

## 호흡에 의해 내부 움직임을 갖는 장기에 전달되는 선량에서 Time Gating Threshold(TGT)의 효과

\*가톨릭대학교 의과대학 의공학교실

김연래\* · 정진범\* · 서태석\*

본 연구는 호흡시에 내부 장기가 움직일 때 시간에 따른 threshold 값을 주어졌을 때 선량분포에 대한 연구를 수행한 것이다. 이전 연구에서 보고 된 것처럼 일정 시간에 따라 움직이는 내부 장기의 움직임은 Rujan 등에 의해 보고된 3차원적 수학적 계산방법에 의해 장기의 위치를 나타내었다. 그 결과 처음 exhale에서 1초동안 간의 움직임은 2mm이내에 위치하는 것을 알게 되었다. 그래서 이 연구에서 TGT는 간의 움직임이 가장 적은 처음 exhale에서 1초동안 움직일 때의 선량분포를 평가하였다. TGT 값을 주었을 때 선량분포를 비교하기 위해 다음 조건으로 방사선을 조사하였다. 1) threshold 범위에서 target이 움직일 때(1초, 1.5초), 2) threshold 없이 target이 움직일 때, 3) target이 움직이지 않을때. 각각 조건의 선량분포를 비교 평가하였다

---

중심단어: 내부장기 움직임, Time Gating Threshold(TGT), 호흡

### 서 론

방사선치료의 목적은 정상 조직에는 선량을 최소화하면서 종양에 가능한 많은 선량을 조사하는데 있다. 그런데 폐, 유방, 간, 신장 같은 장기는 호흡에 의해 종양의 움직임이 있기 때문에 방사선 치료시 종양에 적절한 선량 분포가 좋지 않고 정상조직에 불필요한 선량이 분포하게 된다. 이와 같이 움직이는 장기의 방사선치료를 시행할 때 여러 가지 방법이 있는데, 첫 번째는 일반적으로 사용하는 방법으로 Planning Target Volume(PTV) 설정시에 Clinical Target Volume(CTV)의 margin을 증가시키는 방법, 두 번째는 IMRT를 이용하여 호흡에 의한 움직임을 Dynamic Multileaf Collimator(MLC)의 움직임을 이용하여 치료하는 방법, 세 번째는 호흡 주기의 측정으로 호흡주기에 따라서 방사선을 조사하는 Respiration Gated Radiotherapy(RGRT)가 있다. 본 연구는 세 번째 치료 방법으로 호흡주기를 이용한 방사선 치료시 적절한 시간에 따른 threshold 설정에 따른 선량분포를 평가하기 위한 실험이다. 인체내에서 호흡시 여러 움직이는 장기중에 간의 움직임에 따른 선량분포와 Time Gating Threshold(TGT)를 설정했을 때의 선량분포, 그리고 움직이지 않았을 때의 선량분포를 비교, 평가하였다. 일반적으로 호흡에 의한 환자의 내부적 움직임 범위는 fluoroscopy, CT, MRI, 초음파를 이용해서 획득한 영상 data로 측정하고, 외부적 움직임은 strain gauge, spirometer같은 센서 시스템에 의해 측정하는데, 본 연구에서는 내부 장기 움직임은 Lujan 등에 의해 보고된 수학적 모델 방법을 적용하여 일정한 시간간격에서 장기의 위치를 계산하였다. 그래서 정상적인 호흡시 내부적 간의 움직임은 보통 10~30 mm 정도 나타난다고 보고되고 있다. 수학적 모델에 의해 나타난 호흡주기에 시간대에 따른 threshold를 설정해서 구동 팬텀 시스템을 적용하여 움직임에 따른 선량분포 실험을 시행하였다.

### 대상 및 방법

#### Decision of gating threshold

우리는 환자 호흡시 움직이는 장기중에 간의 움직임을 Lujan 등에 의해 보고된 수학적 모델 방정식을 계산하여 일정 시간간격에 따라 장기가 위치하는 지점을 나타내었다. 이 수학적 모델 방법의 방정식은 다음과 같다. 이 수

학적인 모델은 전체적인 환자의 호흡 주기에서 동일한 주기와 호흡의 크기라고 가정하였다.

$$z(t) = z_0 - b \cos^{2n}(\pi t / r - \phi) \quad (1)$$

여기서  $z_0$ 는 exhale에서 장기의 위치,  $b$ 는 한 호흡주기에서 변하는 장기 총 위치변위,  $z_0 - b$ 는 inhale에서 장기의 위치이다.  $t$ 는 한 호흡주기 동안 소요되는 시간,  $n$ 은 수학적 모델의 일반적인 모양(steeptness and flatness)을 결정하는 변수들이다. 실험을 하기 위해서, 우리는 한 호흡주기 시간( $t$ ) 4 s, 호흡에 따른 변위( $b$ ) 15 mm,  $n$ 의 값은 3으로 설정하여 사용했다. 여기서 설정된 값은 앞선 발표된 연구결과를 바탕으로 설정된 것이다. 위 식에 의해서 계산된 시간에 따른 장기 위치는 table 1과 같다.

