

## 호흡보정 PET/CT의 유용성에 관한 연구

김기진<sup>1</sup>, 배석환<sup>2\*</sup>, 김가중<sup>3</sup>

<sup>1</sup>건양대학교병원 핵의학과, <sup>2</sup>건양대학교 방사선학과, <sup>3</sup>극동대학교 방사선학과

### Study on the Usefulness of respiration compensation PET/CT

Ki-Jin Kim<sup>1</sup>, Seok-Hwan Bae<sup>2\*</sup> and Ga-Jung Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dept of Nuclear Medicine, Konyang University Hospital

<sup>2</sup>Dept of Radiological Science, Konyang University

<sup>3</sup>Dept of Radiological Science, Far East University

**요 약** PET/CT촬영 시 호흡에 의해 병소의 움직임으로 인한 영상의 왜곡이 발생한다. 본 연구에서는본원에서 보유하고 있는 호흡보정 Plmonary Toolkit을 이용한 폐결절부위를 영상화 함으로써 보정을 하지 않은 영상과 비교하여 SUV값의 변화와 영상의 왜곡을 어느 정도 교정할 수 있는지 실험하였다. 2008년 5월에서 8월까지 폐암을 진단받은 환자 17명을 대상으로 하였다. 실험결과 Max SUV값은 최소 4.08%에서 최대 43.10%까지의 증가율을 보였고 폐결절의 평균 Max SUV값은 6.07에서 7.00로 12.16%로 증가가 되었다. 호흡보정 PET/CT의 경우 영상의 왜곡이 개선되었다. SCC-Adenocarcinoma에서는 호흡보정 전.후에 통계적으로 유의한 수준( $P<0.05$ )을 보였으나 SCC와 Adenocarcinom에 대한 각각의 비교에서는 유의성을 보이지 않아 Cell type과 관계없이 호흡보정에 효과가 있었다. 실험 결과 Pulmonary Toolkit을 사용할 경우 표준섭취 계수값과 영상에서의 왜곡이 보정되었다. 따라서 폐암의 진단 및 추적관찰에 도움을 줄 수 있을 것이다.

**Abstract** When taking PET/CT, the distortion of the image happens due to the movement of a lesion with respiration. In this study, the experiment was conducted to see if the change in SUV value and distortion of the image could be somewhat corrected by comparing the image which was not compensated with that of the region of lung nodule, compensated with respiration compensation Plmonary Toolkit possessed by this hospital. The records of 17 patients with Lung cancer between May and August 2008. As the result of the experiment, Max SUV value increased by from 4.08% minimum to 43.10% maximum, and the average Max SUV value of lung nodule increased from 6.07 to 7.00(12.16%). In the case of respiration compensation PET/CT, the distortion of the image improved. As there was no significance in the comparison of SCC and Adenocarcinom respectively, though there was a statistically significant level( $P<0.05$ ) before and after respiration compensation in SCC-Adenocarcinoma, there was an effect in respiration compensation regardless of Cell types. As the result of the experiment, it was found out that the distortion of standard intake coefficient value and the image was compensated Therefore, the diagnosis of lung cancer and follow up will be able to help.

**Key Words** : Respiration compensation, PET/CT, Lung nodule

### 1. 서론

폐암은 서구 뿐 아니라 국내에서도 발생률이나 사망률이 다른 암보다 높은 암 중의 하나이다. 흡연과 인구의 고령화, 환경적 요인에 의해 폐암이 증가하고 있으며

2008년에 발표된 한국중양암등록본부 자료에 의하면 폐암은 남녀를 합쳐서 전체 암 발생의 12.1%로 2위를 차지하였다[1]. 폐암은 보통 기관지 점막에서 발생을 한다. 폐암은 구성세포에 따라 크게 소세포 폐암(Small Cell Lung Cancer, SCLC)과 비소세포 폐암(Non Small Cell Lung

\*교신저자 : 배석환(shbae@konyang.co.kr)

