

Original Article

PET/CT 검사에서 Flow mode를 적용한 Respiratory Gating Method 촬영과 추가 Gating 촬영의 비교 및 유용성 평가

분당서울대학교병원 핵의학과¹ · 서울대학교 융합과학기술대학원²

장동훈¹ · 김경훈¹ · 이진형¹ · 조현덕¹ · 박소현² · 박영재¹ · 이인원¹

Comparison and Evaluation of the Effectiveness between Respiratory Gating Method Applying The Flow Mode and Additional Gated Method in PET/CT Scanning.

Donghoon Jang¹, Kyunghun Kim¹, Jinhyung Lee¹, Hyunduk Cho¹, Sohyun Park²,
Youngjae Park¹ and Inwon Lee¹

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

²Graduate School of Convergence Science and Technology, Seoul University, Seoul, Korea

Purpose The present study aimed at assessing the effectiveness of the respiratory gating method used in the flow mode and additional localized respiratory-gated imaging, which differs from the step and go method.

Materials and Methods Respiratory gated imaging was performed in the flow mode to twenty patients with lung cancer (10 patients with stable signals and 10 patients with unstable signals), who underwent PET/CT scanning of the torso using Biograph mCT Flow PET/CT at Bundang Seoul University Hospital from June 2016 to September 2016. Additional images of the lungs were obtained by using the respiratory gating method. SUV_{max}, SUV_{mean}, and Tumor Volume (cm³) of non-gating images, gating images, and additional lung gating images were found with Syngo, bia (Siemens, Germany). A paired t-test was performed with GraphPad Prism6, and changes in the width of the amplitude range were compared between the two types of gating images.

Results The following results were obtained from all patients when the respiratory gating method was applied: SUV_{max} = 9.43 ± 3.93, SUV_{mean} = 1.77 ± 0.89, and Tumor Volume = 4.17 ± 2.41 for the non-gating images, SUV_{max} = 10.08 ± 4.07, SUV_{mean} = 1.75 ± 0.81, and Tumor Volume = 3.56 ± 2.11 for the gating images, and SUV_{max} = 10.86 ± 4.36, SUV_{mean} = 1.77 ± 0.85, Tumor Volume = 3.36 ± 1.98 for the additional lung gating images. No statistically significant difference in the values of SUV_{mean} was found between the non-gating and gating images, and between the gating and lung gating images (*P*>0.05). A significant difference in the values of SUV_{max} and Tumor Volume were found between the aforementioned groups (*P*<0.05). The width of the amplitude range was smaller for lung gating images than gating images for 12 from 20 patients (3 patients with stable signals, 9 patients with unstable signals).

Conclusion In PET/CT scanning using the respiratory gating method in the flow mode, any lesion movements caused by respiration were adjusted; therefore, more accurate measurements of SUV_{max} and Tumor Volume could be obtained from the gating images than the non-gating images in this study. In addition, the width of the amplitude range decreased according to the stability of respiration to a more significant degree in the additional lung gating images than the gating images. We found that gating images provide information that is more useful for diagnosis than the one provided by non-gating images. For patients with irregular signals, it may be helpful to perform localized scanning additionally if time allows.

Key Words Flow mode, Respiratory Gating Method, SUV_{max}, Tumor Volume

· Received: April 28, 2017 Accepted: May 10, 2017
· Corresponding author : Dong Hoon Jang
Address for correspondence : Department of Nuclear Medicine,

Seoul National University Bundang Hospital, Gumi-ro,
Bundang-gu, Seongnam 463-707, Korea
Tel.: +82-31-787-2944, Fax: +82-31-787-4018
E-mail: 20361@snuhb.org

서 론

폐암 환자의 경우 PET/CT 검사 시 호흡에 따라 정합오차가 발생하게 된다. 현재 표준 섭취 계수의 최대 값(SUV_{max})을 이용하여 폐암 환자의 수술 후 예측 및 항암화학요법의 효과를 평가하고 있으며, 방사선치료의 예후 예측 및 평가를 위해 현재 Tumor volume과 SUV를 이용한 지표가 사용되고 있다.¹⁾ 따라서 본원에서는 정확한 검사를 위해 폐암 환자를 대상으로 Respiratory gating method을 적용하고 있다.