이 결과를 통해, 우리는 exhale top 지점에서 inhale bottom지점까지 호흡하는 2초 시간 중 exhale의 초기지점부터 1초 호흡하는 동안 장기의 움직임은 2 mm 이하의 변위를 나타내는 것을 알게 되었다. 이것은 호흡에 의한 총 변위(15 mm)에 비해 아주 작은 변위라고 할 수 있다. 그리고 이 변위에 대해서는 작은 치료마진을 덧붙여 보상할 수 있다. 또한, 호흡하는 시간이 2초인 것을 고려하면 exhale 초기의 저점에서 1초 동안의 지점은 50%의 duty cycle를 할 수 있는 기간이다. 그러므로 우리는 치료시간의 많은 증가 없이 방사선치료에 정확성을 높일 수 있도록, exhale 초기지점에서부터 1초 동안의 장기위치 범위를 time gating threshold(TGT) 값으로 설정하였다. 여기서 TGT는 우리가 일정한 시간을 설정하여 정해진 시간 범위에서 빔을 조사하는 것으로 한다.

Table 1. The calculated value of organ position as a function of time

Time(s)	Position(mm)	Time(s)	Position(mm)
0.2	14.999	1.2	10.800
0.4	14.998	1.4	7.500
0.6	14.860	1.6	3.904
0.8	14.310	1.8	1.080
1.0	13.140	2.0	0

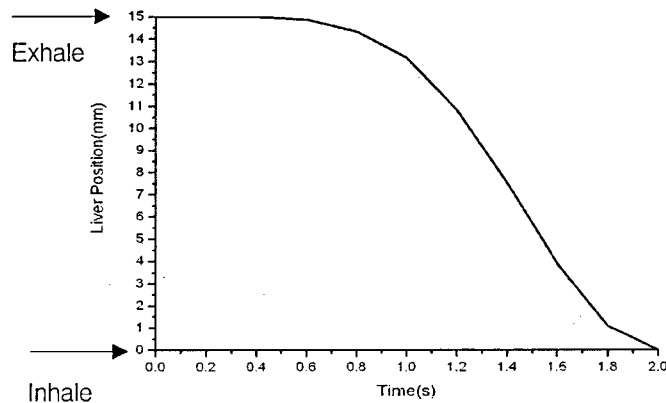


Fig. 1. Organ position as a function of time

### Measurement of a delivery dose

수학적 모델식을 계산한 장치의 위치를 0.2초의 시간간격으로 나타내면 Fig 1이 된다. 구동 팬텀을 적용 이러한 움직임을 구현하여 선량측정을 수행하였다. 실험은 크게 두 가지 상태에서 구동 팬텀에 film을 장착해서 측정하였다. 1) moving target in the region of threshold(1sec, 1.5sec), 2) moving target, 3) non-moving target

1) 실험에서 1초 threshold와 1.5초 threshold 의 비교는 실제 치료시에 치료시간의 길어짐에 따라서 환자 자세가 약간 변하는 것을 감안해서 치료시간을 줄이기 위해 TGT값을 늘렸을때 시간과 선량분포를 비교평가 했다. 1), 2) 실험을 비교하여 내부 움직임을 갖는 장치에서 설정된 TGT가 방사선조사의 정확성에 어떠한 영향이 있는가를 평가하였다. 그리고 2), 3) 실험은 우리의 장치에 내부적 움직임이 조사된 선량에 어떠한 영향이 있는가를 조사하였다.

본 연구에서 사용된 무빙 팬텀 시스템과 팬텀 시스템에 관한 설명은 우리가 이전에 발표한 논문에서 서술한 적이 있다. 이 시스템은 본 연구진이 구현한 프로그램으로 PC에서 컨트롤하여 내부 장치의 움직임을 모사 할 수 있다. 선량 측정기는 10MV Linac 2100C/D로 수행되었고, water equivalent white solid phantom을 이용하여 선량 측정 실험을 수행하였다.