접수일 11년 03월 29일

수정일 11년 04월 08일

게재확정일 11년 05월 12일

Cancer, NSCLC)으로 나뉘게 된다. 이중 비소세포 폐암(NSCLC)은 전체 폐암의 75%를 차지하고 있다. 비소세포 폐암(NSCLC)은 근치적 절제술이 유일한 치료 방법이므로 예후에 가장 중요한 것은 TNM병기 이고 병기가 낮을수록 완치의 기회가 많아지기 때문에 수술 전 여러 가지 검사를 시행하게 된다. 이런 병기결정을 위해서는 컴퓨터 단층촬영(Computed Tomography, CT), 자기공명영상진단(Magnetic Resonance Imaging, MRI), 기관지내시경(Bronchoscopy)등 여러 가지 검사를 통하여 진단을 하게 된다. CT촬영은 전이성병변 진단 시 결절의 크기로 판단을 하기 때문에 결절 병기 결정시 진단의 제한이 있고[2] 종격동에 있는 결절의 경우 횡단축의 길이가 1cm가 넘을 경우 비정상이라 규정을 하고 있다[3]. 그리고 CT영상에서 종격동안에 있는 결절의진단은 양성과 악성진단에 사용이 되는 크기의 기준이 다르기 때문에 진단효율의 제한이 있다[4]. 이런 이유로 흉부컴퓨터단층촬영은 비 침습적인 검사임에도 불구하고 침습적 검사인 조직검사 보다 정확도가 낮아 만족도가 떨어져 왔다[5,6]. 결국 컴퓨터단층촬영, 자기공명영상상 등과 같은 영상기법은 비침습적으로 인체 내부의 해부학적 구조를 잘 표현을 하지 않지만 질병이 어느 정도 진행되기 전까지는 진단이 불가능한 단점이 있다. 따라서 영상을 통한 악성여부를 판정하기 위해 많은 연구가 시행되어지고 있으며 특히 비침습적인 검사 방법을 이용한 진단이 시행되고 있다. 그 한 분야가 양전자방출단층촬영(Positron Emission Tomography, PET)으로 암의 진단 및 예후 관찰에 없어서는 안 될 핵의학의 한 분야로 발전한 영상기법이다. 현재 PET에 이용하고자 양전자방출핵종에 표지 시켜본 물질은 500여 종류가 넘는다[7]. 18F-FDG섭취는 포도당 대사를 반영하기 때문에 표준섭취계수(Standardized Uptake Value, SUV)를 통하여 종양의 악성도를 반정량적으로 표시하여 준다.

$$SUV = \frac{\text{병소 } 1g \text{ 당 집적된 방사능량}}{\text{주입한 총 방사능량} / \text{환자체중}(g)}$$

이와 같이 악성종양의 대부분이 성장에 필요한 에너지 원으로 포도당을 사용하여 증식을 하기 때문에 포도당 유사체인 <sup>18</sup>F-FDG를 사용함으로써 반정량적으로 종양의 악성도를 판정할 수 있고 암의 진단과 병기설정, 치료 후의 반응평가 및 재발판정에 이용이 되고 있다. 그러나 이런 장점에도 불구하고 PET은 인체의 해부학적 구조에 대한 정보를 그다지 주지 못하는 단점이 있다. 이런 단점을 보완하기 위해 해상도가 높은 컴퓨터단층촬영을 부착한 양전자방출 전산화 단층촬영(Positron Emission Tomography/Computed Tomography, PET/CT)가 개발이

