

Original Article

1-Day Protocol을 사용하는 Brain Perfusion SPECT에서 LEUR 콜리메이터의 유용성

서울대학교병원 핵의학과¹, 서울대학교 의과대학 핵의학교실²
최진욱¹ · 김수미² · 이형진¹ · 김진의¹ · 김현주¹ · 이재성^{1,2} · 이동수^{1,2}

The Usefulness of LEUR Collimator for 1-Day Basal/Acetazolamide Brain Perfusion SPECT

Jin Wook Choi¹, Hyung Jin Lee¹, Jin Eui Kim¹, Hyun joo Kim¹, Soo Mee Kim², Jae Sung Lee^{1,2},
Dong Soo Lee^{1,2}

¹Dept. of Nuclear Medicine, Seoul National Univ. Hospital, ²Dept. of Nuclear Medicine, Seoul National Univ.

Purpose: Basal/Acetazolamide-challenged brain perfusion SPECT is very useful to assess cerebral perfusion and vascular reserve. However, as there is a trade off between sensitivity and spatial resolution in the selection of collimator, the selection of optimal collimator is crucial. In this study, we examined three collimators to select optimal one for 1-day brain perfusion SPECT. **Materials and Methods:** Three collimators, low energy high resolution-parallel beam (LEHR-par), ultra resolution-fan beam (LEUR-fan) and super fine-fan beam (LESFR-fan), were tested for 1-day imaging using Triad XLT 9 (TRIONIX). The SPECT images of Hoffman 3D brain phantom filled with 99mTc of 170 MBq and a normal volunteer were acquired with a protocol of 50 kcts/frame and detector rotation of 3 degree. Filtered backprojection (FBP) reconstruction with Butterworth filter (cut off frequencies, 0.3 to 0.5) was performed. The quantitative and qualitative assessments for three collimators were performed. **Results:** The blind tests showed that LESFR-fan provided the best image quality for Hoffman brain phantom and the volunteer. However, images for all the collimator were evaluated as 'acceptable'. On the other hand, in order to meet the equivalent signal-to-noise ratio (SNR), total acquisition time or radioactivity dose for LESFR-fan must have been increased up to almost twice of that for LEUR-fan and LEHR-par. The volunteer test indicated that total acquisition time could be reduced approximately by 10 to 14 min in clinical practice using LEUR-fan and LEHR-par without significant loss on image quality, in comparison with LESFR-fan. **Conclusion:** Although LESFR-fan provides the best image quality, it requires significantly more acquisition time than LEUR-fan and LEHR-par to provide reasonable SNR. Since there is no significant clinical difference between three collimators, LEUR-fan and LEHR-par can be recommended as optimal collimators for 1-day brain perfusion imaging with respect to image quality and SNR. (*Korean J Nucl Med Technol* 2011;15(1):94-100)

Key Words : Brain SPECT, LEUR collimator, 1-day protocol Brain SPECT

서 론

뇌혈관 확장제를 사용하는 brain perfusion SPECT는 뇌혈

관 관류와 혈관 예비능을 알 수 있는데 유용하며 현재 임상적으로 널리 이용되고 있다.¹⁾ 검사방법은 하루에 검사를 종료하는 1-day protocol method와 이틀에 나누어서 검사를 하는 2-day protocol method가 있다. 1-day protocol method는 double-injection method를 사용하며 acetazolamide (ACZ)는 basal scan 중간에 주입되게 된다.²⁾ 중재적 약물인 ACZ가 작용하는데 걸리는 시간은 약 15-20분 정도 소요되기 때문에 DIAMOX scan을 위한 2차 source는 ACZ 투여 후 15-20분

• Received: December 20, 2010. Accepted: March 2, 2011.
• Corresponding author: Jin Wook Choi
Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Hospital 101
Daehang-ro, Jongno-gu, Seoul, 110-744, Korea
Tel: +82-2-2-72-2535 Fax: +82-766-9083
E-mail: jinw00k@naver.com

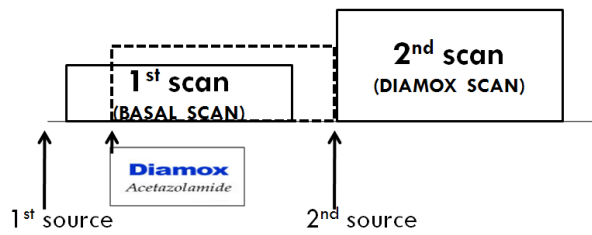


Fig. 1. The diagram is procedure of 1-day protocol method of brain perfusion SPECT.

