

Original Article

Lung Ventilation SPECT에서 LEAP Collimator의 유용성에 관한 연구

서울대학교병원 핵의학과¹, 서울대학교 의과대학 핵의학교실²
김정수¹ · 김수미² · 김진의¹ · 이재성^{1,2} · 이동수^{1,2}

The Study on Usefulness of LEAP Collimator in Lung Ventilation SPECT

Jung Soo Kim¹, Soo Mee Kim², Jin Eui Kim¹, Jae Sung Lee^{1,2} and Dong Soo Lee^{1,2}

¹Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Hospital, Seoul, Korea

²Department of Nuclear Medicine, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea

Purpose : Although lung ventilation SPECT (LV-SPECT) has a good sensitivity in detection of deep lung lesions, it is difficult to apply the LV-SPECT to patients having breathing problems due to limited examination time. In this study, we evaluated the usefulness of LEAP collimator, which provides high detection sensitivity and tolerable resolution, for the LV-SPECT in terms of diagnostic accuracy and examination time. **Materials and Methods** : Four volunteers inhaled Technegas (370 MBq) and the lung ventilation planar scan (LVPS, 300 counts/view (cpv)) with LEHR collimator was performed using Siemens E.cam scanner as a reference test. LV-SPECT scans were performed with three collimators, LEHR, LEUHR, and LEAP, in low (7 kcpv) and high (70 kcpv) counting modes. The count ratios of left (LT) and right (RT) lung segments were calculated on the geometric mean view of anterior and posterior images for LVPS and on the summed coronal images of LV-SPECT, respectively. Comparing to LVPS, the usefulness of three different collimators for LV-SPECT was evaluated through statistical analysis (paired *t*-test), on count ratios of lung segments. **Results** : The average LT:RT ratio in LVPS was 47:53. For LV-SPECT, there were negligible difference of the LT:RT ratios (48:52 on average) among three different collimators in low and high counting modes. Comparing to standard LVPS with LEHR, all LV-SPECTs with different collimators resulted in similar diagnostic accuracy through paired *t*-test ($p > 0.05$). The scan time in LVPS (6 views) was 17.3 min. For LV-SPECT (128 views) in low counting mode, it took 18.7 (LEUHR), 15.0 (LEHR), and 12.3 min (LEAP), respectively. **Conclusion** : Comparing to standard LVPS, the LV-SPECT with LEAP in low counting mode provided the comparable diagnostic accuracy in addition to shortened scan time. (Korean J Nucl Med Technol 2012;16(2):18-24)

Key Words : Lung ventilation SPECT, LEAP collimator, Statistical analysis

서 론

방사성동위원소를 이용한 핵의학 lung scan은 CT (Computed Tomography) 및 혈관조영술과 비교하면 방사선 피폭이 적고 조영제에 의한 신부전 악화와 같은 부작용이 없으므로 수

년간 임상경험을 통해 그 유용성이 입증된 검사이며 현재 폐 질환 환자에게 폭넓게 적용하고 있다. 이러한 lung scan은 perfusion과 ventilation scan으로 분류할 수 있으며, 환자의 진단 목적에 맞게 선택하여 시행하게 된다. Lung perfusion scan에서 관찰되는 관류결손의 원인이 폐색전(embolism)에 의한 것임을 감별하기 위하여 lung ventilation scan을 시행하는데, 폐의 환기 정도를 평가하여 관류스캔의 특이도를 높이는 데 이용된다. 이와 같이 ventilation scan은 질적인 평가 (analysis of quality)와 함께 국소 폐질환을 구별하기 위한 전체적인 폐기능을 평가할 수 있는 장점을 가지고 있다. Lung

