

# 폐암 환자의 정위적 방사선 수술 시 Respiratory Gating System의 유용성에 대한 연구

서울아산병원 방사선종양학과

송흥권, 권경태, 박철수, 양오남, 김민수, 김정만

**목적** : 폐암 환자 중 호흡에 의한 종양의 움직임이 큰 폐 하엽에서 정위적 방사선수술 시 호흡에 의한 종양의 움직임을 감소시키는 방법으로 종양의 움직임이 적은 호흡 주기에서만 방사선을 조사할 수 있는 respiratory gating system을 사용함으로써 그 유용성에 대하여 알아보려고 한다.

**대상 및 방법** : 폐 하엽의 정위적 방사선 수술 환자 2명을 대상으로 하였으며, 환자의 복부에 maker block (sensor)을 부착하고 tracking camera와 Real Time Position Management (RPM)를 이용하여 호흡 주기를 측정하면서 1회 호흡주기에서 10 phases로 4D-CT를 촬영 하였다. 종양의 위치 변화가 급격하지 않은 호흡주기(%)의 phases를 치료 phases로 결정하였고, 치료 phases의 CT image를 Maximum Intensity Projection (MIP) 기법으로 재구성 후 volume contouring을 하였다. Set up의 재현성 및 GTV의 위치 변화를 확인하기 위해 치료 전과 치료 중 2회의 4D-CT 촬영을 하였다.

**결과** : GTV의 움직임이 가장 큰 Y (longitudinal)축에서 A환자는 전체 호흡주기(0~90%)에서 9.4 mm가 치료 호흡 주기 범위(30~60%)에서는 2.6 mm로, B환자는 전체 호흡주기(0~90%)에서 11.7 mm가 치료 호흡주기의 범위(30~70%)에서는 2.3 mm로 감소하였다. 2회의 4D-CT 비교 결과 set up의 X, Y, Z축 오차는 모두 3 mm 이내였다.

**결론** : 호흡에 의한 종양의 움직임이 큰 폐 하엽에서 정위적 방사선수술 시행 시 respiratory gating system의 사용은 종양의 움직임을 5 mm 이내로 감소시킬 수 있어 유용하였다.

**핵심용어** : 정위적 방사선수술, 호흡주기, respiratory gating system

## I. 서 론

정위적 방사선 수술(SRS)은 X, Y, Z의 좌표축을 이용하여 표적부위에 1회에 고 선량을 조사하는 치료법으로 주로 장기의 움직임이 적고 치료부위의 고정이 용이한 뇌나 두경부에 시행되어 왔다<sup>1-3</sup>. 특수한 고정 장치 및 좌표축 사용을 통하여 SRS는 몸 전체로 적용

범위를 확대 시행하게 되었으나 호흡에 의해 종양(GTV)의 움직임이 커지면 PTV 또한 증가하게 되므로 호흡에 의한 종양의 움직임이 적은( $\pm 5$  mm 이하) 폐의 상엽과 중엽에 대하여 시행하여 왔고<sup>4</sup>, 종양의 움직임이  $\pm 5$  mm 이상인 폐의 중엽과 하엽의 경우에는 종양의 움직임을 감소시키는 방법으로 diaphragm controller로 복부에 압박을 가하여 횡격막의 움직임을 줄이거나 active breathing control (ABC)로 호흡을 통제함으로써 호흡에 의한 종양의 움직임을 감소시켜 SRS를 시행하였다<sup>5-6</sup>.

본 연구에서는 폐암 환자의 SRS 시행 시 호흡에 의한 종양의 움직임을 감소시키는 방법으로 respiratory

이 논문은 2005년 2월 5일 접수하여 2005년 9월 6일 채택되었음.