후에 주입하게 된다(Fig. 1).³⁾ 영상 획득 후 재구성 방법으로 filtered backprojection (FBP)과 subtraction method가 사용된다.

1-day protocol은 하루 만에 검사가 종료되기 때문에 환자나 술자에게 모두 편리한 장점이 될 수 있으나, 검사시간이 배로 늘어나기 때문에 움직임이 유발될 수 있는 영·유아나 노인들에게서 검사의 실패율은 타 검사에 비해 높다. 이 때문에 적절한 영상의 질과 검사의 성공을 위해서 resolution 뿐만 아니라 sensitivity도 중요한 역할을 한다.⁴⁾ 하지만 이 두 가지 요소는 서로 상충될 수밖에 없기 때문에 효과적인 검사 protocol을 위한 콜리메이터의 선택은 그 무엇보다 중요한 요소이다. 본원에서 brain perfusion SPECT에 적용할 수 있는 세 가지 콜리메이터(LESR-fan: low energy super fine resolution-fan beam, LEHR-par: low energy high resolution-parallel, LEUR-fan: low energy ultra resolution-fan beam)의 resolution, sensitivity, background variability 등의 실험을 통해 1-day protocol에 가장 이상적인 콜리메이터가 무엇인지 알아보았다.

실험재료 및 방법

1. 실험기기 및 재료

이 실험에 사용된 장비는 Triad XLT 9, triple gamma camera (TRIONIX)로 세 가지 콜리메이터(low energy high resolution-parallel beam: LEHR-par, ultra resolution-fan beam: LEUR-fan, super fine-fan beam: LESR-fan)와 함께 사용하였다. Resolution 측정을 위하여 capillary tube와 PET/SPECT performance phantom이 사용되었고, 이 중 PET/SPECT performance phantom은 background variability 실험에도 사용되었다. Hoffman 3D phantom과 volunteer 실험을 통하여 영상과 검사시간을 비교하였다.

Table 1. Acquisition parameter and cut off value

	LESR-fan	LEUR-fan	LEHR-par
Matrix size	256×128	256×128	128×128
Zoom	1.0	1.0	2.0
Pixel size	1.78 mm		
Angle	3°		
No. of angle	40		
Orbit type	Circular		
Cut off value (order)	0.45-0.70 (0.5)	0.35-0.60 (0.5)	0.35-0.60 (0.5)

2. Acquisition parameters

콜리메이터 비교를 위해 세 가지 콜리메이터에 대해 모두 동일한 조건으로 실험을 실시하였다(Table 1). Parallel 콜리메이터와 fan-beam 콜리메이터의 기하학적인 차이 때문에 fan-beam 콜리메이터의 경우 matrix size를 256×128, 1.0의 zoom을 사용하고, parallel 콜리메이터의 경우 matrix size를 128×128, 2.0의 zoom을 사용하여 pixel size를 1.78 mm로 동일하게 하였다. Detector angle은 3°로 40 frame을 circular 방식으로 획득하여 총 120 frame을 획득하였다. FBP와 Butterworth filter를 이용하여 재구성을 하였으며 콜리메이터 별 cut off 값을 다양하게 하여 적절한 재구성 parameter를 찾아보았다.

3. Qualitative analysis of resolution

세 가지 콜리메이터의 육안적인 resolution을 비교하기 위하여 222 MBq의 ^{99m}Tc를 넣은 PET/SPECT performance phantom을 사용하였다. 콜리메이터 별로 총 획득계수 150 kcounts와 300 kcounts의 영상을 획득하였고, phantom 내부의 세 가지 insert 중 hot region에 대해서 육안적으로 평가하였다(Fig. 2).

3. Quantitative analysis of resolution

직경 1 mm 이하인 capillary tube에 296 MBq/0.8 cc의 ^{99m}Tc를 이용하여 2 mm 길이의 점 선원을 만들었다. 횡축으로 40 mm, 종축으로 50 mm의 간격을 두고 사선으로 배열한 후에 세 가지 콜리메이터 별로 각각 20 kcounts/frame을 획득하였다(Fig. 3).

