

Original Article

# PET-CT 검사 시 호흡 동조 시스템들의 유용성 평가

서울대학교병원 핵의학과

성용준 · 윤석환 · 현준호 · 이홍재 · 김진외

## An Assessment of the Utility of Respiratory Synchronized Systems in the PET/CT Examination

Yong-Jun Seong, Seok-Hwan Yoon, Jun-Ho Hyun, Hong-jae Lee and Jin-Eui Kim

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

**Purpose** During PET/CT examinations, the movements of internal organs caused by respiration are captured in images during multiple breathing cycles, resulting in the increases in tumor size and effects on SUV. Respiratory synchronized systems were used to evaluate tumor sizes and SUV changes.

**Materials and Methods** Biograph mCT 64 was used for the equipment, and RPM and Anzai systems were used for the respiratory synchronized systems. We used point source and micro-phantom for an experimentation. We were performed on 12 patients who had solid tumors discovered at the base of the lung or at the top of the liver from August through September 2016. The PET images of the exhalation-to-breathing state and the CT images of the post-exhalation suspension state were gained to evaluate changes in radioactivity concentration (KBq/mL), SUVmax, cylinder diameter (mm), and tumor diameter (cm) under the conventional Static, RPM, and Anzai methods.

**Results** The result of measuring the radioactivity concentration of the point source was RPM 94% and Anzai 91% against Static, respectively. In the two cylinders of different radioactivity in the micro-phantom, the SUVmax increased to RPM 61% and 78%, and Anzai 58% and 77% against Static, whereas the cylinder diameters decreased by RPM -26% and -28%, and Anzai -28% and -26%, each respectively. Among the patients, the SUVmax increased from a minimum of RPM 8.2% to a maximum of 94.4% against Static, and from a minimum of Anzai 7.6% to a maximum of 68.3%, respectively. As for the tumor diameters, a minimum of RPM -7.6% to a maximum of -28.9% were achieved, while the Anzai fell by a minimum of -9.6% to a maximum of -27.7%, respectively. There was no significant difference discovered in the phantom study between the RPM and Anzai, yet there was a meaningful difference in the patients' tumors ( $P < 0.05$ ).

**Conclusion** The respiratory synchronized systems of RPM and Anzai yielded no significant difference in the phantom study in which the respiration was executed at regular intervals. However, it was discovered that the patients had a meaningful difference for the irregular respiratory cycle and inter-system differences. Still, the respiratory synchronized systems would be useful for the accurate diagnosis and SUV measurement as the tumor decreased in size against the existing Static and the SUV increased.

**Key Words** Real-time Position Management (RPM), Anzai, respiratory gating system

· Received: April 28, 2017 Accepted: May 10, 2017  
· Corresponding author : **Yong-Jun Seong**  
· Address for correspondence : Department of nuclear medicine,  
Seoul National University Hospital, 28 Yeongdong, Jongno-gu,  
Seoul, 110-744, Korea  
Tel.: +82-2-2072-3937, Fax.: +82-2-747-0208  
E-mail: zebara98@naver.com

## 서 론

PET/CT 검사는 기능적 영상과 질환의 형태적 영상을 동시에 획득하여, 몸 속 조직들의 기능과 생화학적인 대사 상태를 검사하고 PET 영상을 이용해 측정된 표준섭취계수(Standardized Uptake Value, SUV)는 질환의 상태를 평가하는데 유용하게 사용된다.<sup>1)</sup>

하지만 PET/CT 검사 시 얇고 자유로운 호흡상태에서 촬영하게 되므로 PET 영상 획득 시 움직임에 의한 병변의 번짐으로 병변의 크기는 실제보다 증가하고 표준섭취계수는 감소하는 결과를 초래하며<sup>2)</sup> 서로 다른 위치에서 획득한 PET과 CT 영상으로 인해 공간적으로 불일치한 영상을 획득할 수 있다. 이 현상은 횡격막 주위의 병변, 특히 폐 기저부 또는 간 상부의 병변에서 두드러지게 나타나며 이를 해결하기 위해 호흡에 따른 움직임을 측정하는 호흡 동조 시스템들이 개발되어 있다.<sup>3-4)</sup>