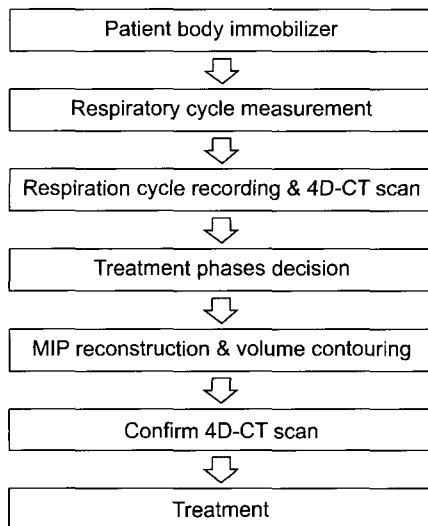
책임저자 : 송흥권, 서울아산병원 방사선종양학과  
Tel: 02)3010-4413, Fax: 02)486-7258  
E-mail: radguy@lycos.co.kr

gating system을 이용함으로써 그 유용성에 대하여 알아보았다<sup>7-9</sup>.

## II. 대상 및 방법

### 1. 대상 및 장비

종양이 폐 하엽에 위치하고 diaphragm controller로도 종양의 움직임이 줄지 않는( $\pm 5$  mm 이상) SRS 환자 2명을 대상으로 하였으며, stereotactic body frame (Elekta, Sweden)과 Light Speed RT CT (GE, USA),



[Fig. 1] Procedure

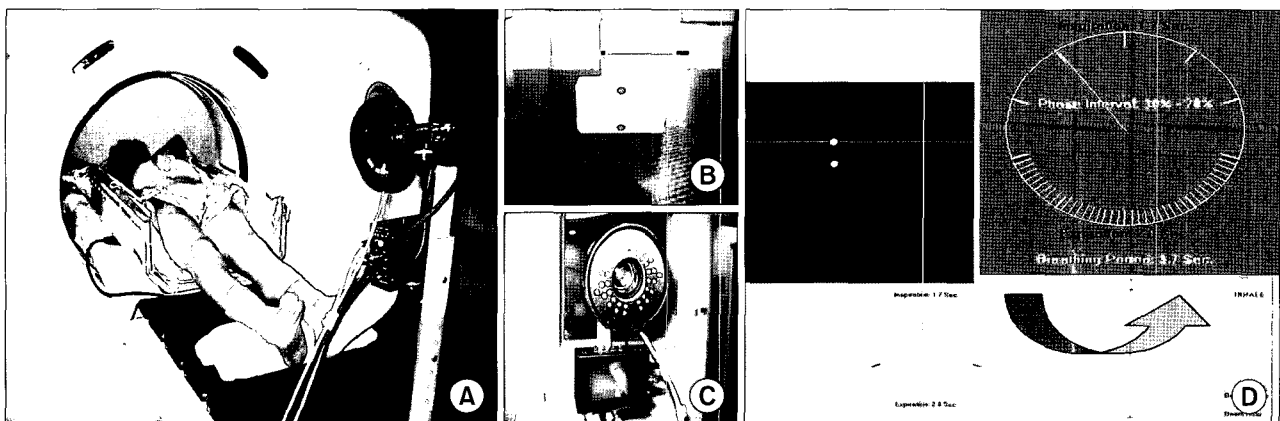
Real Time Position Management (RPM) gating system (V.1.6, Varian, USA), 선형가속기 CL-21EX platinum (Varian, USA)을 사용하였다.