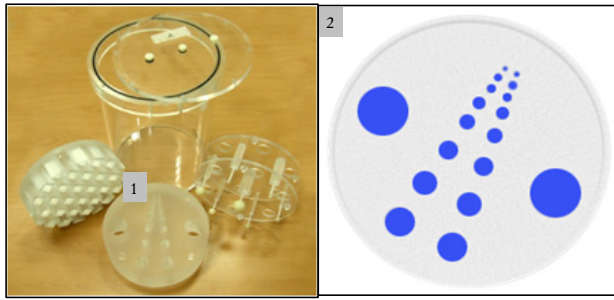


Fig. 2. PET/SPECT performance phantom were used for qualitative resolution test. 1) Hot region insert: acrylic, 7-7/8" OD×21/2" thick 2) Hole diameters: 4.7, 5.9, 7.3, 9.2, 11.4, 14.3, 17.9, 22.4 and 38 mm.

4. Percent background variability (PBV) test

Background variability의 비교를 위하여 performance phantom의 uniform한 영역을 이용하였다. 27개의 직경 22.4 mm의 ROI를 그림과 같이 앞, 뒤 3개의 slice에 그린 후 다음

과 같은 식으로 PBV를 구하였다(Fig. 4).

5. Hoffman 3D phantom image test

170.2 MBq의 ^{99m}Tc 를 주입한 Hoffman 3D phantom을 이용하여 frame 당 50 kcounts, 총 6 Mcounts를 획득하였다. Decay correction을 적용하여 검사시간 비교 및 육안적 영상 비교, blind test를 실시하였다.

6. Volunteer image test

170 cm, 60 kg 의 volunteer의 basal 영상 비교를 위해 555 MBq의 ^{99m}Tc -HMPAO를 주입한 후 총 5 Mcounts를 획득하였다. Cut off value를 다양하게 하여 영상 재구성을 실시하였으며, 그 중 가장 좋은 영상들로 영상의 질과 검사시간을 비교하였다.

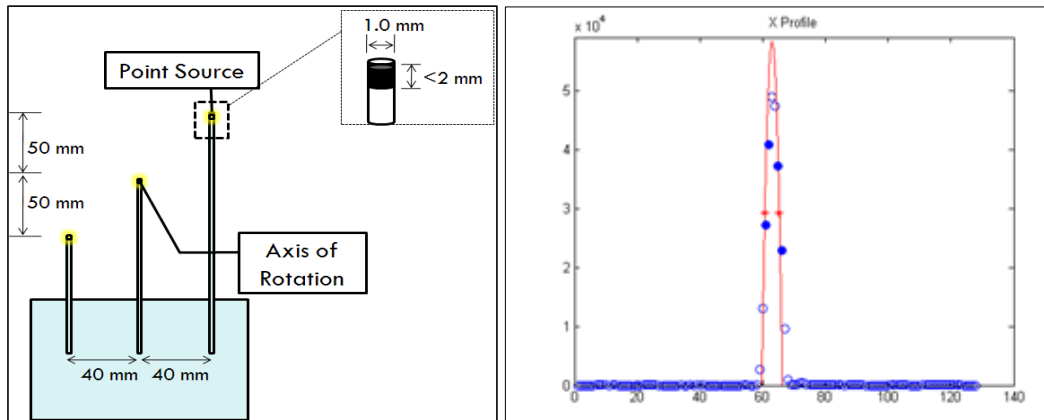
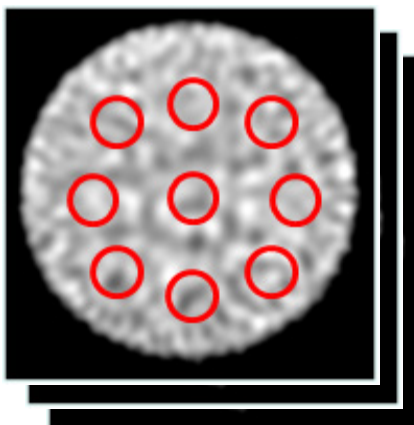


Fig. 3. Quantitative analysis of resolution based on NEMA standard. Each point source was made less than 2 mm long and 700 cps.



$$N_B = \frac{SD_B}{C_{Av,B}} \times 100 \%$$

Fig. 4. ROIs over 3 slices and formula was used for percent background variability.