현재 본원에 설치되어 있는 호흡에 따른 움직임 검출 시스템에는 카메라에 장착된 LED (Light Emitting Diode)광원에서 방출된 적외선을 환자의 복부에 위치시킨 표식자의 두 점에서 반사시키고 이때 반사되는 적외선을 전자 결합 소자 카메라를 이용하여 표식자의 위치를 실시간으로 측정함으로써 환자의 호흡 주기를 측정하는 RPM (Real-time Position Management, Siemens Medical System, USA) 시스템과 압력 감지 센서를 환자의 복부에 위치시켜 호흡에 따른 움직임을 측정하는 Anzai (Anzai Medical System, Japan) 시스템을 사용하고 있다.<sup>5)</sup>

본 논문에서는 RPM, Anzai 호흡 동조 시스템들을 이용한 Gating PET 영상이 기존 Static방식의 PET 영상과 비교해 종양의 크기와 표준섭취계수 변화 유무를 평가하고자 한다.

## 실험재료 및 방법

### 1. 실험 장비 및 대상

실험장비는 PET/CT Biograph mCT64 (Siemens Medical System, Germany)이며(Fig. 1) 호흡 동조 시스템은 RPM과 Anzai 시스템을 사용하였다(Fig. 2, 3). 실험을 위해 점선원과 Micro-phantom을 사용하였고(Fig. 4) 환자는 2016년 8월에서 9월까지 폐 기저부 또는 간 상부에 고형종양이 확인된 12명을 대상으로 하였다.

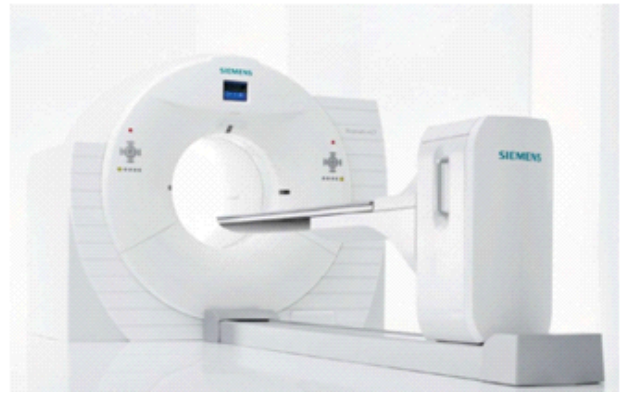


Fig. 1. Siemens Biograph mCT64 PET/CT Scanner was used for acquisition.

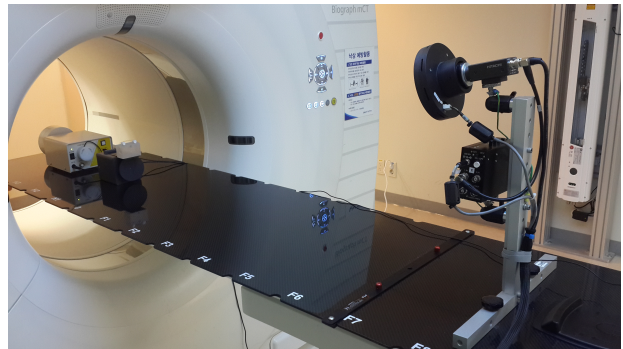


Fig. 2. RPM Respiratory Gating System was used for respiration-gated image.



Fig. 3. Anzai Respiratory Gating System was used for respiration-gated image.



Fig. 4. Micro-PET phantom was used for evaluating cylinder diameter.

## 2. 실험 방법 및 분석

Phantom 실험은 상하 1.5 cm으로 움직임을 주는 장치 위에 점선원을 고정시키고 RPM, Anzia system의 분당 회전수를 15 rpm으로 맞춰 Gating PET을 RPM, Anzai에서 각각 5분 씩 촬영하여 호기 phase 50% 영역의 신호들로 영상을 재구성하였다(Fig. 5). 기존 Static PET은 3분을 촬영하였고 점선원이 하단에 위치했을 때 장치를 멈춘 후 CT 영상을 촬영하였다. 또한 상하 1.5 cm으로 움직임을 주는 장치 위에 Micro-PET phantom을 고정시키고 분당 회전수를 10 rpm으로 맞춰 점선원 영상 획득 방식과 동일하게 촬영하였다. Phantom 실험은 지름이 20 mm 인 구(sphere)는 열소(hot lesion)로 설정하였고 각각  $^{18}\text{F}$  1.85, 3.7 MBq로 채웠다.  $^{18}\text{F}$ -FDG (5.18 MBq/kg)를 환자에게 정맥 주사 후 안정실에서 60분 안정을 취한 후 Gating PET 영상을 획득하였다(Fig. 6). CT 영상 획득 조건은 관전압 120 kVp, 관전류 30 mAs, 슬라이스 두께 3.0 mm, Pitch 1.2 mm로 적용하였고 PET 데이터는 반복횟수(iterations) 2회, 부분집합수(subsets) 21회, TrueX+TOF로 적용하여 재구성하였다. 획득한 영상은 Syngo.via version VB10A로 비교 분석하였고 SPSS version 23을 이용하여 Wilcoxon 검정을 시행하였다.