### 2. 방법

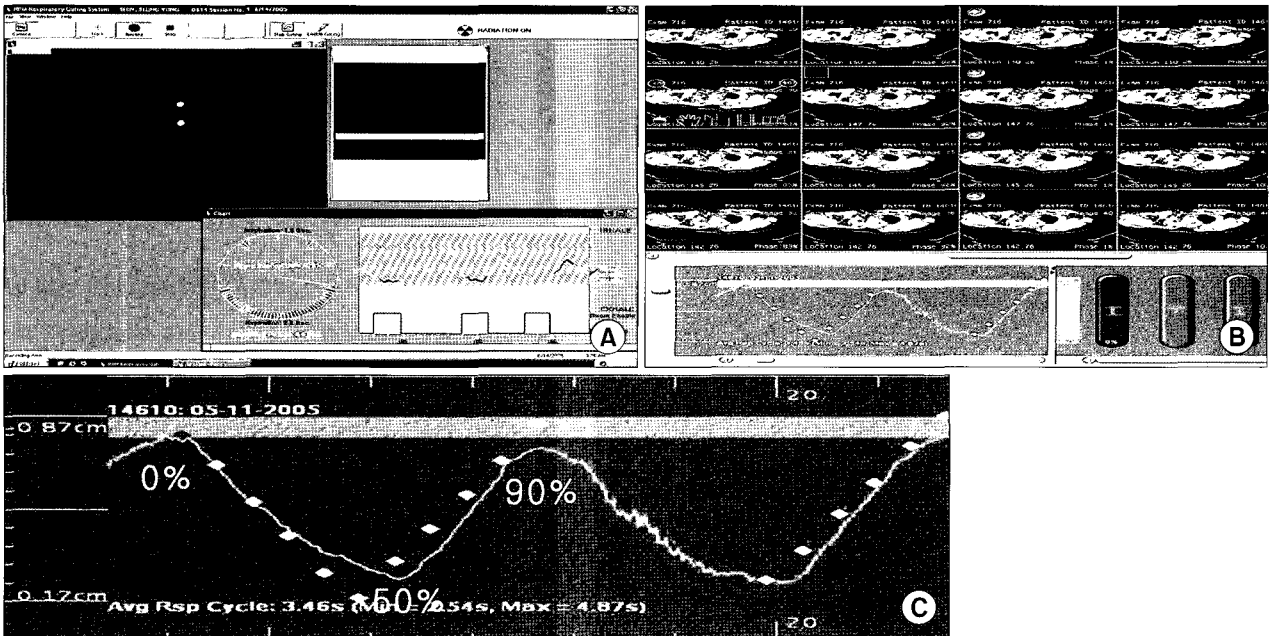
Stereotactic body frame과 vaccum cushion을 이용하여 체부 고정 틀을 제작하여 환자를 set up한 후 호흡주기에 따라 복부의 움직임도 일정하게 상관하여 움직이므로 환자의 복부에 sensor인 maker block을 부착하여 흡기와 호기에 따른 maker block의 움직임을 tracking camera로 감지함으로써 흡기( inspiration)와 호기( expiration) 그리고 1회 호흡주기 시간을 측정하였다 [Fig. 2]. A, B환자 모두 1회 호흡주기 시간은 3.5초였다.

4D CT cine mode를 이용하여 1회 호흡 시 10 phases의 image를 얻기 위해 image 간 cine time은 1회 호흡주기 시간의 1/10초로, A, B환자 모두 1회 호흡주기 시간은 3.5초였기 때문에 image간 cine time은 0.35초, 그리고 호흡 불규칙 시 오차를 줄이기 위해 1~2개의 image를 추가로 얻을 수 있도록 cine duration time은 4.5초로 setting한 후 Real Time Position Management (RPM) gating system을 이용하여 호흡주기를 recording 하면서 4D CT를 촬영하였다 [Fig. 3].