NB: Percent background variability

SDB: Standard deviation

CAv,B: Average of background

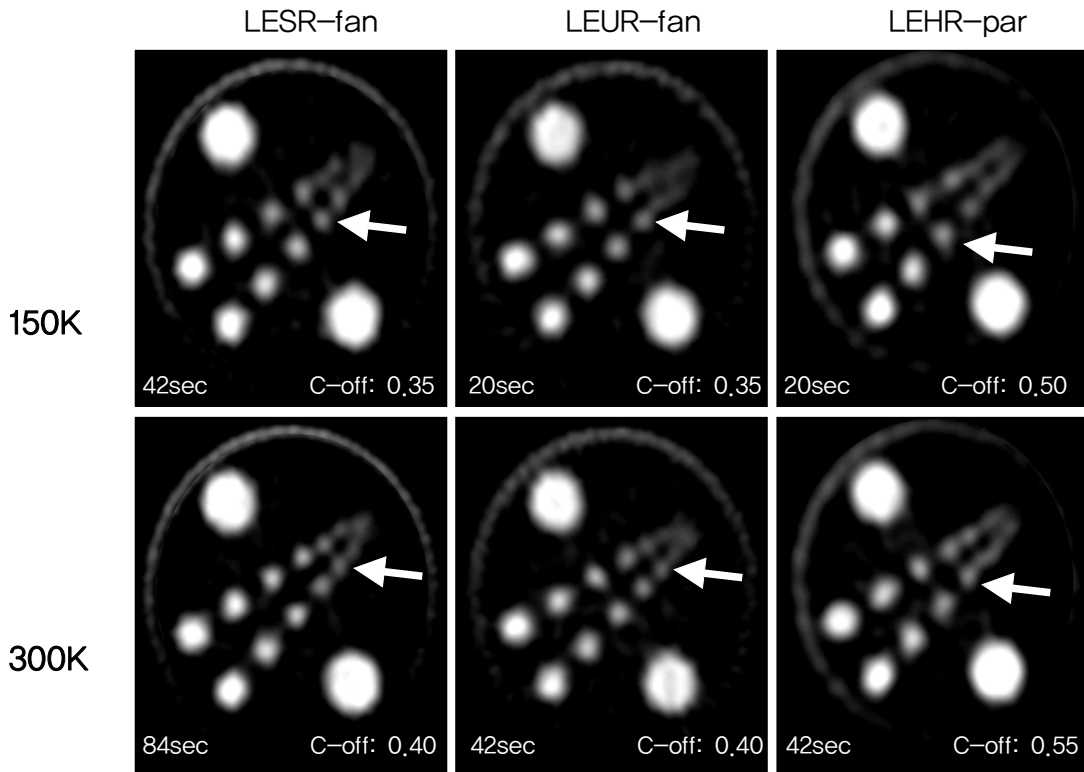


Fig. 5. Images and sec/frame of qualitative resolution test. LEHR image doesn't seem as clear as LESR and LEUR.

결 과

1. Qualitative analysis of resolution

Cut off 값을 달리하여 콜리메이터 별 가장 우수한 이미지들로 비교하였다(Fig. 5). 총 150 kcounts를 획득한 영상에서는 육안적으로 LESR과 LEUR이 9.2 mm의 sphere까지 구분해 낼 반면, LEHR 콜리메이터는 11.4 mm의 sphere까지 구분해 낼 수 있었다. 총 300 kcounts를 획득한 영상에서도 LESR과 LEUR은 7.3 mm sphere까지 구분해 낼 반면, LEHR은 9.2 mm sphere까지 구분할 수 있었다. 전반적으로 육안적인 resolution은 총 획득 계수가 같은 경우에 LESR과 LEUR은 LEHR보다 우수함을 보였다. 또한 LESR 콜리메이터가 다른 콜리메이터보다 frame 당 약 2배 정도 시간이 더 소요됨을 고려해서 같은 시간을 기준으로 비교할 경우 즉, LESR은 150 kcounts 영상, 다른 두 개의 콜리메이터는 300 kcount의 영상과 비교하였을 경우 LEUR이 가장 resolution이 우수함을 알 수 있었다.