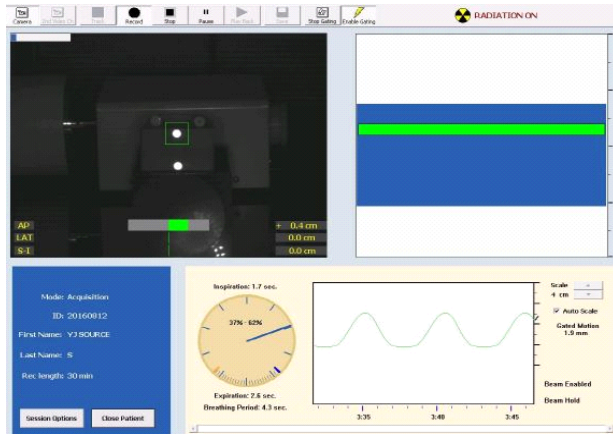


Fig. 5. RPM Respiratory Gating System was used for expiration phase 50% signal.

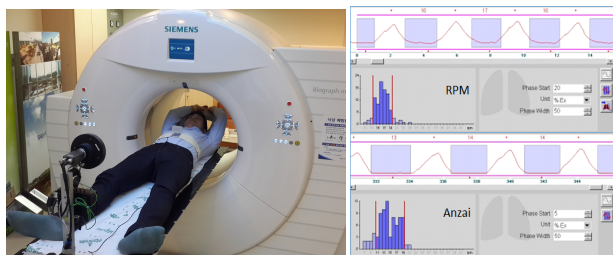


Fig. 6. Respiratory Gating PET was used for expiration phase 50% signal.

호흡은 날숨상태에서의 PET영상과 날숨 후 멈춤 상태의 CT 영상을 얻어 기존 Static, RPM, Anzai방식에서의 방사능 농도(kBq/mL), SUVmax, cylinder diameter(mm), tumor diameter(cm) 변화 유무를 평가하였다.

## 결 과

### 1. 점선원

점선원에 각각 0.74, 1.85, 3.7 MBq의 방사능 농도를 주입 후 측정된 결과 Static 0.24, 0.58, 1.06, RPM 0.38, 0.99, 2.06, Anzai 0.37, 0.96, 2.03 MBq/mL로 기존 Static 대비 RPM 60, 71, 94%, Anzai 56, 67, 91% 상승하였다(Fig. 7).

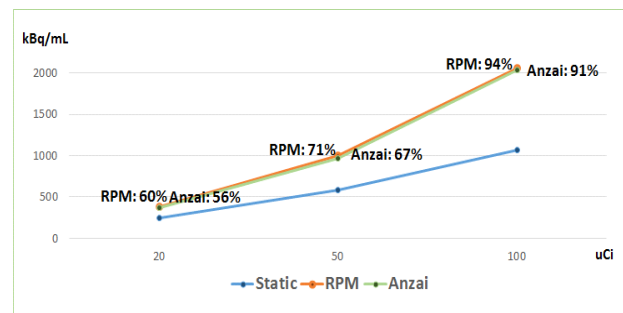


Fig. 7. RPM and Anzai of Radioactivity concentration value are increased against Static.

### 2. Micro-PET Phantom

Micro-PET Phantom 내부 20 mm의 구 2개에 각각  $^{18}\text{F}$  1.85, 3.7 MBq의 방사능량을 주입 후 SUVmax를 측정된 결과 Static 15.39, 19.56, RPM 24.71, 34.86, Anzai 24.18, 34.55로 기존 Static 대비 RPM 61, 78%, Anzai 58, 77% 상승하였다(Fig. 8).