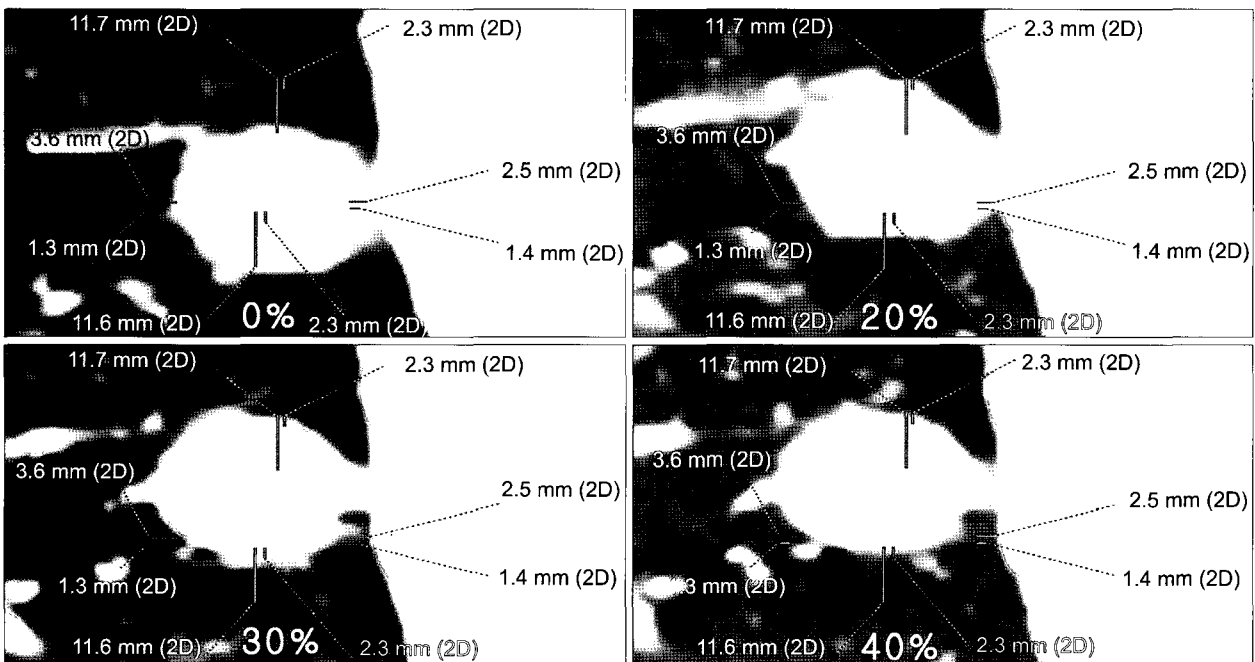
4D CT를 촬영한 후 전체 호흡주기(0~90%)의 각



[Fig. 2] (A) Patient set-up, (B) marker block, (C) tracking camera, (D) respiration cycle measurement



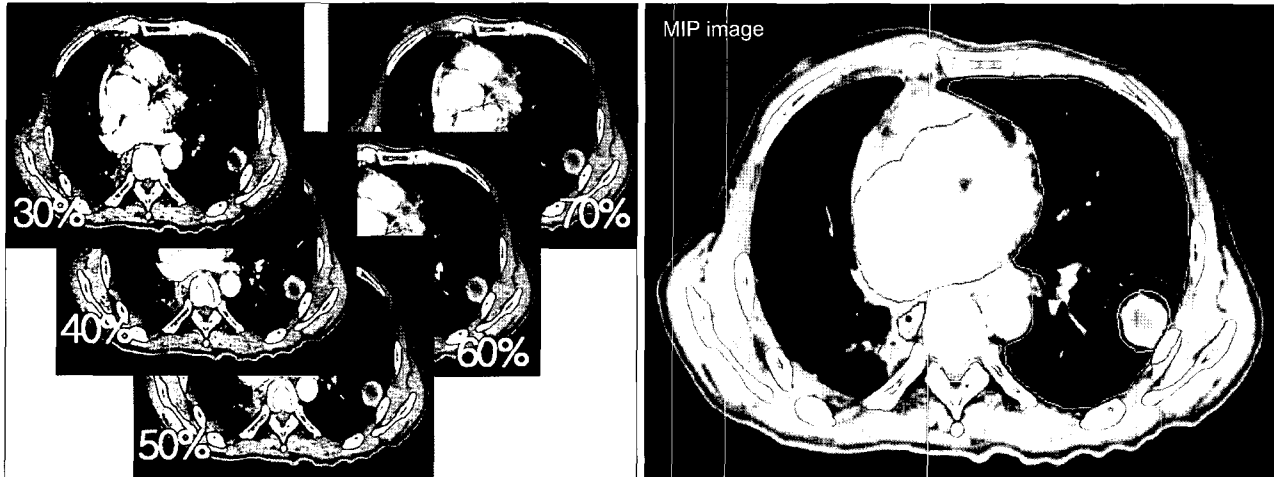
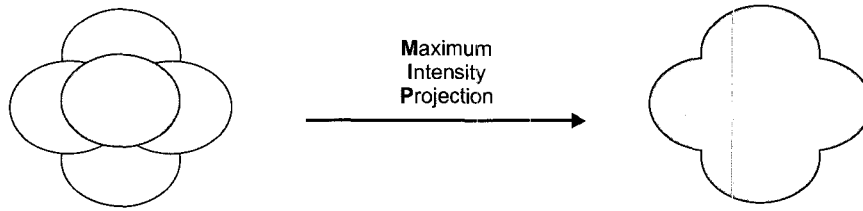
[Fig. 3] (A) Respiration cycle recording, (B) 4D CT scan, (C) 10 phases image acquired point