본 연구는 Step and Go 방식이 아닌 Flow mode를 적용하여 전체 Respiratory gating method와 추가로 폐 부위만 Respiratory gating 검사했을 때의 유용성에 대해 알아보려고 한다.

실험재료 및 방법

1. 대상

2016년 6월부터 2016년 9월까지 분당서울대학교병원에서 PET/CT 검사를 시행한 폐암 환자 20명(남:12명, 여:8명)을 대상으로 하였고, 대상 환자의 연령은 17세에서 85세 사이에 분포하였으며 평균연령은 63.8±15.7세였다.

2. 실험장비

실험에 사용된 장비는 Biograph mCT Flow (Siemens medical system, Germany) (Fig. 1)이며, Respiratory Gating Equipment (Anzai)를 사용하여 환자의 호흡에 따른 정합오차를 보정하였다(Fig. 2). 장비의 crystal은 LSO를 사용하였고, 영상재구성 방식은 TrueX + TOF (ultraHD-PET)으로 subset 21회, iteration 2회로 하였다. Image size는 256 × 256, 필터는 Gaussian filter을 사용하였고 반치폭은 5.0(mm)으로 설정하였다.



Fig. 1. mCT Flow PET/CT Scanner was used in this experiment.

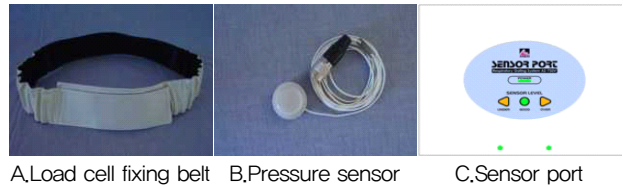


Fig. 2. Respiratory Gating Equipment (Anzai) was used for this experiment.

3. 검사방법

총 20명의 환자 중 Amplitude range가 15% 미만인 신호가 안정된 환자 10명, 15% 초과된 신호가 불안정한 환자 10명씩 두 그룹으로 나누어 검사 전에 최소 6시간 이상 금식하였다. 그리고 환자에게 각각 1 kg당 0.14 mCi의 ¹⁸F-FDG를 정맥에 주사하고, 근육의 섭취 증가를 막기 위해 움직임을 제재하였으며, 50분정도 안정을 취한 후 PET/CT Biograph mCT Flow (Siemens medical system, Germany)장비를 사용하여 Flow mode를 적용한 채 토르소검사를 하였다. 검사시 폐 부위를 제외한 부위는 1.50(mm/s)로 폐 부위는 1.00(mm/s)의 속도로 Respiratory Gating method로 검사 하였다. 그리고 첫 번째 검사 후 CT 촬영을 하지 않고 추가로 폐 부위만 1.00(mm/s)의 속도로 Respiratory Gating method로 PET 영상을 획득하였다. 이후 Syngo, bia (Siemens, Germany) 프로그램을 이용하여 Non-gating 영상과 Gating 영상, 그리고 추가 Lung gating 영상의 표준섭취계수(Standard Uptake Value) 중 최대(Maximum) 값과 평균(Mean)값, 그리고 최대값 대비 40%의 Tumor Volume (cm³)를 측정 후 GraphPad Prism6를 사용하여 Paired t-test 실시하였고, 두 Gating 영상의 Amplitude Range 폭의 변화를 비교하였다.

결 과

1. 호흡이 안정한 환자

Respiratory gating method로 검사하여 영상을 획득한 결과 SUV_{max} 평균은 Non-gating 영상에서 8.86±3.57, 기존 Lung gating 영상에서 9.28±3.54, 그리고 추가 Lung gating 영상에서 9.71±3.29 로서 추가 Lung Gating을 하였을 때 SUV_{max}가 가장 높게 나타났고(Table 1), SUV_{mean} 평균은 Non-gating 영상에서 1.58±0.60, 기존 Lung gating 영상에서 1.55±0.53, 그리고 추가 Lung gating 영상에서 1.56±0.57로 나타났다(Table 2). 그리고 Tumor Volume (cm³)값은 Non-gating 영상에서

3.73±2.48, 기존 Lung gating 영상에서 3.28±2.19, 그리고 추가 Lung gating 영상에서 3.19±2.14을 얻었다(Table 3).