• Received: June 30, 2012. Accepted: September 28, 2012.
• Corresponding author : Jung Soo Kim
Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Hospital,
101 Daehangno, Jongno-gu, Seoul, 110-744, Korea
Tel: +82-2-2072-2948, Fax: +82-2-766-9083
E-mail: ivyid@hanmail.net

scan은 planar scan과 SPECT(Single Photon Emission Computed Tomography)의 두 가지 방법으로 시행할 수 있는데, SPECT는 planar scan 보다 깊이 위치한 병변을 명확히 보여주며 보다 예민한 것으로 보고되고 있으며, (Bajc, et al. IJMI, 2011) 추가적인 해부학 정보를 부가함으로써 정확한 진단에 도움이 된다. 그러나 ventilation SPECT는 정맥주사를 통해 방사성의약품을 주입하는 perfusion SPECT와 다르게 환자의 호흡을 통해 방사성의약품을 흡입시키므로, 만약 원활한 호흡이 불가능한 환자의 경우 목적 장기에 방사성의약품의 섭취율이 저하되고 검사에 유효한 적정 count/rate가 낮아지므로 필연적으로 검사시간이 길어지게 되어 이에 수반되는 여러 문제로 인하여 실제 임상에 적용하기 어려운 실정이다. 따라서 본 연구는 고감도(high sensitivity) 특성을 지닌 AP(All Purpose) 혹은 GP(General Purpose) collimator를 사용하여 low count/rate 환자의 검사시간을 단축시킴으로써 lung ventilation SPECT 임상적용 가능성과 유용성을 평가하였다.

실험재료 및 방법

1. 실험대상 및 기기

- 실험대상 - 정상 성인 남자 2명, 여자 2명 (24.3±0.95세)
- Technegas generator - Technegas-Plus, Cyclomedica(Fig. 1)
- Dual-head SPECT - E.cam signature, Siemens (Fig. 2)
- Collimator - LEUHR (Low Energy Ultra High Resolution)
 - LEHR (Low Energy High Resolution)
 - LEAP (Low Energy All Purpose) (Fig. 3)

2. 실험방법

1. 실험 대상자에게 Technegas 370 MBq을 10분 동안 충분히 흡입시키고, E.cam SPECT를 사용하여 count/rate를 측정한다.
2. 실험 대상자는 supine 자세에서 LEUHR, LEHR, LEAP collimator를 장착하여 300counts acquisition, 256×256 matrix 조건으로 ANT, POST, LPO, RPO, both-LAT 총 6view의 lung ventilation planar scan 한다.
3. 동일 실험 대상자를 본원에서 사용하던 기존 프로토콜을 적용하여 128×128 matrix, step & shoot mode, non circular, 180° rotation, 70kcounts/view acquisition 조건으로 high



Fig. 1. Technegas generator, Technegas -Plus Cyclomedica, Australia.



Fig. 2. Dual head SPECT, E.cam signature Siemens, Germany.



Fig. 3. Exchanging for collimator. LEUHR, LEHR, LEAP.

counting mode SPECT를 시행한다.

4. 같은 방법으로 7kcounts/view acquisition하여 비교 실험인 low counting mode SPECT를 시행한다. 앞서 시행한 실험의 결과와 비교하여 분석한다.

3. 정량분석

1. Collimator의 종류에 따른 planar scan에서 획득한 모든 실험 결과는 ANT와 POST 영상에 RT, LT lung에 동일하게 ROI를 설정하고, 계수값의 기하평균(geometric mean)을 구하여 lung segmentation (upper, middle, lower) ratio 결과를 산출하였다.

2. Collimator의 종류에 따라서 Low counting, High counting 두 가지 mode로 획득한 SPECT 실험 결과는 각각 lung의 모든 coronal plane을 합산하고, 여기서 얻은 계수값을 planar scan과 동일하게 ROI를 설정하여 결과를 산출하였다(Fig. 4).

3. 실험결과의 정량분석은 e-soft workstation, syngo MI application 2007A(Siemens, Germany)를 사용하였다.

4. 통계분석

각 실험군 사이의 상관관계를 분석하기 위해 paired t-test를 시행하였고, p값이 0.05를 초과할 때 실험의 통계적 의미가 있는 것으로 판단하였다. 모든 자료의 통계처리는 SPSS ver. 20 (SPSS Inc. USA) 프로그램을 사용하였으며, 각 실험 결과는 산술 및 기하 평균(mean value)을 구하고±표준편차(SD)를 산출하였다. 통계의 분석은 서울대학교 의과대학 핵의학교실 물리연구팀에서 검증하였다.