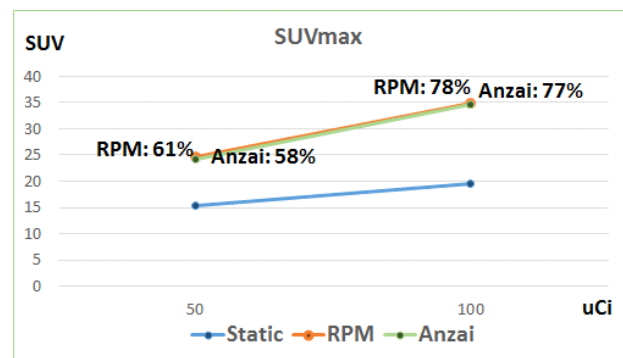


Fig. 8. RPM and Anzai of SUVmax value are increased against Static.

또한 Cylinder diameter를 측정한 결과 Static 33.6, 32.8, RPM 24.7, 23.5, Anzai 24.2, 24.1로 기존 Static 대비 RPM 26, 28%, Anzai 28, 26% 감소하였다(Fig. 9). Static 영상에서 움직임에 의한 영역만큼 분산된 영상을 볼 수 있고 RPM, Anzai 영상에서 cylinder 크기가 작고 대조도가 향상된 영상을 볼 수 있었다. 호흡 동조 시스템 RPM, Anzai에서는 육안 결과, SUVmax, cylinder diameter 모두에서 큰 차이는 보이지 않았다.

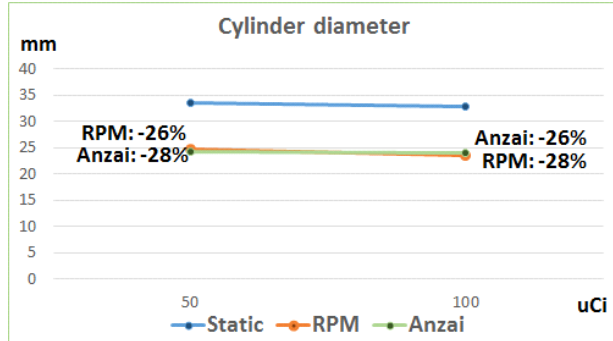


Fig. 9. RPM and Anzai of Cylinder diameter value are decreased against Static.

### 3. Patient study

환자의 경우 SUVmax는 Static 대비 RPM은 최소 8.2%에서 최대 94.4%, Anzai는 최소 7.6%에서 최대 68.3% 상승하였고 (Table 1) 호흡 동조 시스템 RPM과 Anzai에서는 RPM에서 모든 환자의 SUVmax 수치가 좀 더 높게 나타났으며 Wilcoxon 검정 결과 유의미한 차이가 있었다( $P < 0.05$ ). 종양 직경은 RPM은 최소 -7.6%에서 최대 -28.9%, Anzai는 최소 -9.6%에서 최대 -27.7% 감소하였고 (Table 2) RPM과 Anzai에서는 일정하지 않게 수치의 차이는 약간 있었으나 통계적으로 유의미한 차이는 없었다( $P > 0.05$ ).

Table 1. SUVmax of patient study

| Patient | Static | RPM   | % Difference | Anzai | % Difference |
|---------|--------|-------|--------------|-------|--------------|
| 1       | 17.94  | 19.41 | 8.2          | 19.32 | 7.7          |
| 2       | 16.29  | 18.06 | 10.9         | 17.86 | 9.6          |
| 3       | 9.71   | 10.55 | 8.7          | 10.45 | 7.6          |
| 4       | 1.77   | 2.02  | 14.1         | 1.98  | 11.9         |
| 5       | 3.64   | 4.16  | 14.3         | 4.02  | 10.4         |
| 6       | 3.17   | 4.40  | 38.8         | 3.88  | 22.4         |
| 7       | 5.55   | 10.79 | 94.4         | 9.34  | 68.3         |
| 8       | 4.74   | 7.36  | 55.3         | 7.11  | 50.0         |
| 9       | 3.83   | 5.98  | 56.1         | 5.18  | 35.2         |
| 10      | 15.84  | 19.24 | 21.5         | 17.52 | 10.6         |
| 11      | 2.70   | 4.98  | 84.4         | 4.19  | 55.2         |
| 12      | 3.97   | 5.03  | 26.7         | 4.67  | 17.6         |

