

# 호흡동조방사선치료를 위한 Trigger mode 투시영상 획득 시 호흡 속도에 따른 정확성 평가 – Phantom Study

서울아산병원 방사선종양학과

박제완 · 김민수 · 엄기천 · 최성훈 · 송흥권 · 윤인하

**목 적 :** 본 연구를 통해 호흡동조방사선치료(Respiratory Gated Radiation Therapy, RGRT)시 환자 호흡 속도에 따른 Trigger mode의 정확성과 유용성을 평가하고자 한다.

**대상 및 방법 :** 호흡 속도에 따른 Trigger mode의 정확성을 평가하기 위해 QUASART™ 호흡 움직임 팬텀에 3 mm의 기준 표지자(Fiducial marker, gold marker)를 삽입하여 본원 한달 동안 환자의 평균 호흡인 20 bpm(Breath per minute)을 기준으로 4DCT 촬영 후 정중앙(Median)에 위치한 표지자에 윤곽 묘사(Contouring)를 하였다. OBI(On Board Imager)가 장착된 Truebeam STx™를 이용해 방사선조사 구간인 Gating window를 Lower threshold는 2.0 mm로 모든 측정 조건에서 고정시키고, Upper threshold를 최고 위상으로부터 각각 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm로 바꿔가며 측정하였다. 위와 같은 조건에서 평균 호흡 속도인 20 bpm을 기준으로 10 bpm, 30 bpm, 40 bpm, 50 bpm, 60 bpm 호흡속도를 바꿔가며 방사선이 끊기는 순간인 'Once at beam off'로 5회 촬영하였다. 같은 방법으로 3일간 반복 촬영 후 각 속도 별 오차를 비교하였다.

**결 과 :** 기준 호흡 속도 20 bpm에서 최고 위상으로부터 각각 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm Upper threshold에서 Trigger mode의 beam off시 차이는 3일간의 평균값으로 0.68±0.05 mm, 0.91±0.03 mm, 1.23±0.03 mm, 1.42±0.04 mm, 1.66±0.06 mm이다. 기준 호흡 속도(20 bpm)대비 호흡 속도 변화에 따른 측정 결과는 최대 절대차이(Absolute Difference)의 경우 1일차, 2일차, 3일차 모두 3 mm Upper threshold에서 평균 0.81±0.08 mm로 차이가 확인되었다. 호흡 속도와 절대차이의 편차(Variation)에 대한 상관관계를 평가하기 위한 결정계수 R2는 3일 평균 수치로 각각 0.838, 0.887, 0.770, 0.850, 0.906로 확인되었다. 3일간의 Threshold 모든 변수에서 p-value는 설정 유의수준 0.05 이하로 차이유의를 확인하였다.

**결 론 :** 호흡동조방사선치료 시 Trigger mode를 이용하여 영상유도를 할 경우 기준 호흡 속도(20 bpm)에서의 Trigger mode의 오차율이 평균 ±0.04 mm 값으로 정확성과 유용성을 확인 할 수 있었다. 그러나 호흡 속도에 따른 부정확성(Uncertainty) 또한 발생할 수 있다는 것을 알 수 있었으며, 특히, 기준 호흡 속도 대비 느려지는 경우(< 20 bpm)보다 빨라지는 경우(> 20 bpm) 영상획득에 대한 부정확성은 커졌다. 따라서 사전 모의치료시의 호흡을 선별하고 호흡을 유지하기 위한 호흡교육과 치료 중 적극적인 실시간 모니터링(Monitoring)이 필요하다고 사료된다.

