluation of SPECT Angular Sampling Effects: Continuous Versus Step-and-Shoot Acquisition Siemens Gammasonics, Inc., Applied Research Group, Des Plaines, Illinois J Nucl Med. 1987; 28:1308-1314.
4. 4.5. Robert L. Harrison, Brian F. Elston, Darrin W. Byrd A digital reference object for the 3D Hoffman brain phantom for characterization of PET neuroimaging quality Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC), 2013 IEEE.