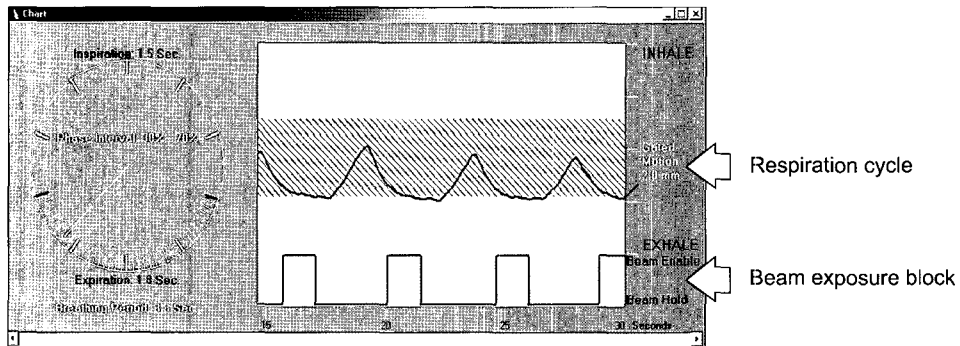
[Fig. 4] Treatment phases decision

phases간 종양의 움직임 거리를 측정하여 치료 phases를 결정하게 되는데, 0~20%, 20~30% phases 간에는 종양의 위치변화가 크지만 30~40% phases에서

는 종양의 위치변화가 거의 없는 것을 알 수 있다[Fig. 4]. 치료 phases는 30~40% phases와 같이 phases간 종양의 위치변화가 크지 않은 percent (%)의 phases로



[Fig. 5] Treatment phases MIP CT image



[Fig. 6] Treatment

A환자는 30~60% phases, B환자는 30~ 70% phases로 결정하였다.

치료 phases를 결정한 후에는 각 치료 percent (%) phases의 CT image를 maximum intensity projection (MIP) 기법<sup>10</sup>으로 재구성한 후 volume contouring을 하였다 [Fig. 5].

MIP 기법은 여러 장의 image를 하나로 합성할 때

동일 위치에서 intensity가 높은 것이 표현되는 기법으로 각 치료 phases마다 종양의 위치가 다르다면 폐 보다 종양의 intensity가 높기 때문에 치료 phases의 종양은 각 위치의 종양이 모두 합쳐진 것과 동일한 volume으로 표현되고 이 volume은 전체 호흡주기 중 치료 percent (%) 호흡주기 동안 종양의 움직임과 같게 된다.

[Table 1] Comparison of RPM gated full phases and treatment phases tumor movement (unit: mm)

Case	Range	Lateral (X)		Longitudinal (Y)		Depth (Z)	
		Lt. side	Rt. side	Sup. side	Inf. side	Post. side	Ant. side
A	Full phase (0~90%)	2.7	1.3	9.4	7.8	2.6	3.4
	Treatment phase (30~60%)	1.1	0.3	1.9	2.6	1.8	0.7
B	Full phase (0~90%)	3.6	2.5	11.6	11.7	5.3	4.4
	Treatment phase (30~70%)	1.3	1.4	2.3	2.3	1.4	2.0

Set up의 재현성 및 GTV의 위치변화를 확인하기 위해 치료 전 4D CT를 촬영한 후 치료 phases와 동일한 percent (%)의 phases로 MIP image를 만들어 최초 plan을 위해 촬영한 CT image의 치료 phases MIP image와 fusion하여 X, Y, Z축의 오차를 측정 후 치료를 하였다. 치료는 전체 호흡주기 중 치료 phases로 결정된 percent (%)의 호흡주기 동안에만 방사선이 조사되면서 이루어지게 된다 [Fig. 6].