▶ **핵심용어:** 호흡동조방사선치료, Trigger mode, 호흡 속도, Phantom Study

## 서 론

책임저자: 박제완, 서울아산병원 방사선종양학과  
서울특별시 송파구 올림픽로43길 88  
Tel: 02) 3010-4429  
E-mail: beatgroover@nate.com

암환자의 치료를 위해 대표적으로 수술(Surgery), 항암  
요법(Chemotherapy), 방사선치료(Radiation therapy)

가 주로 시행된다. 그 중 방사선치료는 종양에는 고 선량을 주변 정상장기에는 최소한의 선량을 전달함으로써 방사선치료 목적을 달성하게 된다. 방사선치료 장비와 더불어 방사선치료 기술이 급격하게 발전함에 따라 표적의 여지(margin)를 줄일 수 있게 되었으며, 그 배경으로는 영상유도방사선치료(Image Guided Radiation Therapy, IGRT)와 종양추적방사선치료(Tumor Tracking Radiation Therapy), 호흡동조방사선치료(Respiratory Gated Radiation Therapy, RGRT)등이 대표적이다.<sup>1,2,3</sup> 특히, 호흡동조방사선치료는 4차원 전산화단층촬영(4-Dimension Computed Tomography, 4DCT)을 이용하여 흉부와 복부에 위치하는 종양의 여지를 줄일 수 있게 되었으며, 그 원리는 다음과 같다. : 6개의 표시점이 달린 호흡 표지물(Marker)을 환자 가슴 혹은 복부 부근에 올려두고 적외선 카메라(infra-red camera)를 통해 전후 방향으로의 호흡 표지물의 움직임과 해당 주기 시점의 시간을 기록하는 방식이다.[Fig. 1] 이 때 얻어지는 정보는 호흡 표지물이 전후 방향으로 움직이는 진폭(amplitude)정보와 환자의 위상(phase)정보이다. 이렇게 획득한 전후 방향의 회전수 신호(RPM signal)와 환자의 호흡에 의한 종양의 움직임이 상관관계가 있다고 가정을 하고, 회전수 신호를 기준으로 일련의 전산화단층촬영 영상을 분류한다. 분류 방법은 크게 위상 기반(phase-based) 혹은 진폭 기반(amplitude-based)의 분류로 나눌 수 있으며, 현재 본원에서는 위상을 기반으로 10단계로 분류하는 시스템을 사용하고 있다. 이렇게 획득한 4차원 전산화단층촬영영상을 토대로 환자의 호흡을 고려하여 치료를 계획하고 종양의 움직임과 환자의 호흡 컨디션을 고려하는 방식에 따라 치료방법을 선택

하게 된다. 이 후 방사선이 조사되는 위상 구간을 설정(예 : 일반적으로 30~70% 위상)하여 내부표적여지(Internal Target Volume, ITV)를 설정하고, 계획표적용적(Planning Target Volume, PTV)을 설정하게 되면 전체 위상(Full Phase)에서 설정한 계획표적용적보다 작은 용적을 얻을 수 있게 된다.<sup>4,5</sup> 결과적으로, 호흡에 따른 움직임이 많은 폐암, 상복부 종양, 간암의 방사선 치료 중 호흡과 같은 이유로 종괴의 위치가 변할 경우 움직임을 고려한 위상을 설정한 방사선치료법으로 정상장기에 들어가는 용적선량(Integral Dose)을 줄일 수 있어 정상조직 독성을 줄일 수 있게 된다. 본원에서는 치료 중 실시간으로 호흡을 감시하는 RPM(Realtime Positioning Management, Varian Medical System, Palo Alto, CA)시스템을 이용하여 호흡동조방사선치료가 시행되고 있으며, 영상유도방사선치료와 병행된다.<sup>6</sup> 본원에서 시행중인 선형가속기를 이용한 호흡동조방사선치료는 총 3가지로 구별된다. 일정 구간에서 환자가 호흡을 다 내 선 상태에서 멈춰있는 채로 방사선이 조사되는 호흡멈춤(Breath-hold)치료, 위상 구간을 설정하여 일정한 호흡 구간에서만 방사선이 조사되는 위상(Phase)치료, 위상 구간을 환자의 여지(margin)에 따라 세밀하게 조절하며 사정상 호흡멈춤(Breath-hold)이 어려운 환자에게 적용하는 진폭게이팅(Amplitude gating)치료법이 있다. 본원에서는 진폭게이팅(Amplitude gating)치료 시 환자의 특정 호흡 위치에서 영상을 획득하기 위해 Trigger mode를 적용하고 있다. Trigger mode를 이용한 영상 획득은 다음과 같다. : 호흡에 따라 움직이는 종양 및 표지자(Marker)의 움직임을 실시간으로 모니터링하며 방사선이 조사(Beam on)되고 끊어지는 순간(Beam off)의 영상을 획득하게 된다. 즉, 조사(Beam on) 되는 순간 획득한 영상은 계획표적용적 안으로 들어가는 순간이며, 끊어지는 순간(Beam off) 획득한 영상은 계획표적용적에서 벗어나게 되는 순간이다. Trigger mode는 이러한 특정 순간을 확인하기 위한 도구(tool)인 것이다.<sup>7</sup>