결 과

실험 결과 lung planar scan은 300 kcounts/6iew를 acquisition하여 총 1,800kcounts를 획득하였다. 반면 7 kcounts/view로 acquisition한 low counting mode SPECT의 경우 collimator 종류에 따라서 최소 773 kcounts에서 최대 1,106 kcounts를 획득하였고, 70kcounts/view로 acquisition한 high counting mode SPECT의 경우 collimator 종류에 따라서 최소 7,984kcounts에서 최대 10,222kcounts를 획득하였다. Low

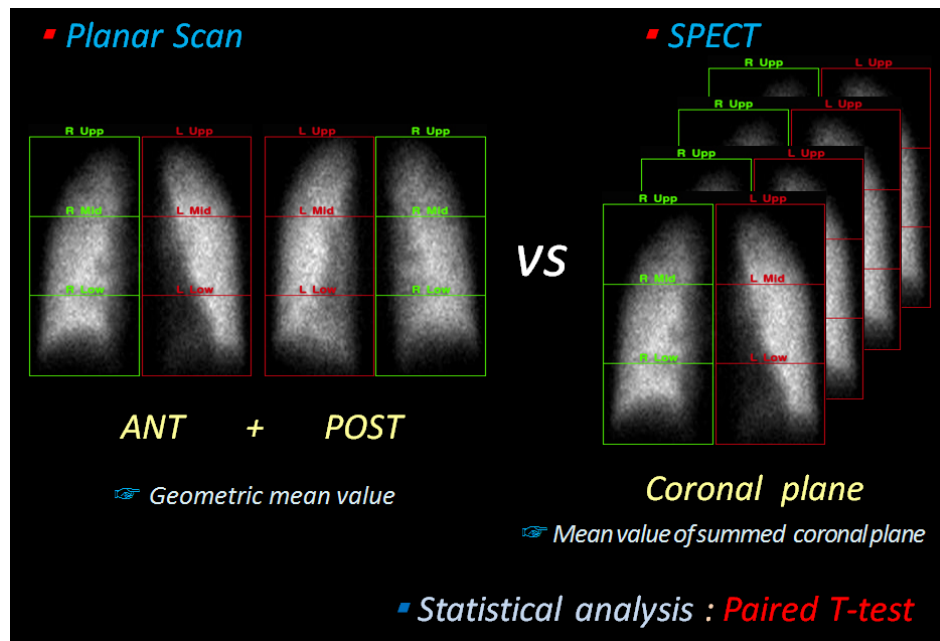


Fig. 4. Analyze each data acquired from two different method. In case of lung ventilation planar scan, left/right lung segmentation ratio result was calculated from ANT and POST image with geometric average. For lung ventilation SPECT was with two each mode collimator attached, all coronal slice plane was added, and lung segmentation ratio result was calculated with same method. such statistical analysis result was verified with paired t-test.

Table 1. Total acquisition counts of all experiments

(kcounts)

Volunteer	Planar scan			Low counts mode SPECT			High counts mode SPECT		
	LEUHR	LEHR	LEAP	LEUHR	LEHR	LEAP	LEUHR	LEHR	LEAP
1	1,800	1,800	1,800	1,106	827	876	10,222	10,140	9,313
2	1,800	1,800	1,800	851	1,076	831	7,984	8,427	8,418
3	1,800	1,800	1,800	790	766	773	8,217	8,442	8,232
4	1,800	1,800	1,800	1,017	934	964	9,651	9,853	9,343

counting mode SPECT는 planar scan보다 평균 2배 가까이 counts가 적었고 high counting mode SPECT에 비해서 대략 10배 넘게 적었다(Table 1).

이렇게 다양한 counts의 모든 실험 자료를 통해 실험대상 4명의 lung segmentation ratio를 산출하고, 평균값과 표준편차를 계산한 결과, LT:RT lung ratio는 순서대로 각각 45.5:54.5 (± 0.26), 45.4:54.6 (± 0.40), 50.1:49.9 (± 0.28), 49.4:50.6 (± 0.57)이었다. 따라서 정량분석한 결과planar scan과 low, high counting mode SPECT사이collimator 종류에 의한 lung segmentation ratio는 오차 범위내에 모두 존재하므로 상호 유의한 수준으로 나타났다(Fig. 5). 이때 lung의 ratio는 "100%"를 기준으로 LT:RT의 상대기능으로 결과를 산출하기 때문에 표준편차는 모두 같다. 실험 결과가 통계적으로

유의한 이유는 planar scan은 total counts는 많지만, ANT와 POST image 2view를 기하평균으로 산출한 것이고, 비교실험인 low counting mode SPECT는 coronal slice plane을 모두 합산한 것이므로 개별 slice plane의 count는 적었지만 결국 total counts는 결과를 분석하기에 충분한 것으로 생각된다(Table 2).