Table 2. Tumor diameter(cm) of patient study

| Patient | Static | RPM  | % Difference | Anzai | % Difference |
|---------|--------|------|--------------|-------|--------------|
| 1       | 2.75   | 2.54 | -7.6         | 2.48  | -9.8         |
| 2       | 4.54   | 3.69 | -18.7        | 3.75  | -17.4        |
| 3       | 2.78   | 2.35 | -15.5        | 2.43  | -12.6        |
| 4       | 1.55   | 1.33 | -14.2        | 1.31  | -15.5        |
| 5       | 2.78   | 2.36 | -15.1        | 2.33  | -16.2        |
| 6       | 1.72   | 1.33 | -22.7        | 1.41  | -18.0        |
| 7       | 1.66   | 1.18 | -28.9        | 1.20  | -27.7        |
| 8       | 2.05   | 1.82 | -11.2        | 1.75  | -14.6        |
| 9       | 1.72   | 1.36 | -20.9        | 1.37  | -20.3        |
| 10      | 4.56   | 4.02 | -11.8        | 3.80  | -16.7        |
| 11      | 1.56   | 1.34 | -14.1        | 1.41  | -9.6         |
| 12      | 1.61   | 1.43 | -11.2        | 1.40  | -13.0        |

환자 영상의 경우 횡격막과 인접한 폐 기저부 또는 간 상부 영역에서 Static 영상은 호흡에 따른 움직임으로 blurring이 발생하여 대조도가 저하된 종양의 크기가 과대평가된 영상을 볼 수 있고 반면 RPM과 Anzai에서는 종양의 크기는 상대적으로 작고 선명한 영상을 얻을 수 있었다(Fig. 10, 11, 12).

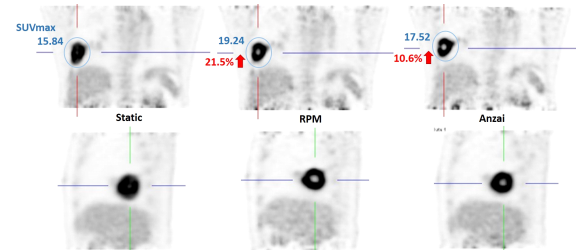


Fig. 10. PET images are acquired using respiratory gating system in lung cancer patient.

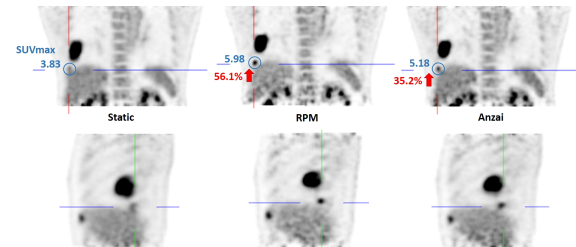


Fig. 11. PET images are acquired using respiratory gating system in lung cancer patient with right rib bone metastasis.

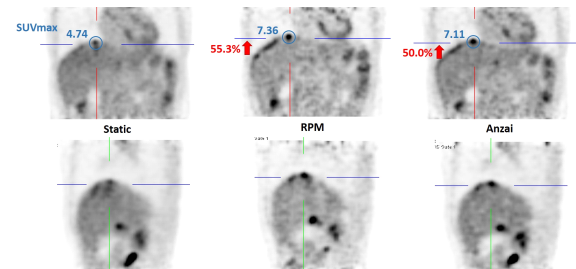


Fig. 12. PET images are acquired using respiratory gating system in liver cancer patient.

## 고 찰

PET/CT 영상에서 호흡에 따른 움직임을 보정하기 위한 Gating PET은 기존 Static PET 영상에 비해 많은 획득시간이 필요하고 이로 인해 호흡 주기가 불규칙한 환자나 소아의 경우 적용하기 어렵고 또한 Gating 시스템을 설치하는 과정이 다소 복잡하여 준비나 처리 과정에서 문제점이 발생할 수 있다. 하지만 4D-CT방식으로 데이터를 획득하지 않고 호기 호흡상태를 유지하여 PET과 CT 영상 간 움직임을 최대한 줄일 수 있어 CT 검사 시 방사능 양의 증가 없이 영상을 획득할 수 있었다. 앞으로 다양한 호흡 동조 시스템들의 개발과 발전으로 폐 기저부의 소결절이나 간 상부의 병변들을 정확하게 검출하여 진단 성적을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