하지만, 빠르게 움직이는 장기를 호흡주기에 맞추어 순간적으로 촬영하여 묘사하는 만큼 호흡이 빠를수록 영상의 질이 흐려지고 장기 묘사의 정확성이 부정확할 수 있다. 한 예로 실제 치료 중 긴장 등의 이유로 환자의 호흡속도가 빠르게 바뀌는 경우 Trigger mode를 이용한 영상획득 시

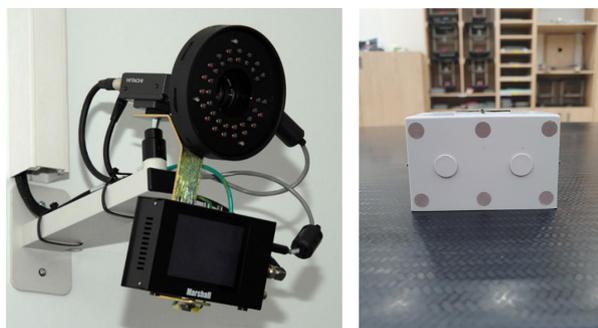


Fig. 1. infra-red camera and 6-dot Marker with 4-Dimension Computed Tomography

목적 여지(margin)를 둔 표지자(marker)의 위치가 정확하게 촬영되지 않게 된다는 사실을 알게 되었다. 이런 경험을 바탕으로 본 연구를 수행하기 위한 자료를 찾고 실험을 하게 되었고, 조사 결과 호흡 속도와 방사선조사 구간설정에 따른 Trigger mode의 정확성과 유용성에 대한 연구가 미비하다고 판단되어, 본 연구에서는 Trigger mode의 정확성과 유용성에 대한 평가를 하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 기준 4DCT 영상 획득

호흡 속도에 따른 Trigger mode의 정확성을 평가하기 위해 QUASAR™ 호흡 움직임 팬텀을 사용하였다. QUASAR™ 호흡 움직임 팬텀은 TG-53에서 권장하는 품질보증(Quality Assurance, QA) 절차에 따라 RPM 시스템의 품질보증(QA)을 위한 중앙 움직임 모의실험팬텀(Simulator)이며 0 bpm(Breath per minute)부터 60 bpm까지 호흡 속도를 변화시킬 수 있다. 인간의 일반적인 호흡 속도는 분당 10~20회(0.16~0.33Hz) 범위에 있으며<sup>8)</sup>, 2021년 2월 한 달간 본원 RPM 시스템 기반의 4차원 전산화단층촬영(4DCT) 모의치료 환자 50명을 대상으로 평균 호흡 속도를 측정하고 결과 3초당 1 cycle의 주기로 확인되었다. 이러한 근거로 QUASAR™ 호흡 움직임 팬텀의 기준(Reference) 4차원 전산화단층촬영 영상 획득 시의 호흡 속도는 20 bpm으로 설정하였다. 호흡의 50% 주기에서 얻은 전산화단층촬영 영상을 최고 위상(Top phase) 영상이라고 판단하였다.