기존의 LEHR collimator를 장착한 planar scan과 비교 실험인 LEAP collimator를 장착한 low counts mode SPECT를 통계 프로그램을 이용하여 자세히 분석한 결과 p-value가 0.10이상으로 두 실험의 결과는 통계적으로 유의한 것으로 조사되었다(Table 3).

실험에 소요된 시간을 분석한 결과 planar scan은 LEUHR, LEHR, LEAP collimator 순서로 각각 1803 \pm 268 sec, 915 \pm 162

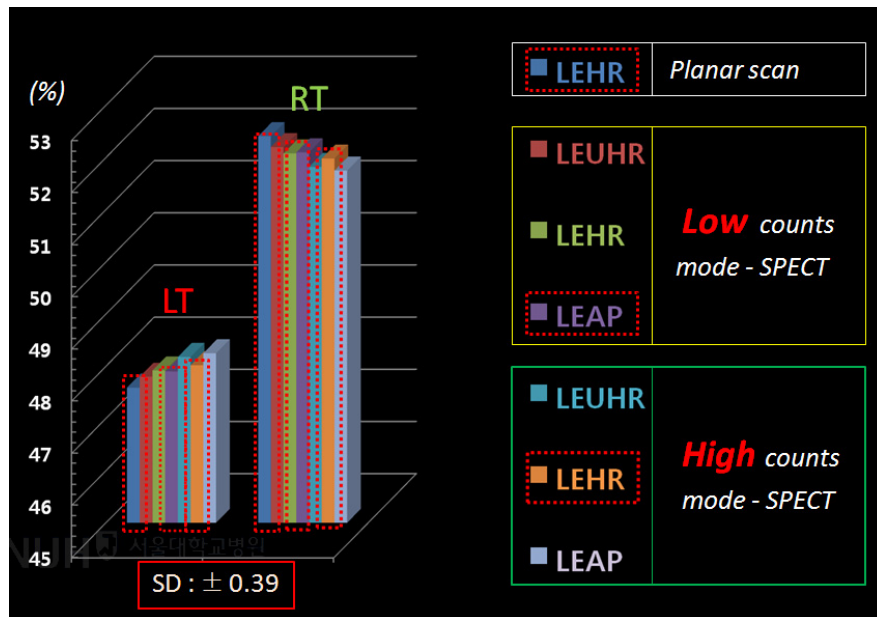


Fig. 5. The lung segmentation ratio results, The mean value of each experiment is used for comparative analysis.

Table 2. Segmentation results of LT:RT lung ratio

(%)

Volunteer	Planar scan		Low counts mode SPECT			High counts mode SPECT		SD
	LEHR	LEUHR	LEHR	LEAP	LEUHR	LEHR	LEAP	
1	45.4:54.6	45.8:54.2	45.8:54.2	45.9:54.1	45.3:54.7	45.4:54.6	45.3:54.7	± 0.26
2	44.7:55.3	45.7:54.3	45.9:54.1	45.7:54.3	45.5:54.5	45.2:54.8	45.7:54.3	± 0.40
3	49.8:50.2	50.0:50.0	50.2:49.8	49.9:50.1	50.5:49.5	50.3:49.7	50.5:49.5	± 0.28
4	48.3:51.7	49.7:50.3	49.8:50.2	50.1:49.9	49.4:50.6	49.2:50.8	49.5:50.5	± 0.57

Table 3. LT : RT lung ratio of planar scan (LEHR) & low counting mode SPECT (LEAP)

(%)