Table 1. Comparison of the SUV_{max} for non gating, lung gating, and additional lung gating in patients with stable signals

Patient	SUV _{max}		
	Non gating	Lung gating	Additional lung gating
1	14.5	14.6	13.97
2	9.53	10.1	10.89
3	4.12	4.3	5.1
4	8.68	9.12	9.86
5	14.3	14.8	14.3
6	5.05	5.25	5.03
7	9.28	9.31	10.17
8	5.06	5.81	6.36
9	9.81	9.83	10.57
10	8.29	9.71	10.8

Table 2. Comparison of the SUV_{mean} for non gating, lung gating, and additional lung gating in patients with stable signals

Patient	SUV _{mean}		
	Non gating	Lung gating	Additional lung gating
1	1.92	1.96	1.93
2	1.42	1.44	1.44
3	1.05	1.12	1.04
4	1.28	1.31	1.33
5	1.58	1.53	1.45
6	2.29	2.13	2.13
7	0.68	0.68	0.69
8	2.72	2.5	2.69
9	1.6	1.6	1.62
10	1.22	1.23	1.29

Table 3. Comparison of the Tumor Volume for non gating, lung gating, and additional lung gating in patients with stable signals

Patient	Tumor Volume (cm ³)		
	Non gating	Lung gating	Additional lung gating
1	3.34	3.22	3.12
2	1.36	0.85	0.83
3	9.58	8.46	8.4
4	4.11	3.4	3.36
5	2.29	2.0	2.1
6	2.39	2.13	2.13
7	2.49	2.45	2.35
8	6.18	5.43	5.06
9	1.8	1.81	1.8
10	3.79	3.08	2.77

2. 호흡이 불안정한 환자

Respiratory gating method로 검사하여 영상을 획득한 결과 SUV_{max} 평균은 Non-gating 영상에서 10.00±4.37, 기존 Lung gating 영상에서 10.88±4.58, 그리고 추가 Lung gating 영상에서 12.01±5.14로서 추가 Lung Gating을 하였을 때 SUV_{max}가 가장 높게 나타났고(Table 4), SUV_{mean} 평균은 Non-gating 영상에서 1.97±1.10, 기존 Lung gating 영상에서 1.94±1.01, 그리고 추가 Lung gating 영상에서 1.97±1.06으로 나타났다(Table 5). 그리고 Tumor Volume (cm³)값은 Non-gating 영상에서 4.61±2.40, 기존 Lung gating 영상에서 3.84±2.09, 그리고 추가 Lung gating 영상에서 3.52±1.09를 얻었다(Table 6).

Table 4. Comparison of the SUV_{max} for non gating, lung gating, and additional lung gating in patients with unstable signals

Patient	SUV _{max}		
	Non gating	Lung gating	Additional lung gating
1	9.84	11.72	13.33
2	5.94	6.11	6.86
3	12.48	12.7	13.93
4	10.46	11.24	13.44
5	19.42	19.85	23.63
6	6.3	6.41	7.46
7	12.38	13.43	13.3
8	5.99	6.44	7.7
9	11.84	14.61	13.52
10	5.38	6.27	6.92

Table 5. Comparison of the SUV_{mean} for non gating, lung gating, and additional lung gating in patients with unstable signals

Patient	SUV _{mean}		
	Non gating	Lung gating	Additional Lung gating
1	1.63	1.66	1.68
2	0.72	0.75	0.77
3	1.93	1.9	2.03
4	3.89	3.69	3.8
5	3.89	3.63	3.78
6	1.35	1.32	1.38
7	1.42	1.44	1.47
8	1.3	1.32	1.23
9	2.33	2.49	2.36
10	1.24	1.22	1.21

Table 6. Comparison of the Tumor Volume for non gating, lung gating, and additional lung gating in patients with unstable signals

Patient	Tumor Volume (cm ³)		
	Non gating	Lung gating	Additional Lung gating
1	4.92	3.85	3.81
2	2.9	2.69	2.30
3	4.52	4.15	3.48
4	1.64	1.24	1.19
5	8.63	7.05	6.78
6	7.59	7.51	6.2
7	2.31	2.25	2.41
8	2.04	1.65	1.44
9	6.05	4.23	4.76
10	5.51	3.81	2.86