실제 호흡에 의해 움직이는 장기나 종양의 모니터링을 위해 삽입되는 3 mm의 금 표지자(Fiducial marker, gold marker)를 기준 표지자로 사용하였으며<sup>9)</sup>, QUASAR™ 호흡 움직임 팬텀의 삼나무(Cedar)로 제작된 폐암 모사용 원통물질 정중앙(Median)에 위치시켰다[Fig 2]. 실제 환자의 호흡에 의한 표적의 움직임은 3차원 방향으로 움직이지만, 전후 방향(Anterior-Posterior, AP), 측 방향(Left-Right, LR)의 움직임에 비해 축 방향(Superior Inferior, SI)으로 움직임이 상대적으로 크다는 연구결과를 근거로 1차원 방향의 움직임만으로 충분히 대변할 수 있다고 가정하였다.<sup>10,11)</sup> 또한, QUASAR™ 호흡 움직임 팬텀을 이용하

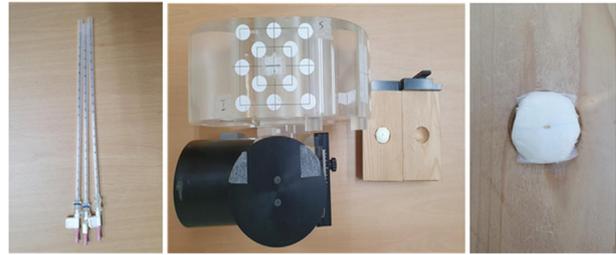


Fig. 2. Gold markers, QUASAR™ respiratory motion phantom and position of gold marker

여 호흡 게이팅 시스템의 평가와 연구가 선행되어 왔기 때문에 허용 가능한 편차(Acceptable Variation)로 판단하였다.<sup>12)</sup> QUASAR™ 호흡 움직임 팬텀의 영상획득 시 관심영역(Region of Interest, ROI)은 팬텀 전체이며, 영상획득 조건은 관전압 120 kVp, 관전류 250mA, 슬라이스 두께 2.5 mm, 0.56 Pitch, 스캔 시간 방식 Cine Full 0.5 s를 적용하였다.

### 2. 표지자 윤곽 묘사 (Contouring of marker)

획득한 QUASAR™ 호흡 움직임 팬텀의 전산화단층촬영 최고 위상(CT Top phase) 영상에 Eclipse™ Contouring menu를 이용하여 폐암 모사용 원통물질의 정중앙(Median)에 위치한 표지자의 윤곽 묘사를 하였으며, 직경 0.5 cm 3차원 방식으로 설정하였다.

### 3. 투시영상을 이용한 영상정합

본 실험에 사용한 의료용 선형가속기는 OBI(On Board Imager)가 장착된 Truebeam STx™로 Trigger mode를 지원하는 모델에 해당하며, 투시 영상 촬영(Fluoroscopy) 방식을 이용하였다[Fig 3].

QUASAR™ 호흡 움직임 팬텀을 전산화단층촬영 입체 모의치료 시와 동일하게 자세잡이(Setup)를 하고 시스템의 투시 영상 촬영 방식을 이용하여 2D-2D 직교 정합(2D-2D Orthogonal Registration)을 실시하였다. 촬영 조건은 본원에서 호흡동조 치료 시 평균적으로 사용하는 작은 신체사이즈(Small Size)의 양팔 올린 상체(Thorax Arm up position)의 조건으로 100 kV, 5.0 mAs로 설정하였다. 최고 위상(Top phase)을 기준으로 방사선이 조사된 후 끊기는 순간의 표지자(gold marker)의 위치를 확인하고자,



Fig. 3. Setup the phantom at TrueBeam™ LINAC

4가지의 Trigger mode 중 ‘조사 중 빔이 끊어지는 방식’ (Once at beam off)을 적용하였다. 이 방식은 명칭 그대로 호흡동조 구간에서 방사선 조사가 끊어지는 순간의 위치를 영상으로 획득하는 방식이다. 20 bpm(Breath per minute)의 호흡 속도로 획득한 영상과 기준(Reference) 4차원 전산화단층촬영(4DCT) 영상 획득 시의 디지털 재구성 영상(Digital Reconstruction Radiography, DRR)과 정합(Registration)하였다.