Volunteer	RT. lung		LT. lung	
	LEHR	LEAP	LEHR	LEAP
1	45.4	45.9	54.6	54.1
2	44.7	45.7	55.3	54.3
3	49.8	49.9	50.2	50.1
4	48.3	50.1	51.7	49.9

sec, 501 ± 134 sec이었고, 비교실험인 low counting mode SPECT는 1125.5 ± 103.6 sec, 900 ± 64 sec, 740 ± 0 sec이었으며, 본원에서 사용하던 기존 프로토콜인 high counting mode SPECT는 5794.5 ± 946.5 sec, 3620 ± 397.9 sec, 2020 ± 104.5 sec 이었다. 결국 planar scan에 소요된 시간을 기준으로 high counting mode SPECT는 보다 많이 소요되었으나 관심실험인 low counting mode SPECT의 경우 실험에 소요되는 시간이 보다 적은 것으로 분석되었다. 더욱이 2차원 planar scan과 3차원 SPECT와 비교한 것을 고려했을 때, 비교대상 실험의 시간단축은 의미 있는 것으로 판단된다(Table 4. Fig 6).

종합하면 관심실험인 LEAP collimator를 장착한 low counting mode SPECT의 검사 소요시간 740sec에 반하여, 기존 본원의 프로토콜인 LEHR collimator를 장착한 high counting mode SPECT의 검사 소요시간 평균은 3620sec이므로, 약 5배 정도 시간 단축이 가능한 것으로 조사되었으며, 모든 실험의 정량분석 결과도 임상적으로 유의한 것으로 분석되었다. 결국 high sensitivity LEAP collimator를 장착하여 lung SPECT를 시행하면, 임상적으로 유의한 정량분석 결과를 얻을 수 있으며, 동시에 검사시간을 효과적으로 단축시킬 수 있음을 의미한다(Fig. 7).

고찰

실험대상이 4명으로 표본수가 비교적 적었으며, 호흡이 어려운 실제 중환자가 아닌 정상인을 대상으로 한 실험 결과이므로 일반화하기에 보다 많은 임상 실험이 필요하다. 또한, 제조사마다 SPECT장비와 collimator의 성능이 다르고, 환자가 흡입하는 방사성의약품의 투여량은 해당 기관마다 차이가 있을 수 있으므로, 임상에서는 기관마다 실정에 맞게 적용해야 할 것이다.

추후과제

본 실험은 lung ventilation SPECT의 시간단축을 위해 하드웨어적인 방법을 모색하던 중, collimator에 착안하여 특성에 따른 lung scan 결과의 유의성과 시간 단축의 상관관계를 찾는 것이었다. 현재 제조사에서 제공하는 image processing 및 half time methods (Onco.Flash, Astonish, evolution)와 같은 소프트웨어를 추가 적용하여 실험한다면 흥미로운 결과가 예상되므로 이것에 관한 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 최근에는 SPECT와 CT 영상을 순차적으로 획득하여 융합(fusion) 혹은 정합(registration)함으로써 보다 정확

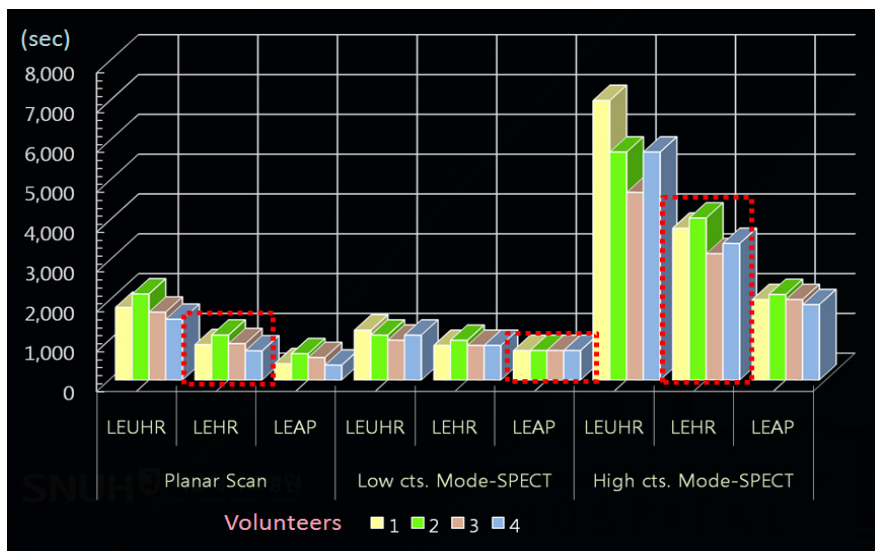


Fig. 6. This is the bar graph. All acquisition time of lung scan with various collimator. Consideration standard experiment is planar scan and comparative experiment is SPECT, the meaning of reduced time is significant.