### III. 결 과

폐의 하엽에 종양이 위치한 2명의 SRS 환자를 대상으로 종양(GTV)의 움직임이 A환자는 전체 호흡주기(0~90%)에서 Lateral (X축) 방향으로 Lt. side 2.7 mm, Rt. side 1.3 mm, Longitudinal (Y축) 방향으로 Sup. side 9.4 mm, Inf. side 7.8 mm, Depth (Z축) 방향으로 Post. side 2.6 mm, Ant. side 3.4 mm였으나, 치료 호흡주기 범위(30~60%)에서는 Lateral (X축) 방향으로 Lt. side 1.1 mm, Rt. side 0.3 mm, Longitudinal (Y축) 방향으로 Sup. side 1.9 mm, Inf. side 2.6 mm, Depth (Z축) 방향으로 Post. side 1.8 mm, Ant. side 0.7 mm로 감소하였고, B환자에서는

[Table 2] Comparison of RPM gating system use CT set up (unit: mm)

Case	CT comparison	X	Y	Z	Case	CT comparison	X	Y	Z
A	1st comparison	0	2.5	3	B	1st comparison	1	2.5	1
	2nd comparison	0	0	2		2nd comparison	2	2.5	2

전체 호흡주기(0~90%)에서 Lateral (X축) 방향으로 Lt. side 3.6 mm, Rt. side 2.5 mm, Longitudinal (Y축) 방향으로 Sup. side 11.6 mm, Inf. side 11.7 mm, Depth (Z축) 방향으로 Post. side 5.3 mm, Ant. side 4.4 mm이었으나 치료 호흡주기 범위(30~70%)에서는 Lateral (X축) 방향으로 Lt. side 1.3 mm, Rt. side 1.4 mm, Longitudinal (Y축) 방향으로 Sup. side 2.3 mm, Inf. side 2.3 mm, Depth (Z축) 방향으로 Post. side 1.4 mm, Ant. side 2 mm로 감소하였다 [Table 1].

Set up의 재현성 및 GTV 위치 변화를 확인하기 위해 2회 촬영한 4D-CT의 비교 결과 Set up의 오차가 A환자 1차 비교에서는 X축 0 mm, Y축 2.5 mm, Z축 3 mm, 2차 비교에서는 X축 0 mm, Y축 0 mm, Z축 2 mm이었으며, B환자 1차 비교에서는 X축 1 mm, Y축 2.5 mm, Z축 1 mm, 2차 비교에서는 X축 2 mm, Y축 2.5 mm, Z축 2 mm의 오차가 있었으나 모두 3 mm이 내였다 [Table 2].

### IV. 결론 및 고찰

호흡에 의한 종양의 움직임이 큰 폐암 환자의 폐 하엽에서 SRS 시행 시 diaphragm controller로 종양의 움직임을 ±5 mm 이하로 줄일 수 없는 경우 respiratory gating system의 사용은 전체 호흡주기(0~90%) 중 치료 호흡주기로 결정된 종양(GTV)의 움직임이 적은 percent (%)의 호흡주기에서만 방사선이

조사되기 때문에 치료 시 종양의 움직임을 5 mm 이내로 감소시킬 수 있어 유용하였으며, 또한 4D CT로 촬영한 CT image에서 치료 phases의 CT image만을 MIP 기법으로 재구성하였기 때문에 치료 phases의 GTV는 각 치료 percent (%) phases의 GTV를 모두 합친 volume으로 이것은 치료 호흡주기 동안 종양의 움직임과 같으므로 정확한 Internal Target Volume (ITV)을 contouring할 수 있었다.