되어 인체의 생화학적 반응영상과 해부학적 영상을 동시에 획득하는 것이 가능해 졌다. PET/CT에서 폐 결절의 악성여부를 판정하는 기준은 육안으로 보아 종격동보다 방사능의 섭취가 더 많거나 평균 표준섭취계수(Mean SUV)가 2.5 g/ml 이상 또는 최대표준섭취계수(Max SUV)가 3.5 g/ml 이상인 경우를 기준으로 삼고 있다[8]. 연구에 의하면 단일 폐결절의 예민도와 특이도는 92%와 90%이다. 직경이 1cm 이상의 폐결절에서는 예민도와 특이도는 91.2%이다. 그러나 PET/CT의 공간해상도는 4 mm ~ 6 mm 정도 이므로 폐결절이 공간해상력보다 작은 경우 PET/CT상에 병소가 없는 것으로 표현이 될 수 있다. 그리고 폐에 존재하고 있는 결절의 경우 호흡에 의하여 위치의 변동이 있을 수 있고 특히 폐의 하부에 위치한 결절의 경우 횡격막의 상하 운동에 의하여 그 위치와 왜곡이 커져 PET/CT검사 상 그 모양과 섭취정도가 달라지는 경우가 발생한다. 다시 말하면 호흡운동에 의한 SUV값의 감소와 부피의 증가와 같은 문제가 발생할 수 있다. PET과 CT영상에서 움직임에 의한 오차를 줄이기 위해 여러 가지 호흡보정방법이 소개되고 있다. 이런 움직임을 보정하기 위해 소프트웨어만을 이용하여 영상을 보정하거나 움직임 검출시스템과 같은 하드웨어를 이용하여 보정하는 방법이 사용이 되고 있다. 여러 방법 중 호흡 게이트 방법은 호흡의 정도를 위상으로 표현을 하고 특정 호흡 위상에서만 CT와 PET을 촬영하여 호흡에 의한 병소의 움직임을 최소화 하여 움직임에 의해서 발생할 수 있는 여러 문제점을 해결할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 본원에서 보유하고 있는 호흡보정 장치인 호흡보정 Pulmonary Toolkit을 이용한 폐결절 부위를 영상화함으로써 보정을 하지 않은 영상과 비교하여 SUV값의 변화와 결절부위의 부피변화와 영상의 왜곡을 어느 정도 교정할 수 있는 지 분석하여 호흡보정장치의 유용성에 대하여 확인하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 대상

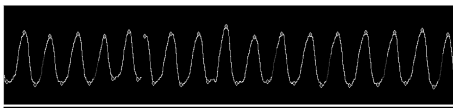
2008년 5월에서 7월까지 본원에서 Lung cancer로 진단받은 환자 17명을 대상으로 하였다. 이중에서 PET/CT 영상에서 양성으로 나타난 환자 1명, 호흡조절이 실패한 환자 6명, 폐결절이 너무 작아 해상도의 한계로 인해 영상에서 섭취가 확인되지 않은 환자 2명을 제외하고 18F-FDG의 섭취를 보여 폐결절이 확인된 환자 8명을 대상으로 하였다.

## 2.2 촬영방법

PET/CT기기로는 Philips사(USA)에서 제작한 GEMINI TF 16(CT slice 16, Gemini TF system)를 사용하였다. 환자들은 PET/CT 검사를 하기 전 8시간이상 금식을 실시하였다. 18F-FDG를 0.14 mCi/Kg의 조건으로 환자에게 투여한 후 안정실에서 60분간 안정상태를 취하게 하였다. 이후 PET은 1bed당 1분의 조건으로 CT는 120 KVP, 80 mA, Thickness 5 mm, Increment 5 mm의 조건으로 촬영을 하였다. 전신 촬영 이후 폐결절이 있는 부위를 중심으로 호흡보정 PET/CT를 10분간에 걸쳐 촬영을 실시하였다. 호흡보정 촬영 시 사용한 장치로는 Pulmonary Toolkit을 사용하였다. 보정 방법은 그림 1과 같이 환자이복부에 호흡을 보정할 수 있는 호흡보정 tube를 부착하여 호흡에 따라서 tube가 수축과 이완을 하게 된다. 이때 수축과 이완에 의해서 공기의 압력이 그림 2와 같이 그래프로 표현을 하게 되어 최대 호기 때 CT및 PET촬영을 실시하였다.



[그림 1] 호흡보정 PET/CT촬영



[그림 2] 호흡보정그래프

## 3. 결과

### 3.1 환자 별 폐결절의 조직학적 진단 및 위치

호흡보정을 통한 PET/CT를 촬영한 8명의 조직학적 진단은 Squamous Cell Carcinoma(SCC)가 6명 Anenocarcinoma(AC)가 2명이었다[표 1].