3. 전체 비교

종합적으로 평균값을 비교한 결과 SUV_{max}는 Non gating 영상에서 9.43±3.93 이었고, 첫 번째 Lung gating 영상에서는 10.08±4.07로서 6.9% 증가함을 보였다. 그리고 추가 lung gating 영상에서 10.86±4.36 로서 첫 번째 Lung gating 영상보다 7.7%가 더 증가함을 보였고, 서로 간에 통계적으로 유의한 차이를 보였다(*P*<0.05). 그중 호흡이 안정한 환자의 평균 SUV_{max}는 Non gating 영상에서 8.86±3.57, 첫 번째 Lung gating 영상에서는 9.28±3.54로서 첫 번째 Lung gating 영상보다 4.8%가 더 증가하였다. 그리고 추가 Lung gating 영상에서 9.71±3.29로서 첫 번째 Lung gating 영상보다 4.5% 더 증가하

였다. 불안정한 호흡을 한 환자의 경우 Non gating 영상에서 10.00±4.37, 첫 번째 Lung gating 영상에서는 10.88±4.58 로서 8.7% 더 증가함을 보였고, 추가 Lung gating 영상에서 12.01±5.14로 첫 번째 Lung gating 영상보다 10.4% 증가함을 보여 호흡이 안정한 환자군보다 불안정한 환자군 에서의 SUV_{max} 변화폭이 크다는 것을 알 수 있었다(Table 7).

다음 SUV_{mean}의 전체 평균값을 비교한 결과 Non gating 영상에서 1.77±0.89, 첫 번째 Lung gating 영상에서는 1.75±0.81 로서 -1.5% 감소하였다. 그리고 추가 Lung gating 영상에서 1.77±0.85로 첫 번째 Lung gating 영상보다 1.1% 증가함을 보였고 서로 간에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(*P*>0.05)(Table 8). 그리고 Tumor Volume (cm³)의 전체 평균값을 비교한 결과 Non gating 영상에서 4.17±2.41, 첫 번째 Lung gating 영상에서는 3.56±2.11 로서 -14.6% 감소하였다. 그리고 추가 Lung gating 영상에서 3.36±1.98 로 첫 번째 Lung gating 영상보다 -5.8% 더 감소함을 보였고, 서로 간에 통계적으로 유의한 차이를 보였다(*P*<0.05). 그중 호흡이 안정한 환자군의 평균 Tumor Volume 은 Non gating 영상에서 3.73±2.48, 첫 번째 Lung gating 영상에서는 3.28±2.19 로서 -12.1% 감소를 했고 추가 Lung gating 영상에서 3.19±2.14로 서 -2.8% 더 감소하였다. 호흡이 불안정한 환자군의 경우 Non gating 영상에서 4.61±2.40, 첫 번째 Lung gating 영상에서는 3.84±2.09 로서 -16.7% 감소를 했고, 추가 Lung gating 영상에서 3.52±1.09로서 -8.3% 감소를 해 호흡이 안정한 환자군보다 불안정한 환자군에서 Tumor Volume의 변화폭이 더 크게 나타난 것을 알 수 있었다(Table 9). 그리고 amplitude range 폭의 변화는 총 20명의 환자 중 호흡이 안정적인 환자 3명(Table

Table 7. Comparison of mean values in total SUV_{max} for non gating, lung gating, and additional lung gating in patients with stable signals and unstable signals

구분	SUV _{max}					
	Non gating	Lung gating	%Diff	Lung gating	Additional lung gating	%Diff
전체환자	9.43±3.93	10.08±4.07	6.9%	10.08±4.07	10.86±4.36	7.7%
안정한 환자	8.86±3.57	9.28±3.54	4.8%	9.28±3.54	9.71±3.29	4.5%
불안정한 환자	10.00±4.37	10.88±4.58	8.7%	10.88±4.58	12.01±5.14	10.4%

Table 8. Comparison of mean values in total total SUV_{mean} for non gating, lung gating, and additional lung gating in patients with stable signals and unstable signals

구분	SUV _{mean}					
	Non gating	Lung gating	%Diff	Lung gating	Additional lung gating	%Diff
전체환자	1.77±0.89	1.75±0.81	-1.5%	1.75±0.81	1.77±0.85	1.1%
안정한 환자	1.58±0.60	1.55±0.53	-1.6%	1.55±0.53	1.56±0.57	0.7%
불안정한 환자	1.97±1.10	1.94±1.01	-1.4%	1.94±1.01	1.97±1.06	1.5%

Table 9. Comparison of mean values in total total Tumor Volume for non gating, lung gating, and additional lung gating in patients with stable signals and unstable signals