## 결 론

본 논문의 실험에서 호흡 동조 시스템을 이용한 Gating PET 영상은 움직임을 보정하지 않은 PET 영상보다 움직임을 최소화된 영상을 제공하여 종양의 크기는 감소하고 SUV는 증가함을 확인할 수 있었다. 호흡 동조 시스템 RPM과 Anzai에서는 종양의 크기는 유의미한 차이가 없었으나 SUV는 호흡이 일정한 주기로 이루어지는 Phantom study에서 별 차이가 없었지만 환자의 경우 일정하지 않은 호흡주기와 시스템간의 차이 때문에 유의미한 차이가 발생하였다. 임상에 최대한 적용하기 위해 Gating PET 획득시간을 줄이고 CT 피폭선량을 낮춰 (DLP 32 mGy, 약 0.5 mSv) 폐 기저부 또는 간 상부에 종양이 있을 경우 좀 더 정확한 진단과 SUV 측정에 유용할 것이라 사료된다.

## 요 약

PET/CT 검사 시 호흡으로 인한 내부장기의 움직임은 여러 호흡주기 동안 영상화되어 종양크기는 실제보다 증가하고 SUV에도 영향을 미치게 된다. 호흡 동조 시스템들을 이용하여 종양크기와 SUV 변화 유무를 평가해보고자 한다.

장비는 Biograph mCT 64를 사용하였고 호흡 동조 시스템은 RPM과 Anzai 시스템을 사용하였다. 실험을 위해 Point source와 Micro-phantom을 환자는 2016년 8월에서 9월까지 폐 기저부 또는 간 상부에 고형종양이 확인된 환자 12명을 대상으로 호기-호흡상태에서의 PET영상과 호기 후 멈춤 상태

의 CT영상을 얻어 기존 Static, RPM, Anzai방식에서의 방사능 농도(kBq/mL), SUVmax, Cylinder diameter(mm), Tumor diameter (mm) 변화 유무를 평가하였다.

Point source 방사능 농도 측정 결과 Static 대비 RPM 94%, Anzai 91% 상승하였고 Micro-phantom에서 방사능량을 달리 한 2개의 Cylinder에서 SUVmax값은 Static 대비 RPM 61%, 78%, Anzai 58%, 77%로 각각 상승하였고 Cylinder diameter는 RPM -26%, -28%, Anzai -28%, -26% 감소하였다. 환자의 경우 SUVmax값은 Static 대비 RPM은 최소 8.2%에서 최대 94.4%, Anzai는 최소 7.6%에서 최대 68.3% 상승하였고 Tumor diameter는 RPM은 최소 -7.6%에서 최대 -28.9%, Anzai는 최소 -9.6%에서 최대 -27.7% 감소하였다. 호흡 동조 시스템 RPM과 Anzai에서 phantom study는 별 차이가 없었지만 환자의 종양에서는 유의미한 차이가 있었다( $P<0.05$ ).

호흡 동조 시스템 RPM과 Anzai는 호흡이 일정한 주기로 이루어지는 phantom study에서 별 차이가 없었지만 환자의 경우 일정하지 않은 호흡주기와 시스템간 차이 때문에 유의미한 차이가 발생함을 알 수 있었다. 하지만 호흡 동조 시스템은 기존 Static 대비 종양의 크기는 감소하고 SUV는 증가하여 정확한 진단과 SUV측정에 유용할 것으로 사료된다.

## Reference

1. 고창순. 고창순 핵의학. 제3판. 고려의학. 2008;86.
2. MARKUS HARTEELA. Comparison of end-expiratory respiratory gating methods for PET/CT. *Acta Oncologica*. 2014;53: 1079-1085
3. Sang-Keun Woo. Motion correction in PET/CT Images. Molecular Imaging Research Center, Radiological and Medical Sciences Research Institute, Korea Institute of Radiological and Medical Sciences, Seoul, Korea, 2008;1-5 Apr;Vol. 42, No. 2
4. David Didierlaurent, Sophie Ribes, and Olivier Caselles. A new respiratory gating device to improve 4D PET/CT. *Med. Phys* 2013;1-3
5. Real-time Position Management System. Varian Medical systems, Inc. California, USA. 2007;1-7
6. Respiratory Gating System. Anzai Medical, Co., Ltd, Tokyo, Japan. 2007;1-2