폐결절의 위치는 Paraaortic에 2개소, Paratracheal에 4개소, Subcarinal에 1개소 Hilar에 2개소, RUL에 3개소, LLL에 2개소 RLL과 LLL에 각각 1개소 씩 총 16개소의 폐결절이 위치하고 있었다[표 2].

[표 1] 진단별 병기

| No | Cell Type      | TNM    |
|----|----------------|--------|
| 1  | SCC            | T3N0M0 |
| 2  | SCC            | T2N0M0 |
| 3  | Adenocarcinoma | T1N3Mo |
| 4  | SCC            | T3N3M0 |
| 5  | Adenocarcinoma | T1N1M2 |
| 6  | SCC            | T1N2M3 |
| 7  | SCC            | T3N0M0 |
| 8  | SCC            | T2N3M0 |

[표 2] 폐결절의 위치

|     | 위치                   |                   |      | 합계 |
|-----|----------------------|-------------------|------|----|
|     | 상부                   | 중부                | 하부   |    |
| SCC | Paraaorti-c2<br>RUL2 | Paratracheal1     | LUL1 | 11 |
|     |                      | Subcarinal1       | LLL2 |    |
|     |                      | Rt hilar1         | RLL1 |    |
| AC  | RUL 2                | Paratracheal1     | 4    |    |
|     |                      | Lt- Paratracheal1 |      |    |
|     |                      | Lt hilar1         |      |    |
| 합계  | 5                    | 6                 | 5    | 16 |

[표 3] 호흡보정 전후의 MaxSUV의 변화

| 순번 | 전신 Max SUV | 호흡보정 Max SUV | Max SUV 변화(%) |
|----|------------|--------------|---------------|
| 1  | 22.1       | 28.2         | 27.6          |
| 2  | 5.3        | 6.3          | 18.86         |
| 3  | 5.8        | 8.3          | 43.10         |
|    | 5.7        | 6.7          | 17.54         |
| 4  | 4.9        | 5.1          | 4.08          |
|    | 5.1        | 5.9          | 15.68         |
|    | 6.9        | 8.2          | 18.84         |
|    | 2.9        | 3.7          | 27.58         |
| 5  | 3.5        | 4.1          | 17.14         |
|    | 2.5        | 3.1          | 24            |
| 6  | 4.7        | 4.2          | -11.90        |
|    | 3.5        | 4.1          | 17.14         |
| 7  | 10.6       | 14.1         | 33.01         |
|    | 9.8        | 8.4          | -16.66        |
| 8  | 4.6        | 4.6          | 0             |
|    | 5.3        | 4.1          | -29.26        |
| 평균 | 6.07       | 7.00         | 12.16         |

### 3.2 호흡보정 후 SUV변화

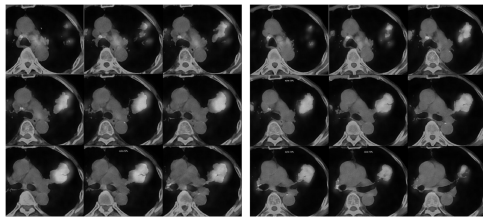
전신촬영 PET/CT와 호흡보정 PET/CT에서 측정이 된 폐결절의 Max SUV는 표 3에 나타내었다. 호흡 보정 시의 Max SUV값은 전신촬영 PET/CT에 비하여 최소 4.08%에서 최대 43.1%까지 증가 되었다. 폐결절의 평균

[표 4] 호흡보정 전후 SUV값 비교

| 구분                 | 평균       | 표준편차    | 표준오평균<br>의차 | 차이의 95% 신뢰구간 |         | t      | p    |
|--------------------|----------|---------|-------------|--------------|---------|--------|------|
|                    |          |         |             | 하한           | 상한      |        |      |
| SCC-Adenocarcinoma | - .99375 | 1.81933 | .45483      | -1.96320     | -.02430 | -2.185 | .045 |
| SCC                | -.96667  | 2.05795 | .59408      | -2.27422     | .34089  | -1.627 | .132 |
| Adenocarcinoma     | -1.07500 | 1.00457 | .50229      | -2.67350     | .52350  | -2.140 | .122 |

Pared T-test 검정에 의함

Max SUV값은 6.9에서 8.5로 12.16% 증가하였다. 호흡보정 전.후의 SUV 값의 차이 분석에서는 전체 SCC-Adenocarcinoma에서는 호흡보정 전.후에 통계적으로 유의한 수준(P<0.05)를 보였으며 SCC와 Adenocarcinoma에 대한 각각의 비교에서는 보정 전.후 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다[표 4]. 전신촬영 PET/CT와 호흡보정 PET/CT에서 영상의 왜곡도의 변화에 대한 결과 그림 3과 같이 호흡보정을 실시한 PET/CT의 경우 종양위치의 일치가 개선됨을 알 수 있었다.