구분	Tumor Volume (cm ³)					
	Non gating	Lung gating	%Diff	Lung gating	Additional lung gating	%Diff
전체환자	4.17±2.41	3.56±2.11	-14.6%	3.56±2.11	3.36±1.98	-5.8%
안정한 환자	3.73±2.48	3.28±2.19	-12.1%	3.28±2.19	3.19±2.14	-2.8%
불안정한 환자	4.61±2.40	3.84±2.09	-16.7%	3.84±2.09	3.52±1.09	-8.3%

Table 10. Comparison with lung gating and additional lung gating to difference in amplitude range width in patients with stable signals

Patient	Amplitude range (%)		Amplitude range width difference (%)		
	Lung gating	Additional Lung gating	Lung gating	Additional Lung gating	%diff
1	0~3	0~5	3	5	66.7
2	3~9	3~9	6	6	0
3	0~6	0~1	6	1	-83.3
4	0~11	0~6	11	6	-45.5
5	0~1	0~1	1	1	0
6	3~10	2~10	7	8	14.3
7	0~4	0~6	4	6	50.0
8	1~7	0~9	6	9	50.0
9	4~8	2~6	4	4	0
10	3~7	2~5	4	3	-25.0

Table 11. Comparison with lung gating and additional lung gating to difference in amplitude range width in patients with unstable signals

Patient	Amplitude range (%)		Amplitude range width difference (%)		
	Lung gating	Additional Lung gating	Lung gating	Additional Lung gating	%diff
1	15~29	0~12	14	12	-16.6
2	2~18	1~16	16	15	-6.3
3	3~16	2~10	13	8	-38.5
4	0~17	0~15	17	15	-11.8
5	17~28	0~7	11	7	-57.1
6	6~19	0~6	13	6	-53.8
7	4~18	3~12	14	9	-35.7
8	7~20	6~18	13	12	-7.7
9	3~23	0~9	20	9	-55.0
10	3~19	2~18	16	16	0

10), 불안정한 환자 9명에서 추가 Lung gating을 하였을 때 더 낮아짐을 알 수 있었다(Table 11).

육안평가결과 모두 같은 방식으로 영상을 재구성하였을 때

Non gating 영상보다는 첫 번째 Lung gating 영상이, 그리고 첫 번째 Lung gating 영상 보다는 추가 Lung gating 영상에서 병소가 점점 뚜렷해지는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3).

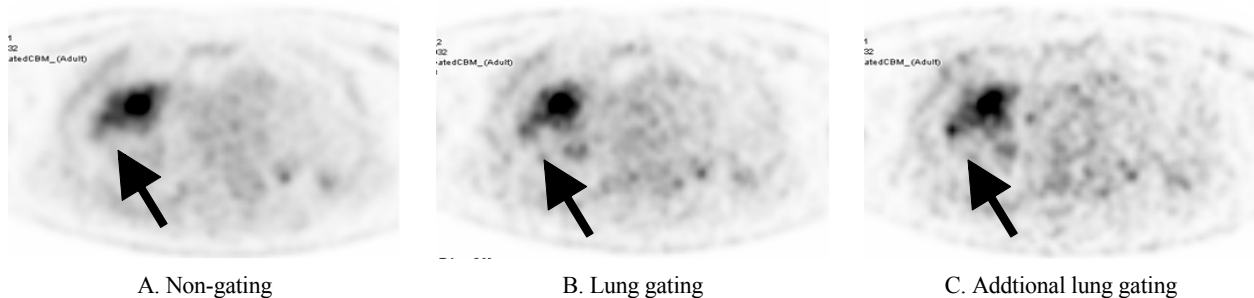


Fig. 3. The results of the visual evaluation showed that the lesion gradually appeared clearer in B than A and C rather than B.

결론 및 고찰

Flow mode를 적용하여 Respiration gating method로 촬영한 결과 추가적인 CT 촬영 없이 호흡으로 인해 발생하는 병변의 움직임을 바로잡아 주어 SUV_{max} , Tumor Volume을 Non-gating 영상보다 더 정확하게 측정할 수 있었다. 그리고 처음 Gating 촬영 할 때보다 추가 Gating 촬영 시 호흡의 안정에 따른 Amplitude Range 폭의 낮아짐을 알 수 있었는데 이는 호흡이 안정한 환자군보다 불안정한 환자군에서 변화가 많이 일어났다. 따라서 Gating 영상이 Non-gating 영상보다 진단에 더 유용한 정보를 제공함을 알 수 있었고, 신호가 불규칙적인 환자에게 시간적 여유가 있다면 추가로 부분 촬영을 하는 것이 도움이 될 것이라고 사료된다.

