

## 구동 팬텀 시스템을 통한 내부 장기 움직임의 선량 평가

\*원자력의학원 방사선의학연구센터, †원자력의학원 방사선종양학과

김재균\* · 김윤종\* · 이동한\*<sup>†</sup> · 이동훈\*<sup>†</sup> · 김미숙\*<sup>†</sup> · 조철구\*<sup>†</sup>  
류성렬<sup>†</sup> · 양광모<sup>†</sup> · 유형준<sup>†</sup> · 지영훈\*<sup>†</sup>

본 연구의 목적은 호흡 운동에 영향을 받는 내부 장기의 움직임을 정량적으로 분석하고, 그 결과를 토대로 움직이는 내부 장기의 선량 분포를 측정하고 평가하는 것이다. 그리고 이전에 보고된 논문에서 개발된 움직임 감소 장치의 사용 유무에 따른 내부 장기의 선량 분포 또한 분석하는 것이다. 이를 위하여 1차원적으로 움직이는 구동 팬텀 시스템을 개발하였고, 6MV X-ray에서 Kodak X-omat V 필름을 사용하여 움직이는 내부 장기의 선량분포를 실험적으로 측정하였다. 이 결과로부터 호흡 운동으로 인한 움직이는 내부 장기 및 종양에 조사되는 선량의 부정확도를 평가할 수 있었고, 움직임 감소 장치를 사용했을 때 선량의 부정확도가 감소함을 확인할 수 있었다.

중심단어: 구동 팬텀 시스템, 움직임 감소 장치, 호흡 주기, 선량 분포

### 서 론

방사선 치료의 효율성을 높이기 위해서는 두 가지 중요한 요소를 간과할 수 없다. 첫째는 방사선이 치료 부위에 정확히 전달되는 것이고, 둘째는 계획된 방사선량과 실제 투여된 방사선량이 일치해야 하는 것이다. 정확한 방사선 치료는 치료 효율을 높일 뿐만 아니라, 방사선에 의한 부작용을 최소화할 수 있다. 그런데 흉부 또는 복부에 위치한 종양의 경우, 호흡 운동으로 인한 내부 장기의 움직임 때문에 치료 부위에 정확한 선량이 전달되기 어렵다. 이와 같은 호흡 운동으로 인한 내부 장기의 움직임을 줄이기 위해 DIBH (Deep Inspiration Breath Hold)<sup>1-3</sup>와 공기 흐름 밸브를 이용한 ABC (Active Breathing Control)<sup>4,5</sup>, 복부 압력을 이용하는 방법<sup>6</sup> 그리고 본 연구진이 지난 논문에서 발표한 호흡 운동으로 인한 내부 장기의 움직임 감소 장치<sup>7</sup> 등이 있다. 그런데 이와 같은 방법들이 실제적인 치료 선량에 미치는 영향에 대한 보고는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 내부 장기의 움직임 감소 장치의 사용 유무에 따른 선량 분포를 측정하기 위하여 구동 팬텀 시스템을 개발하였다. 그리고 이 시스템을 통하여 실험적인 선량 분포를 분석 및 평가하고자 한다.

### 재료 및 방법

#### 1. 구동 팬텀 시스템 제작

호흡 운동으로 인한 내부 장기 중 횡격막의 움직임을 측정하여, 치료 방사선 조사 시 그 움직임을 대신할 수 있는 구동 팬텀 시스템을 제작하였다. 이 시스템은 필름을 놓을 수 있는 구동 팬텀과 이를 제어할 수 있는 제어기로 구성되어 있다 (Fig. 1). 그리고 실험도중 변형을 최소화하기 위하여 알루미늄합금의 재질로 제작하였고, AC모터를 통하여 움직일 수 있는 최대 거리는 10 cm로, 시스템의 응답속도는 최대 30 ms로 설정하였다.