A B  
[그림 3] 호흡보정 전(A)후(B) 영상비교

#### 4. 고찰

본 연구에서 환자의 호흡을 보정하기 위해 호흡보정장치로 Pulmonary Toolkit을 사용하였다. 환자가 호흡할 경우 복부의 움직임에 따라 팽창 및 수축을 하는 튜브를 복부에 둘러 호흡에 따라 공기의 유입 및 배출의 정도를 호흡주기 그래프로 표현하도록 하였다. 폐결절의 하엽이나 횡격막 근처에 위치할 경우 호흡에 의한 결절부위의 흐려짐 현상이 다른 부분보다 심하게 나타날 수 있다. 또한 정상 폐에서 폐상부 보다 폐하부에 <sup>18</sup>F-FDG섭취가 더 많이 되는 경향이 있으므로 결절이 폐하엽에 위치할 경우 병변의 발견이 더욱 어려워지고 정확도가 떨어진다[9]. Boucher등은 팬텀 연구를 통하여 호흡 운동에 의한 <sup>18</sup>F-FDG의 SUV가 21%~45%범위에서 과소평가 되는 결

과를 보고하였다[10]. 연구 결과 호흡보정을 시행하였을 경우 보정하지 않는 경우와 비교할 때 Max SUV값은 최소 4.08%에서 최대 43.10%까지의 증가율을 보였고 폐결절의 평균 Max SUV값은 6.07에서 7.00로 12.16%로 증가가 되었다. 그러나 2명의 환자에 위치하는 3개소의 lung node에서는 Max SUV값이 감소되었다. 이는 환자의 호흡이 불안정하여 나타나는 일종의 artifact라 사료가 된다. 또한 호흡보정 전.후의 SUV값의 차이를 분석한 결과 SCC-Adenocarcinoma에서는 호흡보정 전.후에 통계적으로 유의한 수준(P<0.05)을 보였으나 SCC와 Adenocarcinoma에 대한 각각의 비교에서는 유의성을 보이지 않아 Cell type과 관계없이 호흡보정에 효과가 있었다.

#### 5. 결론

호흡보정 전.후의 PET/CT영상을 비교할 때 호흡보정 후의 영상에서 폐암 병소부위의 왜곡도가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 촬영을 하는 CT의 경우 촬영시간이 불과 수초 밖에 되지 않아 환자가 호흡을 참고 촬영이 가능하다. 그러므로 움직임이 없는 상태에서 영상을 얻는 것이 가능하기 때문에 움직임에 의한 영상의 왜곡을 최소화 할 수 있다. 그러나 PET/CT의 경우 촬영 한 부위당 최소 1분 이상의 시간이 소요하므로 호흡을 하면서 촬영을 할 수 밖에 없다. 따라서 호흡에 의한 병변의 움직임 때문에 인공산물의 발생과 Max SUV값의 변화, 그리고 병변의 크기 등의 변화로 인하여 정확한 진단이 어려울 수 있다. 따라서 이러한 움직임에 의한 영상의 왜곡을 호흡 보정을 통하여 검사를 실시함으로써 영상의 왜곡과 Max SUV값을 정확히 얻을 수 있을 것이다. 그러나 이런 호흡보정을 통한 PET/CT촬영은 임상적용에 다소 어려운 점이 있다. 호흡보정 PET/CT를 촬영하기 위해 최소 10분 이상 추가 검사를 실시해야 하기 때문에 고령의 환자나 호흡이 불규칙한 환자에게는 검사 자체가 불가능 할 수 있다. 본원에서 보유하고 있는 호흡보정장치인 Pulmonary Toolkit을 사용할 경우 연구결과에서 보