### 결 과

TGT를 설정하고 내부적 움직임을 고려하여 획득한 선량값은 내부적 움직임만을 고려한 것보다 실제 방사선 조사 부위에 정확한 선량을 얻었다. 그러나 TGT를 설정함에 의해서 치료시간은 2배 이상 증가되었다. 그리고 TGT를 1초 설정하여 획득한 선량 분포를 1.5초로 설정한 것과 비교해본 결과, 처음 exhale에서 1초 사이의 움직임이 1초에서 1.5초 사이보다 적게 움직이므로 시간비에 따른 선량분포가 적절하게 분포되었다.

### 고찰 및 결론

호흡주기 중에서 처음 exhale부터 1초 동안 장치의 움직임이 가장적기 때문에 이때 TGT를 설정해서 획득한 선량분포가 내부적 움직임만을 고려한 것보다 정확하게 구현되었다. 비록 TGT를 설정해서 내부의 움직임을 고려해서 방사선을 조사했을 때 시간적으로는 많은 시간이 걸리고, 실제 방사선 치료시 TGT를 설정해서 방사선 치료를 할 경우에 긴 치료시간으로 인한 환자의 자세의 정확도가 떨어지는 단점이 나타날 수 있다. 그러나 조금 더 빠른 치료를 위해서 1) dose rate의 증가, 2) 환자가 편안할 수 있는 setup, 3) 각각 환자의 정확한 내부, 외부 움직임을 획득, 프로그램화해서 치료장비에 적용해서 사용하면 좀더 빠른 치료를 할 수 있으리라 생각된다.

본 연구는 장치의 움직임을 수학적 모델 방법을 적용해서, 환자 호흡에 의한 간의 움직임을 시간의 변위에 따라 간의 위치로 계산하였고, 이 값을 구동 팬텀 시스템에 입력해서 움직임에 따른 선량분포를 비교하였다. 그런데 실제 환자 개개인 마다 호흡주기가 틀리므로, 실제 임상적용 시에는 환자의 내부 움직임을 알기위해 CT, MRI, fluoroscopy, 초음파 영상과 외부 움직임을 획득하는 infrared reflective marker와 CCD 카메라, strain gauge와 spirometer 같은 센서 시스템을 이용하여, 내·외부 움직임을 서로 비교분석해서 각각 환자의 두 움직임을 분석해야 한다. 그리고 환자 각각의 데이터를 방사선 치료시에 적용시켜 좀더 정확한 치료를 수행해야 하며, 3차원적으로 움직이는 내부장기의 정확한 선량검증을 위해 3차원 구동 팬텀 시스템과 같은 장비를 적용하여 정확한 QA를 실행하여야 한다.

### 참 고 문 헌

1. A. E. Lujan, E. W. Larsen, J. M. Balter, and R. K. Ten Hen "A method for incorporating organ motion due to

- breathing into 3D dose calculations," Med. Phys Vol. 26(5) 715-720 (1999)
2. S. S. Vedam, P. J. Keall, V. R. Kini, and R. Mohan, "Determining parameters for respiration-gated radiotherapy," Med. Phys Vol. 28(10) 2139-2146 (2001)
  3. G. S. Mageras, E. Yorke, K. Rosenzweig, L. Braban, E. Keatley, E. Ford, S. A. Leibel, and C. C. Ling, "Fluoroscopic evaluation of diaphragmatic motion reduction with a respiratory gated radiotherapy system" Journal of applied clinical medical physics, 2(4) 191-200 (2001)

## **An effect of time gating threshold (TGT) on a delivered dose in internal organ with movement due to respiration**

Yon Lae Kim\*, Jin Bum Chung\*, Tae Suk Suh\*

*\*Department of Biomedical Engineering, School of Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea*

In this study, we investigated the effect of threshold on a delivered dose in organ with internal motion by respiration. With mathematic model for 3D dose calculation reported by Lujan et al., we had calculated the position of organ as a function of time in previous study. This result presented that the variation of organ is within 2 mm from initial exhale position to the organ position during operating 1 s. Gating threshold, in this study, is determined to the moving region of target during 1s at a primary position of exhale. This period of gating threshold is 50% of the duty cycle in a half breathing cycle which is period from the top position of exhalation to the bottom position of inhalation. Radiation fields were then delivered under three conditions; 1) existent of moving target in the region of threshold(1sec, 1.5sec), 2) existent of moving target out of the region of threshold, 3) non-moving target. The non-moving target delivery represents a dose different induced due to internal organ motion.

---

Key Words: Internal Organ Motion, Time Gating Threshold(TGT), Respiration