본 연구의 제한점은 실험대상이 20명으로 표본수가 적어 좀 더 많은 사례를 이용한 연구가 필요하다고 생각하였다. 그리고 환자 개인의 심리적인 상태와 병의 중증도에 따라 호흡의 상태가 달라질 수 있는데 이러한 변수를 고려하지 않은 점이 아쉬운 부분이었다.

요 약

폐암(Lung cancer) 환자의 경우 PET/CT 검사에서 호흡으로 인하여 영상의 정합오차가 발생하게 되는데 이로 인해 정확한 SUV와 Tumor volume 측정을 방해하는 요인으로 작용된다. SUV_{max} 를 이용하여 폐암 환자의 수술 후 예측 및 항암화학요법의 효과를 평가하고 있으며, 방사선치료의 예후 예측 및 평가를 위해 현재 Tumor volume과 SUV를 이용한 지표가 사용되고 있다. 그렇기 때문에 정합오차를 줄이기 위해 본원에서는 Respiratory gating method를 적용하여 검사를 시행하고 있다. 본 연구는 Step and Go 방식이 아닌 Flow mode를 적용하여 Non-gating 영상과 첫 번째 Respiratory Gating 영상, 그리고 추가로 부분 Respiratory gating 촬영하여 Respiratory gating method의 유용성에 대해 알아보았다. 2016년 6월부터 2016년 9월까지 분당서울대학교병원에서 PET/CT 검사를 한

폐암 환자 20명(남:12명, 여:8명)을 대상으로 amplitude range 15% 미만인 호흡이 안정한 환자군 10명 15% 초과한 호흡이 불안정한 환자군 10명으로 나누어 비교분석하였다. 전체 환자에서 Non-gating 영상의 SUV_{max} 는 9.43 ± 3.93 , SUV_{mean} 은 1.77 ± 0.89 , Tumor Volume은 4.17 ± 2.41 로 측정되었고 기존 Gating 영상에서 SUV_{max} 는 10.08 ± 4.07 , SUV_{mean} 은 1.75 ± 0.81 , Tumor Volume은 3.56 ± 2.11 로 측정되었다. 그리고 추가 Lung gating 영상에서 SUV_{max} 는 10.86 ± 4.36 , SUV_{mean} 은 1.77 ± 0.85 , Tumor volume은 3.36 ± 1.98 을 얻었다. Non-gating 영상과 기존 Gating 영상, 그리고 기존 Gating 영상과 추가 Lung gating 영상을 비교했을 때 둘 다 SUV_{mean} 값에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나($P > 0.05$) SUV_{max} 와 Tumor volume에서 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$). 그중 호흡이 안정한 환자군보다 호흡이 불안정한 환자군에서의 증감률이 더 크게 나타났다. Amplitude range 폭은 전체 20명 중 12명(Signal이 안정된 환자 3명 불안정한 환자 9명)이 추가 Lung gating을 했을 때 기존 Gating 영상보다 더 낮게 나타났다. 본 연구에 의하면 Flow mode를 적용하여 Respiration Gating Method로 촬영한 결과 추가적인 CT 촬영 없이 호흡으로 인해 발생하는 병변의 움직임을 보정해 주어 SUV_{max} , Tumor volume을 Non-gating 영상보다 더 정확하게 측정할 수 있었다. 그리고 처음 Gating 할 때보다 추가 촬영 시 호흡의 안정에 따른 Amplitude range 폭의 낮아짐을 알 수 있었다. 따라서 Gating 영상이 Non-gating 영상보다 진단에 더 유용한 정보를 제공함을 알 수 있었고, Signal이 불규칙적인 환자에게 시간적 여유가 있다면 추가로 부분 촬영을 하는 것이 도움이 될 것이라고 사료된다.

REFERENCES

1. Nehmeh SA, Erdi YE, Ling CC, Rosenzweig KE, Cchoder H, Larson SM, et al. Effect of respiratory gating on quantifying PET images of lung cancer. *J Nucl Med* 2002;43:876-881.