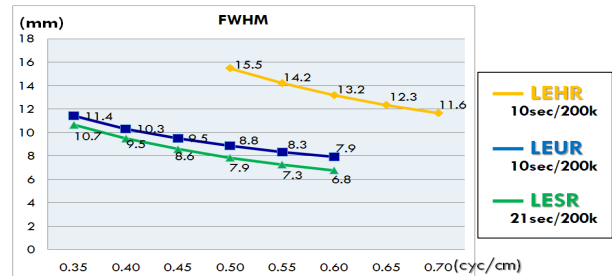


Fig. 6. FWHM of three collimators by cut off value change. When total counts were the same, LESR took about 2 times longer than LEUR.

2. Quantitative analysis of resolution

Cut off 값의 변화에 따른 세 가지 콜리메이터의 FWHM이다(Fig. 6). Cut off 값이 커질수록 세 가지 콜리메이터 모두 resolution이 향상되었지만, parallel 콜리메이터인 LEHR은 LESR과 LEUR에 비해 다소 resolution이 떨어짐을 알 수 있었다. LESR과 LEUR이 동일한 계수를 획득한 실험에서는 LESR이 LEUR보다 다소 resolution이 우수함을 알 수 있었지만 동일한 총 획득 계수를 얻기 위해서 LESR은 LEUR보다 약 2배 정도 시간이 소요됨을 알 수 있었다.

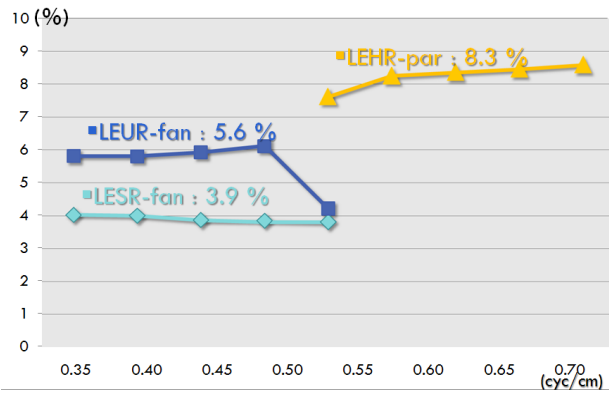


Fig. 7. Percent background variability by cut off value change. For 150 kcounts image, LESR showed the best result for 3.9%.

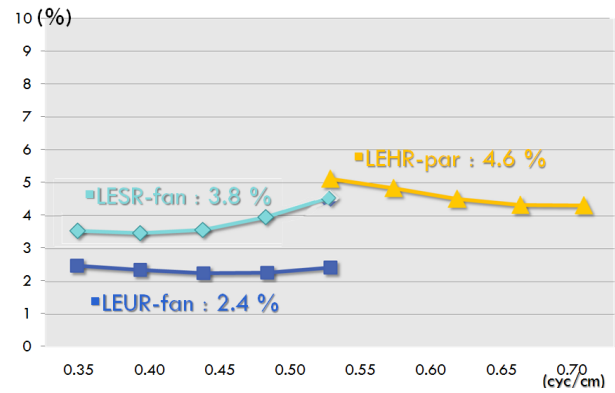


Fig. 8. Percent background variability of 300 kcounts. The uniformity of LEUR was 2 times better than 150 kcounts.

Table 2. Results of Hoffman 3D phantom image test

Collimator	kcps	sec/frame	Total scan time	Total counts
LEUR-fan	6.82	7.3	4.9 min	6,108,799
LEHR-par	6.86	7.2	4.8 min	6,011,489
LESR-fan	3.11	16.1	10.7 min	6,301,383