#### 4. Trigger mode를 이용한 측정

본 연구에서는 Trigger mode의 정확성 평가를 위해 두 가지 매개변수(Parameter)를 설정하였다. 첫 번째 매개변수로는 호흡 속도이며, 기준 호흡 속도(20 bpm)보다 느려지거나(< 20 bpm), 빨라지는(> 20 bpm) 경우이다[Table 1]. 두 번째 매개변수로는 방사선조사 구간인 게이팅 창(Gating window)설정이다. 아래쪽 문턱 값(Lower threshold)은 2.0 mm로 모든 측정 조건에서 고정이며, 위쪽 문턱 값(Upper threshold)을 설정하였다[Fig 4][Table 2].

이와 같은 매개변수를 설정한 후 전후(Anterior-Posterior, A-P)방향으로만 투시 영상 촬영을 하였으며, 그 이

유는 QUASAR™ 호흡 움직임 팬텀은 실제 환자 호흡의 벡터(Vector) 움직임과 달리 축 방향(Superior Inferior, S-I)으로만 움직이기 때문이다. 동일한 방법으로 5회 연속 촬영하여 기준(reference) 위치대비 오차거리를 측정하였으며 측정값의 절대 차이(Absolute Difference)값을 기록하였다[식 1]. 더불어, 장비의 컨디션이 일별(Daily)로 달라질 수 있다고 판단하여 3일 연속으로 측정하여 데이터를 획득하였다. 호흡 속도 변화에 따른 영상획득 정확성의 차이유의를 평가하기 위해 t검정으로 p-value를 산출하였으며, 유의수준은 0.05로 설정하였다. 또한, 호흡 속도와 절대 차이(AD)의 편차(Variation)에 대한 상관관계를 평가하기 위해 결정 계수(Coefficient of Determination, R2)를 산출하였으며, 1.0에 가까울수록 상관관계가 명확하게 반영됨을 의미한다.

$$\text{Absolute Difference (AD)} = |D_{\text{Reference}} - D_{\text{Measurement}}| \quad [\text{식1}]$$

## 결 과

### 1. 기준 호흡 속도(20 bpm)에서의 측정 결과

#### 1) 1일차 기준 값 측정 결과

기준 호흡 속도 20 bpm에서 최고 위상으로부터 각각 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm 위쪽 문턱 값(Upper threshold)까지의 (Trigger mode의 beam off 순간)차이는 0.65±0.06 mm, 0.9±0.01 mm, 1.27±0.04 mm, 1.5±0.06 mm, 1.66±0.13 mm이며 평균값을 1일차의 기준 값으로 설정하였다.

#### 2) 2일차 기준 값 측정결과

기준 호흡 속도 20 bpm에서 최고 위상으로부터 각각

Table 1. Parameter 1 : Respiratory rate

(Unit in ratio : bpm\*)

Parameter #1						
Respiratory gate	Reference	< Ref †	> Ref †	> Ref †	> Ref †	> Ref †
	20	10	20	30	40	50

\*breath per minute(bpm), † Reference(Ref)

Table 2. Parameter 2 : Gating window setting

(Unit in ratio : mm)

Parameter #2		
Gating window setting	Lower threshold (fixed)	2.0
	Upper threshold (moved)	1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0

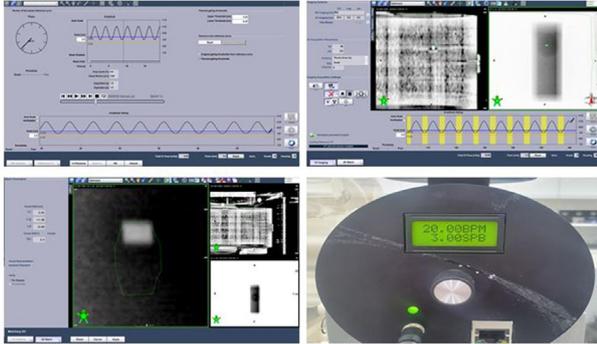


Fig. 4. Trigger mode image acquisition with RPM(Realtime Positioning Management) system

1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm 위쪽 문턱 값(Upper threshold)까지의 차이는  $0.68 \pm 0.07$  mm,  $0.98 \pm 0.04$  mm,  $1.19 \pm 0.03$  mm,  $1.43 \pm 0.03$  mm,  $1.65 \pm 0.02$  mm이며 평균값을 2일차의 기준 값으로 설정하였다.