Table 4. Acquisition time of all lung scan with various collimator (sec)

Volunteer	Planar scan			Low counts mode SPECT			High counts mode SPECT		
	LEUHR	LEHR	LEAP	LEUHR	LEHR	LEAP	LEUHR	LEHR	LEAP
1	1,824	888	408	1,252	868	740	7,020	3,812	2,020
2	2,160	1,128	660	1,126	996	740	5,724	4,068	2,148
3	1,704	912	564	998	868	740	4,710	3,172	2,020
4	1,524	732	372	1,126	868	740	5,724	3,428	1,892

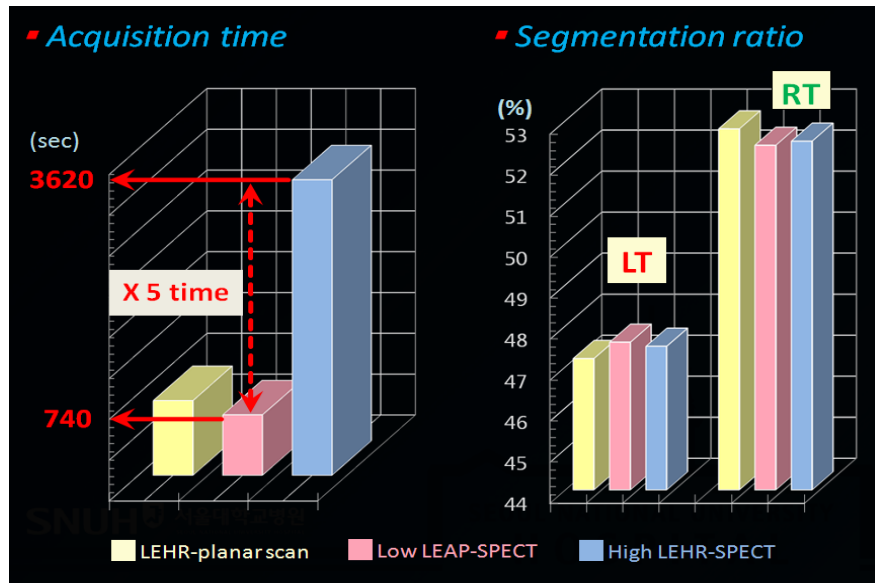


Fig. 7. This is Summary slide. Compared it with high counts mode SPECT inspection time which is a existing lung ventilation SPECT inspection method and all lung ventilation study experimental results are appeared to be statistically significant.

하고 편리하게 영상을 비교, 판독할 수 있는 방법을 사용하는 추세이므로 이에 관한 연구가 필요할 것이다.

결론

소아, 응급 및 중증환자와 같이 호흡 상태에 따라 정상적인 검사가 어렵고 비교적 단시간내에 검사가 이루어져야 하는 경우, 고감도 AP 혹은 GP collimator를 사용하여 ventilation SPECT를 시행한다면, 목적 장기의 낮은 방사성의약품 섭취율로 인한 low count/rate를 보상하여 raw data의 total counts를 증가시켜 기존의 planar scan과 비교하여 동일한 결과를 얻을 수 있으며, 소요되는 검사시간을 단축시킬 수 있다. 따라서 환자의 상태로 발생하는 artifact, 장시간 검사에 따른 환자의 motion blurring 등에 의한 검사결과 오류를 감소시킬 수 있으며, planar scan에서 구현할 수 없는 작은 병변의 검출이나 병소의 위치, 크기 등을 보다 정확하고 예민하게 파악할 수 있는 SPECT의 장점을 충분히 구현할 수 있다. 또한 대부분 중증 lung disease 환자의 경우 lung CT 혹은 혈관조영술과 같은 부가적인 검사를 시행함으로써 단층영상과 상대적비교가 용이하여 해부학적인 구조물의 상태를 확인하고, 정량분석결과를 통해 환자의 상태 및 목적 장기의 기능을 보완하게 되어 보다 정확한 진단이 이루어질 수 있으므로 임상적용에 충분한 유용성이 있을 것으로 사료되며, 향후 그 이용이 기대된다.