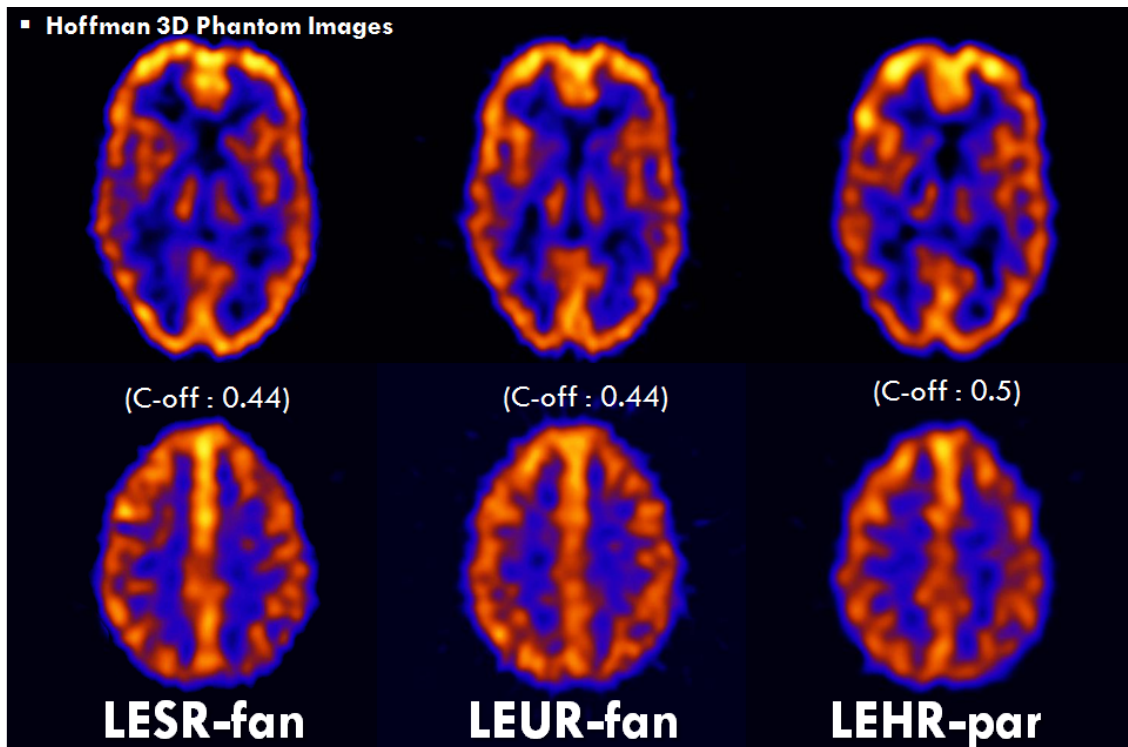


Fig. 9. Image of Hoffman 3D phantom. LESR and LEUR collimators showed better image quality.

3. Percent background variability test

총 획득 계수 150 kcounts 영상에서 LESR은 3.9%로 가장 좋은 결과를 나타내었다. 또한 300 kcounts 영상으로 총 획득 계수가 변화하여도 LESR의 percent background variability

는 3.8%로 거의 변화가 없었다. 반면에 LEUR은 150 kcounts 영상에서 5.6%를 나타내었지만 총 획득 계수 300 kcounts 영상에서는 PBV가 약 2배 향상되어 LESR보다 우수한 결과를 얻었을 수 있었다(Fig. 7, 8).