### 3) 3일차 기준 값 측정결과

기준 호흡 속도 20 bpm에서 최고 위상으로부터 각각 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm 위쪽 문턱 값(Upper threshold)까지의 차이는  $0.7 \pm 0.03$  mm,  $0.85 \pm 0.05$  mm,  $1.22 \pm 0.03$  mm,  $1.34 \pm 0.04$  mm,  $1.68 \pm 0.03$  mm이며 평균값을 3일차의 기준 값으로 설정하였다 [Table 3],[Fig. 5].

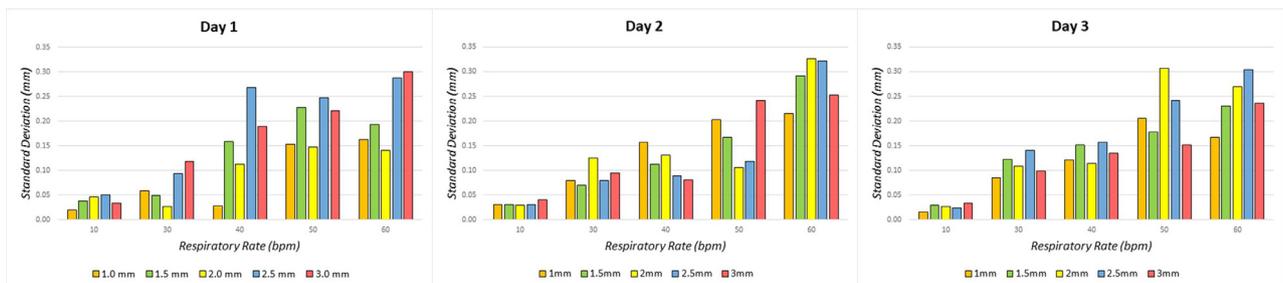


Fig. 5. Standard Deviation with Respiratory Rate

## 2. 기준 호흡 속도(20 bpm) 대비 호흡 속도 변화에 따른 측정 결과

1일차의 1.5 mm 위쪽 문턱 값(Upper threshold)에서는 50 bpm의 호흡 속도에서의 절대 차이(AD)를 제외한 모든 위쪽 문턱 값(Upper threshold)에서의 절대 차이(AD)는 60 bpm 호흡 속도가 가장 컸다. 최대 절대 차이(AD)의 경우 1일차, 2일차, 3일차 모두 3 mm 위쪽 문턱 값(Upper threshold)에서 가장 컸으며, 평균  $0.81 \pm 0.08$  mm 차이로 확인되었다.

### 1) 측정 결과에 대한 상관관계

1일차에서 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm 문턱 값(Threshold)에서 결정계수 R2는 각각 0.680, 0.807, 0.752, 0.859, 0.945로 확인되었다.

2일차에서 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm 문턱 값(Threshold)에서 결정계수 R2는 각각 0.956, 0.877, 0.714, 0.724, 0.823로 확인되었다.

3일차에서 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm 문턱 값(Threshold)에서 결정계수 R2는 각각 0.878, 0.977, 0.843, 0.967, 0.950로 확인되었다[Table 3].

### 2) 측정 결과에 대한 차이유의

1일차, 2일차, 3일차의 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm 문턱 값(Threshold) 모든 변수에서 p-value는 설정 유의수준 0.05 이하로 차이유의를 확인하였다[Table 3],[Fig. 5].