요약

Lung SPECT는 planar scan 보다 깊이 위치한 병변을 명확히 보여주며 보다 예민한 것으로 보고되고 있다. 그러나 ventilation SPECT는 정맥주사를 통해 방사성의약품을 주입하는 perfusion SPECT와 다르게 환자의 호흡을 통해 흡입시키므로, 원활한 호흡이 불가능한 환자의 경우 목적 장기에 방사성의약품의 섭취율이 저하되고 검사에 유효한 적정 count/rate가 낮아지므로 필연적으로 검사시간이 길어지게 되어 이에 수반되는 여러 문제로 인하여 실제 임상에 적용하기 어려운 실정이다. 따라서 본 연구는 고감도(high sensitivity) 특성을 지닌 AP (All Purpose) 혹은 GP (General Purpose) collimator를 사용하여 low count/rate 환자의 검사시간을 단축시킴으로써 lung ventilation SPECT 임상적용 가능성과 유용성을 평가하였다. 정상 성인 남녀 4명(24.3±0.95 세)을 실험대상으로 Technegas 370 MBq을 흡입시키고, E.cam SPECT를 사용하여 count/rate를 측정 후, LEUHR, LEHR, LEAP collimator를 장착하여 300counts acquisition 조건으로 ANT, POST, LPO, RPO, both-LAT 총 6 view의 lung ventilation planar scan 하였다. 동일 실험 대상자를 본원에서 사용하던 기존 프로토콜을 적용하여 70 kcounts/view acquisition 조건으로 high counting mode SPECT를 시행하고, 같은 방법으로 7kcounts/view acquisition하여 비교 실험인 low counting mode SPECT를 시행한 후 모든 실험의 결과를 lung segmentation ratio와 검사 소요시간을 통해 비교하여 분석하였다. 각 실험군 사이의 상관관계를 분석하기 위해 paired t-test를 시행하였고, p값이 0.05를 초과할 때 실험

의 통계적 의미가 있는 것으로 판단하였다. 모든 자료의 통계처리는 SPSS ver. 20을 사용하였으며, 각 실험 결과는 산술 및 기하 평균(mean)을 구하고±표준편차(SD)를 산출하였다.

실험 결과 lung planar scan은 300 kcounts/6iew를 acquisition하여 총 1,800 kcounts를 획득하였다. 반면 7 kcounts/view로 acquisition한 low counting mode SPECT의 경우 collimator 종류에 따라서 최소 773 kcounts에서 최대 1,106 kcounts를 획득하였고, 70 kcounts/view로 acquisition한 high counting mode SPECT의 경우 collimator 종류에 따라서 최소 7,984 kcounts에서 최대 10,222kcounts를 획득하였다. 모든 실험 자료를 통해 실험대상 4명의 lung segmentation ratio를 산출하고, 평균값과 표준편차를 계산한 결과, LT:RT lung ratio는 순서대로 각각 45.5:54.5 (± 0.26), 45.4:54.6 (± 0.40), 50.1:49.9 (± 0.28), 49.4:50.6 (± 0.57)이었다. 따라서 정량분석한 결과planar scan과 low, high counting mode SPECT사이 collimator 종류에 의한 lung segmentation ratio는 오차 범위에 모두 존재하였다. 보다 자세한 분석을 위해 기존의 LEHR collimator를 장착한 planar scan과 비교 실험인 LEAP collimator를 장착한 low counts mode SPECT를 통계처리한 결과 p -value가 0.10이상으로 두 실험의 결과는 통계적으로 유의하였다. 실험에 소요된 시간을 분석한 결과 planar scan은 LEUHR, LEHR, LEAP collimator 순서로 각각 1803±268 sec, 915±162 sec, 501±134 sec이었고, 비교실험인 low counting mode SPECT는 1125.5±103.6 sec, 900±64 sec, 740±0 sec이었으며, 본원에서 사용하던 기존 프로토콜인 high counting mode SPECT는 5794.5±946.5 sec, 3620±397.9 sec, 2020±104.5 sec이었다. 관심실험인 LEAP collimator를 장착한low counting mode SPECT의 검사 소요시간 740 sec에 비하여, 기존 본원의 프로토콜인 LEHR collimator를 장착한 high counting mode SPECT의 검사 소요시간 평균은 3620sec이므로, 약 5배 정도 시간 단축이 가능한 것으로 조사되었으며, 모든 실험의 정량분석 결과도 임상적으로 유의한 것으로 분석되었다. 결국 high sensitivity LEAP collimator를 장착하여 lung SPECT를 시행하면, 임상적으로 유의한 정량분석 결과를 얻을 수 있으며, 동시에 검사시간을 효과적으로 단축시킬 수 있음을 의미한다.