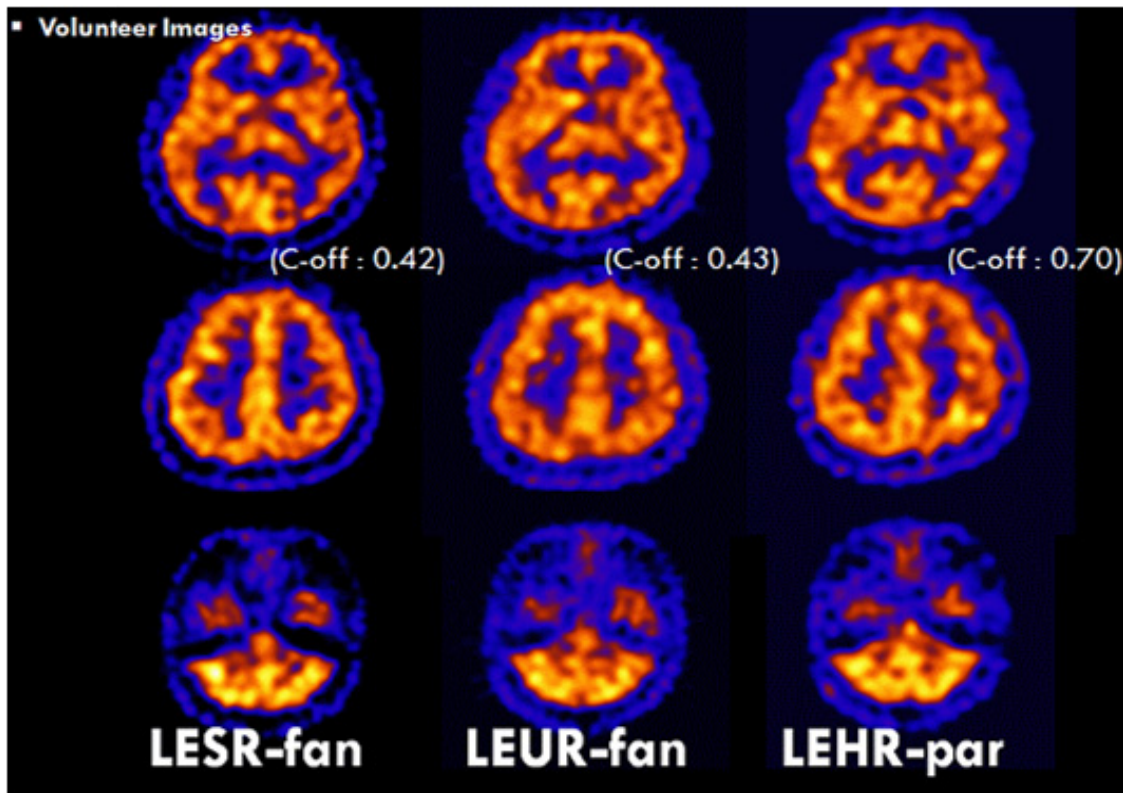


Fig. 10. Image of volunteer. LESR and LEUR collimators showed better image quality.

Table 3. Results of volunteer image test

Collimator	kcps	sec/frame	Total scan time	Total counts
LEUR-fan	2.65	15.6	10.4 min	5,103,383
LEHR-par	2.75	15.0	10.0 min	5,111,480
LESR-fan	1.26	33.0	22.0 min	4,823,730

4. Hoffman 3D phantom image test

총 6 Mcounts를 획득했을 때의 cps, sec/frame, 총 획득 시간이다(Table 2). 육안적으로 세 가지 콜리메이터 모두 비슷한 영상의 질을 보여주었다(Fig. 9). 하지만 이러한 영상을 얻기 위해 LEUR은 4.9분, LEHR은 4.8분이 소요되었고, LESR은 10.7분으로 다른 콜리메이터보다 약 2.2배의 시간이 더 소요되었다.

5. Volunteer image test

총 5 Mcounts를 획득했을 때의 cps, sec/frame, 총 획득 시간이다(Table. 3). 총 획득 계수가 동일할 경우 LESR과 LEUR은 전반적으로 LEHR보다 우수한 이미지를 보여주었다(Fig. 10). 30명의 방사선사와 판독의 blind test에서 영상

에 대한 선호도는 LESR이 15명, LEUR이 13명, LEHR이 2명으로 조사되었다. LESR과 LEUR의 선호도는 매우 비슷했다고 생각할 수 있다. 하지만 이런 영상의 질을 얻기 위해 LESR은 LEUR보다 약 12분의 시간이 더 걸림을 알 수 있었다. 추가적으로 1-day protocol을 적용했다고 가정하면 약 23분까지 더 소요됨을 간접적으로 추정할 수 있었다.

결론

Brain perfusion SPECT의 1-day protocol method는 단 한 번의 움직임에도 재검사가 불가피하기 때문에 환자와 술자에게 힘든 검사임이 분명하며, 적절한 분해능뿐만 아니라 높은 감도가 요구되는 검사 중 하나이다.⁵⁾ 총 획득 계수를 동일하게 할 경우 LESR-fan 콜리메이터는 FWHM과 육안적 resolution 비교에 있어서 매우 우수한 결과를 보여주었다.