폐뿐만 아니라 호흡에 의한 장기의 움직임이 큰 복부에서도 respiratory gating system의 사용은 치료 계획 및 치료 시에 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. Colombo F, Benedetti A, Pozza F, et al. : External stereotactic irradiation by linear accelerator, *Neurosurgery* 1985 ; 16 : 154-160
2. Lutz W, Winston KR, Maleki N, et al. : A system for stereotactic radiosurgery with a linear accelerator, *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1988 ; 14 : 373-381
3. Lunsford LD, Flickering JC, Linder G, et al. : Stereotactic radiosurgery of the brain using the first United States 201 cobalt-60 source gamma knife, *Neurosurgery* 1989 ; 24 : 151-159
4. 안승도, 이병용, 최은경 : 정위 체부고정틀을 이용한 전신방사선수술법의 예비적 결과, *대한방사선종양학회지* 2000 ; 18 : 251-256
5. John WW, Michael BS, David AJ, et al. : The use of active breathing control (ABC) to reduce margin for breathing motion, *Int J Oncology Biol Phys* 1999 ; 44 : 911-919
6. Yoon SM, Choi EK, Lee SW, et al. : Stereotactic body frame based radiosurgery for primary or metastatic thoracic tumor, *Int J Oncology Biol Phys* 2004 ; 60 : 282-283
7. Rohini G, Paul K, Chung T, et al. : Dose Breathing Training Reduce Residual Motion for Respiratory-gated Radiotherapy, X IV th ICCR 2004. Seoul, Korea
8. GIG SM, Alex P, Kenneth ER, et al. : Measurement of lung tumor motion using respiration-correlated CT, *Int J Oncology Biol Phys* 2004 ; 60 : 933-941
9. Rquel W, Ellen Y, Philippe G, et al. : Respiratory gating for liver tumors; use in dose escalation, *Int J Oncology Biol Phys* 2003 ; 55 : 659-668
10. Underberg RW, Lagerwaard FJ, Slotman BJ, Cuijpers JP, Senan S : Use of maximum intensity projections (MIP) for target volume generation in 4DCT scans for lung cancer, *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2005 ; 63 : 253-260

Abstract

## Effectiveness of the Respiratory Gating System for Stereotactic Radiosurgery of Lung Cancer

Heung-kwon Song, Kyung-tae Kwon, Cheol-su Park, Oh-nam Yang, Min-su Kim, Jeong-man Kim

Department of Radiation Oncology, Asan Medical Center, Seoul, Korea

**Purpose** : For stereotactic radiosurgery (SRS) of a tumor in the region whose movement due to respiration is significant, like Lung lower lobe, the gated therapy, which delivers radiation dose to the selected respiratory phases when tumor motion is small, was performed using the Respiratory gating system and its clinical effectiveness was evaluated.

**Materials and Methods** : For two SRS patients with a tumor in Lung lower lobe, a marker block (infrared reflector) was attached on the abdomen. While patient's respiratory cycle was monitored with Real-time Position Management (RPM, Varian, USA), 4D CT was performed (10 phases per a cycle). Phases in which tumor motion did not change rapidly were decided as treatment phases. The treatment volume was contoured on the CT images for selected treatment phases using maximum intensity projection (MIP) method. In order to verify setup reproducibility and positional variation, 4D CT was repeated.

**Results** : Gross tumor volume (GTV) showed maximum movement in superior-inferior direction. For patient #1, motion of GTV was reduced to 2.6 mm in treatment phases (30~60%), while that was 9.4 mm in full phases (0~90%) and for patient #2, it was reduced to 2.3 mm in treatment phases (30~70%), while it was 11.7 mm in full phases (0~90%). When comparing two sets of CT images, setup errors in all the directions were within 3 mm.

**Conclusion** : Since tumor motion was reduced less than 5 mm, the Respiratory gating system for SRS of Lung lower lobe is useful.

---

**Key words** : stereotactic radiosurgery, respiratory cycle, respiratory gating system