REFERENCES

1. Patrick Reinartz, Joachim E. Wildberger, Wolfgang Schaefer, et al. Tomographic imaging in the diagnosis of pulmonary embolism:A comparison between V/Q lung scintigraphy in SPECT technique and multislice spiral CT. J Nucl Med. 2004;45: 1501-1508.
2. Gray HW. The natural history of venous thromboembolism : impact on ventilation/perfusion scan reporting. Semin Nucl Med. 2002;32:159-172.
3. J. Palmer, U. Bitzen, B. Jonson, and M. Bajc. Comprehensive ventilation/perfusion SPECT. J Nucl Med. 2001;42:1288-1294.
4. Osborne DR, Jaszczak RJ, Greer K, Roggli V, Lischko M, Coleman RE. Comparison of single photon emission computed tomography, gamma camera imaging and angiography. Radiology. 1983;146:493-497.
5. Corbus HF, Seitz JP, Larson RK, et al. Diagnostic usefulness of lung SPECT in pulmonary thromboembolism: an outcome studt. Nucl Med Commun. 1997;18:897-906.
6. Freeman LM, Krynycky B, Zuckier LS. Enhanced lung scan diagnosis of pulmonary embolism with the use of ancillary scintigraphic findings and clinical correlation. Semin Nucl Med. 2001;31:143-157.
7. Gottschalk A, Stein PD, Sostman HD, et al. Very low probability interpretation of V/Q lung scans in combination with low probability objective clinical assessment reliably excludes pulmonary embolism: Data from PIOPED 2. J Nucl Med. 2007;48:1411-1415.
8. Jye Smith, Marissa Bartlett, Paul Thomas. Histogram matching for the generation of ventilation-perfusion difference images in SPECT lung scanning: A phantom study. J Med Phys. 2012;39:3026.
9. Alexandra Le Duc-Pennec, Pierre-Yves Le Roux, Jean-Christophe Cornily, et al. Diagnostic accuracy of single-photon emission tomography ventilation/perfusion lung scan in the diagnosis of pulmonary embolism. Chest Phys. 2011;199.
10. Michel A. Meignan. Lung ventilation/perfusion SPECT: The right technique for hard times. J Nucl Med. 2002;43:648-651.
11. Pierre Weinmann, Jean-Luc Moretti, Michel W. Brauner. Usefulness of tomographic versus planar lung scintigraphy in suspected pulmonary embolism in a daily practice. The Open Med Imaging J. 2008;2:49-55.
12. Marika Bajc, Bjorn Jonson. Ventilation/perfusion SPECT for diagnosis of pulmonary embolism and disease. Int J Mol Imaging. 2011;10:1155.
13. Johan Peterson, Alejandro Sanchez-Crespo, Stig A. Larson, Margareta Mure. Physiological imaging of the lung: Single photon emission computed tomography. J Applied Phys. 2006; 10;1152.
14. Gutte Henrik, Mortensen Jann, Jensen Claus Verner, Von Der Recke, Petersen Claus Leth, Kristoffersen Ulrik Sloth, Kjaer Andreas. Comparison of V/Q SPECT and V/Q lung scintigraphy in diagnosis acute pulmonary embolism. Nucl Med Com. 2010;31:82-86.
1. Patrick Reinartz, Joachim E. Wildberger, Wolfgang Schaefer, et