하지만 낮은 감도로 인하여 실제 환자의 검사시간을 나머지 콜리메이터보다 약 1.8-2배 증가해야 하는 단점이 있어 임상 적용 시 사용이 어려울 것으로 사료된다. LEHR-par 콜리메이터는 LESR-fan 콜리메이터보다 약 2배 정도 감도가 좋으나 다른 콜리메이터보다 상대적으로 resolution 떨어졌고, 선호도 조사에서도 낮게 평가되었다. LEUR-fan 콜리메이터는 LEHR-par 콜리메이터보다 우수한 resolution과 image quality를 가지고 있었고, LESR-fan 콜리메이터와도 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 우수한 sensitivity로 LESR-fan 콜리메이터보다 basal scan 일 경우 약 12분, 1-day protocol일 경우 약 23분 정도 감축하는 효과를 보였다.

요 약

1-day protocol method는 DIAMOX 영상에서 basal 영상을 감산시키는 방법으로 혈관 예비능을 평가하는데 있어서 매우 유용한 검사지만, 검사시간이 길기 때문에 움직임에 의한 불가피한 재검사율이 높다. 기하학적으로 차이가 있는 fan-beam 콜리메이터와 parallel 콜리메이터 중 임상적으로 1-day protocol method에 가장 효율적인 콜리메이터가 무엇인지 알아보았다. 삼중 헤드 감마카메라인 triad XLT 9 (TRIONIX)와 세 가지 콜리메이터(low energy high resolution-parallel beam: LEHR-par, ultra resolution-fan beam: LEUR-fan, super fine-fan beam: LESR-fan)를 사용하였다. PET/SPECT performance phantom, Hoffman 3D phantom, volunteer 실험을 실시하여 세 가지 콜리메이터의 감도, 대조도, 해상력, 영상의 질을 비교 측정하였다. Pixel size를 fan-beam 콜리메이터와 동일하게 하기 위하여 parallel 콜리메이터 실험 시 zoom factor를 2.0으로 변경하였다. Scan time은 50 kcounts/frame을 만족하게 하였으며 filtered back projection (FBP)의 재구성 방법을 사용하였고 각 콜리메이

터 별 최적의 영상을 위하여 cut off 값을 변화하면서 비교 측정하였다. 총 획득 계수가 동일한 조건에서 해상력과 percent background variability는 LESR과 LEUR이 LEHR보다 우수한 결과를 나타내었고, 영상의 육안평가에서 선호도는 LESR, LEUR, LEHR 순이었다. 영상 획득 시간은 LESR이 낮은 감도로 인하여 LEUR과 LEHR보다 약 2배 더 길게 소요됐다. Volunteer 실험의 결과 LESR을 사용할 때보다 LEUR 또는 LEHR을 사용할 때 약 10-14분 정도 시간이 감소했다. 1-day protocol method는 단 한 번의 움직임에도 재검사가 불가피하기 때문에 적절한 분해능뿐만 아니라 높은 감도의 유지를 위해 적절한 검사 방법의 확립이 중요하다 할 수 있다. 본 연구에서 동일한 계수를 획득할 경우 LEUR은 LESR보다 2배의 시간을 감소시킬 수 있었고 영상의 육안평가나 해상력도 LESR과 임상적으로 큰 차이를 보이지 않았으므로 Brain SPECT의 1-day protocol method에 가장 적합할 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. Stefan P. Mueller, Joseph F. Polak, Marie Foley Kijewski, B.Leonard Holman. Collimator selection for SPECT brain imaging; The advantage of high resolution. *J Nucl Med* 1986;27: 1729-1738.
2. Naoya Hattori, Yoshiharu Yonekura, Fumiko Tanaka, Toru Fujita, Jinyi Wang, Koichi Ishizu et al. One-day protocol for cerebral perfusion reserve with Acetazolamide. *J Nucl Med* 1996;12:2057-2061.
3. 고창순 외. 제2판 핵의학. *고려의학* 1997;395-417.
4. R. Accorsi. Brain single-photon emission CT physics principles. *Am J Neuroradiol* 2008;29:1247-1256.
5. Lee HJ, Lee HJ, Kim JE, Kim HJ. The study of new reconstruction method for brain SPECT on dual detector system. *Korean J Nucl Med Technol* 2009;13:57-62.