#### 2. 내부 장기의 움직임에 관한 정보

내부 장기 중 횡격막의 움직임 범위를 통하여 움직임 감소 장치의 유무에 따른 내부 장기의 선량분포를 측정하였다. 횡격막의 움직임 범위와 주기는 Table 1, 2와 같다.<sup>7)</sup>

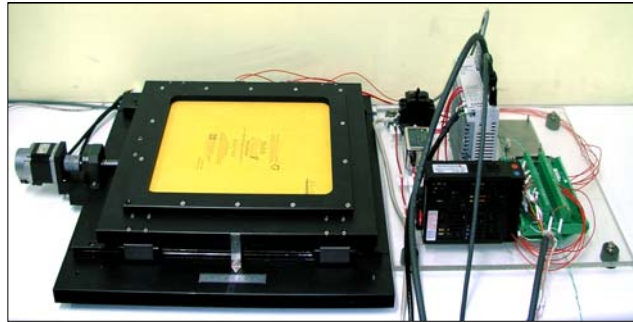


Fig. 1. Dynamic phantom system and controller for respiratory organ motion.

Table 1. The diaphragm amplitude; with and without the decreasing device of position conversion for patient A-G.

Patient	The diaphragm amplitude (cm)	
	Without device	With device
A	2.28	0.72
B	3.14	1.95
C	1.91	0.93
D	1.14	0.85
E	2	1.6
F	2.67	1.33
G	1.86	0.72

Table 2. The diaphragm period; with and without the decreasing device of position conversion for patient A-G.

Patient	The diaphragm period (sec)	
	Without device	With device
A	4	3
B	4	3
C	5	3
D	3	1.5
E	6	4
F	4	3
G	5	4

### 3. 구동 팬텀 시스템을 통한 선량 분포 측정 및 분석

획득된 횡격막의 움직임 범위에 대한 자료를 구동 팬텀 시스템에 적용하여 실제 호흡 운동에 영향을 받는 내부 장기의 움직임을 구현하였다. 선량 측정 실험은 호흡에 의한 장기 움직임이 없는 상태와 움직임 감소 장치를 사용하지 않은 경우, 움직임 감소 장치를 사용한 경우로 나누어서 측정하였다. 획득된 횡격막 움직임 범위와 호흡 주기를 통하여 움직임 감소 장치를 사용하지 않은 경우에는, 횡격막 움직임 범위를 30 mm, 호흡 주기를 3.5초로 하였고, 장치를 사용한 경우는 각각

연제발표 1: 구동 팬텀 시스템을 통한 내부 장기 움직임의 선량 평가, 김재균 등

20 mm, 2초로 설정하였다. 실험 조건은 6MV X-ray 에서 10×10 cm 조사야, SAD 100 cm에서 Kodak X-omat V 필름을 사용하여 측정하였다. 그리고 PTW-VeriSoft 2.11을 통하여 선량분포를 분석하였다.

## 결 과

호흡 운동에 의한 장기 움직임이 없는 상태와 움직임 감소 장치의 사용 유무에 따른 선량 분포를 확인할 수 있었다(Fig. 2). 이 결과에서 3.5초간 30 mm 움직임이 있는 선량 분포(움직임 감소 장치 미사용한 선량 분포)와, 2초간 20 mm 움직임이 있는 선량 분포(움직임 감소 장치 사용한 선량 분포)는 장기 움직임이 없는 상태에 비해 가장자리에서 움직임으로 인한 blurring 현상이 나타났다. 이 현상은 움직임의 범위가 큰 3.5초간 30 mm로 움직이는 선량 분포에서 가장 뚜렷하게 나타남을 확인할 수 있었다. 그리고 dose profile의 경우, 최대 선량에서는 세 가지 선량 분포 모두 오차 범위 2% 안으로 별 차이 없었다. 그러나 움직이는 방향의 가장 자리의 중심에서 측정된 선량에서는 내부 장기의 움직임을 고려하지 않는 경우와 고려한 한 경우가 25% 이상의 차이를 보였다. 내부 장기 움직임이 없는 경우에 비해 3.5초간 30 mm 움직임이 있는 선량 분포의 경우 20%~80%의 음영 영역이 20 mm 이상 증가 하였고, 2.5초간 20 mm 움직임이 있는 선량 분포의 경우 10 mm 이상 증가하는 것으로 나타났다.