듯이 호흡에 의한 표준섭취계수값과 영상에서의 왜곡이 보정이 되었다. 따라서 폐암환자의 PET/CT 검사 시 Pulmonary Toolkit을 사용 하여 호흡보정 PET/CT를 촬영할 경우 정확한 폐암진단 및 추적관찰에 도움을 줄 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- [1] 중앙암등록본부, 국가 암 등록 사업 연례보고, 2008.
- [2] Steinert HC, Hauser M, Allemann F, Engel H, Berthold T, von Schulthess GK and Weder W: Non-small cell lung cancer: nodal staging With FDG PET versus CT with correlative lymph node mapping and sampling. Radiology, 202, pp. 441-446, 1997.
- [3] TMcloud TC, Bourgouin PM and Greedberg RW et al : Bronchogenic carcinoma: analysis of staging in the mediastinum with CT by correlative lymph node mapping and sampling, Radiology, 182, pp. 319-323, 1992.
- [4] Dirk-Hellwing, Thomas P, Graeter et al.18F-FDG PET for Mediastinal Staging of Lung Cancer : Which SUV Threshold makes sense?, J Nucl Med, 48, pp. 1761-1766, 2007.
- [5] Webb WR, Zerhouni EA and Gastronis C: CT and MR imaging in staging non-small cell bronchogenic carcinoma: report of the Radiologic Diagnostic Oncology Group, Radiology, 178, pp.705-713, 1991.
- [6] Vansteenkiste JF, Stroobants SG, De Leyn PR et al : Lymph nod staging in non-small-celllung cancer with FDG PET scan: A prospective study on 690 lymph node stations from 68 patients, JC, pp. 2142-214, 1998.
- [7] 고창순, “핵의학 2판”, pp. 167-168, 1997.
- [8] Lowe VJ, Duhaylongsod FG, Patz EF et al. Pulmonary abnormalities and PET data analysis: a retrospective study. Radiology, 202, pp. 435-439, 1997.
- [9] Nehmeh SA, Erdi YE, Ling CC, Rosenzweig KE, Schoder H, Larson SM, et al. Effect of respiratory gating on quantifying PET images of lung cancer, J Nucl Med, 43, pp. 876-881, 2002.
- [10] Boucher L, Rodrigue S, Lecomte R, Benard F. Respiratory gating for 3dimensional PET of thorax: Feasibility and initial results, J Nucl Med, 45, pp. 214-219, 2004.

### 김 기 진(Ki-Jin Kim)

[정회원]

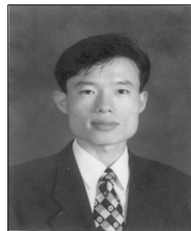


- 2009년 2월 : 전북대학교 방사선 과학기술학과 (이학석사)
- 2011년 3월 : 전북대학교 방사선 과학기술학과(박사과정)
- 2000년 2월 ~ 현재 : 건양대학교병원 핵의학과

<관심분야>  
방사선물리

### 배 석 환(Seok-Hwan Bae)

[정회원]



- 2000년 9월 ~ 2008년 8월 : 건양대학교병원 영상의학팀장
- 2004년 3월 ~ 2006년 2월 : 건양대학교 보건복지대학원 보건학석사
- 2007년 2월 ~ 2009년 8월 : 건양대학교 일반대학원 보건학박사
- 2008년 8월 ~ 현재 : 건양대학교병원 자문교수
- 2009년 3월 ~ 현재 : 건양대학교방사선학과 교수

<관심분야>  
보건학, 방사선과학, 보건의료장비

### 김 가 중(Gha-Jung Kim)

[정회원]



- 2006년 8월 : 고려대학교 의학물리학과 (이학석사)
- 2010년 8월 : 전북대학교 방사선 과학기술학과(이학박사)
- 2000년 2월 ~ 2010 2월 : 건양대학교병원 방사선종양학과
- 2010년 3월 ~ 현재 : 극동대학교 방사선학과 전임교수

<관심분야>  
방사선 물리