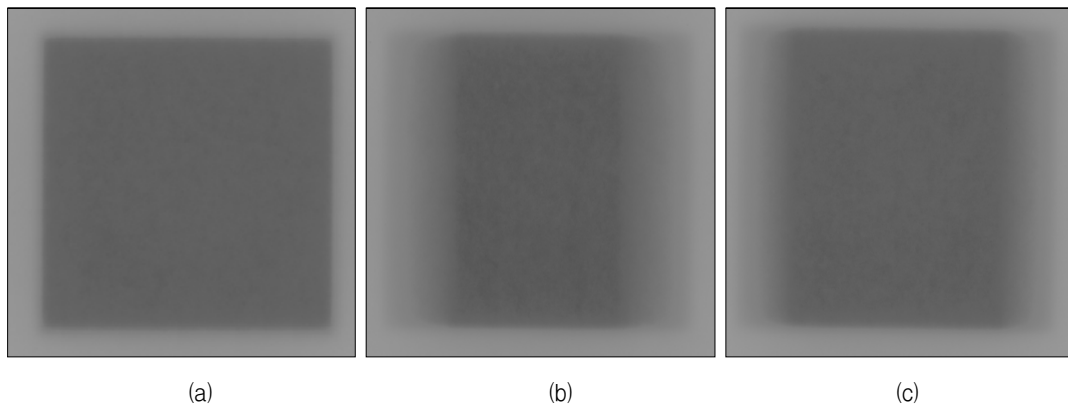


Fig. 2. A delivered dose distribution by dynamic phantom system (a) non-moving, (b) moving (30 mm, 3.5 s), (c) moving (20 mm, 2.5 s).

## 결 론

환자의 횡격막 움직임 범위와 호흡 주기 정보를 가지고, 구동 팬텀 시스템을 통하여 실험적인 선량 분포를 측정할 수 있었다. 이 결과 내부 장기 움직임의 여부가 움직임 방향의 가장자리의 중심에서 측정된 선량에 큰 영향을 미친다는 사실을 확인할 수 있었다. 그리고 움직임 감소 장치를 장착했을 경우, 미장착한 경우에 비해 움직임 방향의 가장자리 중심에서 측정된 선량에는 큰 차이가 없었으나 20%~80%의 음영 영역은 크게 감소함을 확인할 수 있었다. 향후, 횡격막뿐만이 아닌 호흡에 영향을 받는 간, 폐 등의 움직임 또한 분석하여, 구동 팬텀 시스템을 통하여 선량 분포를 측정 및 평가할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. Hanley J, Debois MM, Mah D, et al: Deep inspiration breath-hold technique for lung tumors: The potential value of target immobilization reduced lung density in dose escalation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 45:603-11 (1999)
2. Rosenzweig KE, Hanley J, Mah D, et. al: The deep inspiration breath-hold technique in the treatment of inoperable non-

- small-cell lung cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 48:81-7 (2000)
3. Balter JM, Lam KL, McGinn CJ, et al: Improvement of CT-based treatment-planning models of abdominal targets using static exhale imaging. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 41:939-43 (1998)
  4. Wong JW, Sharpe MB, Jaffray DA, et al: The use of active breathing control(ABC) to reduce margin for breathing motion. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 44:911-9 (1999)
  5. Stromberg JS, Sharpe MB, Kim LH, et al: Active breathing control (ABC) for Hodgkin's disease: reduction in normal tissue irradiation with deep inspiration and implications for treatment [in process citation]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 48:797-806 (2000)
  6. Herfarth KK, Debus J, Lohr F, et al: Extracranial stereotactic radiation therapy: Setup accuracy of patients treated for liver metastases. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 46:329-35 (2000)
  7. 김재균, 이동한, 이동훈, 김미숙, 조철구, 류성렬, 양광모, 오원용, 지영훈 : 호흡 운동에 의한 내부 장기의 움직임 감소에 관한 연구, *의학물리* 15:179-85 (2004)