## 고찰 및 결론

본 연구에서는 호흡동조방사선치료를 위한 Trigger mode를 이용한 영상 획득 시의 유용성과 호흡 속도에 따른 Trigger

mode의 정확성을 평가하고자 하였다. 결과적으로, 일반적인 호흡속도에서의 획득한 영상의 유용성은 확인되었으나 호흡 속도가 빨라질수록 영상 획득의 오차가 있음을 확인하였다. 즉, 빠른 호흡 속도는 잘못된 영상유도(Image Guidance)로 이어질 수 있으며, 선량전달 시 오차가 발생할 수 있다. 호흡 속도에 따른 선량전달의 부정확성과 오차 발생에 대한 연구는 이미 선행되었으며<sup>3)</sup>, 특히, 한 번에 고선량이 전달되는 정위체부방사선치료(Stereotactic Body Radiation Therapy, SBRT) 시 치명적인 합병증(Complication)을 초래할 수 있는 선량 차이(Dose Difference)가 발생할 수 있다. 본 연구는 실제 환자 호흡의 벡터(Vector) 움직임이 아닌 축 방향(Superior Inferior, S-I) 움직임만을 반영하였다는 제한점이 있다. 또한, 호흡동조방사선치료를 위한 Trigger mode가 실제 환자에게 적용되는 경우 호흡 속도뿐만 아니라 혈류속도, 심장박동, 근육 및 장의 움직임 등 오차를 발생시키는 여러 가지 변수가 있다.<sup>14)</sup>

본 연구는 팬텀 연구(Phantom Study)로 한정되기 때문에 앞서 언급한 오차들이 배제되었다는 제한점이 있다. 본 연구를 토대로 실제 호흡동조방사선치료를 위한 Trigger mode를 적용하는 환자의 사례(Case)를 선별하여 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이다. 향후 호흡동조방사선치료를 위한 Trigger mode를 이용하는 환자를 대상으로 하는 연구 시 기초자료 및 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

호흡동조방사선치료는 특정 호흡 위상(Phase) 혹은 주기(Amplitude)에서만 방사선을 조사함으로써 여지(Margin)를 최소화할 수 있는 발전된 치료방법이다. 특정 호흡 위상 혹은 주기에서 내부표적용적(ITV)을 설정하여 계획표적용적(PTV)을 설정하므로 전체 위상(Full phase)에서 정의한 계획표적용적보다 작은 용적이 설정된다. 결과적으로, 정상장기에 들어가는 조사 면적이 줄어 정상세포 부작용확률(Normal Tissue Complication Probability,

**Table 3.** Measurement data from reference respiratory rate(20 bpm)

Day 1								
bpm*	Ref (20)	10 (< Ref) (mm)	30 (> Ref) (mm)	40 (> Ref) (mm)	50 (> Ref) (mm)	60 (> Ref) (mm)	R2 †	p-value (<0.05)
1.0	0.66	0.54±0.02	0.83±0.06	1.07±0.03	0.99±0.15	1.36±0.16	0.680	0.00
1.5	0.90	0.84±0.04	1.11±0.05	1.26±0.16	1.45±0.23	1.42±0.19	0.807	0.00
2.0	1.27	1.09±0.05	1.45±0.03	1.54±0.11	1.64±0.15	1.93±0.14	0.752	0.00
2.5	1.50	1.36±0.05	1.61±0.09	1.79±0.27	1.90±0.25	2.13±0.29	0.859	0.00
3.0	1.66	1.49±0.03	1.81±0.12	1.89±0.19	2.08±0.22	2.47±0.3	0.945	0.00
Day 2								
1.0	0.68	0.53±0.03	0.70±0.08	1.06±0.16	1.21±0.20	1.35±0.21	0.956	0.00
1.5	0.98	0.80±0.03	0.96±0.07	1.21±0.11	1.34±0.17	1.60±0.29	0.877	0.00
2.0	1.19	1.08±0.03	1.38±0.13	1.40±0.13	1.43±0.11	1.71±0.33	0.714	0.00
2.5	1.43	1.33±0.03	1.57±0.08	1.69±0.09	1.94±0.12	2.14±0.32	0.724	0.00
3.0	1.65	1.51±0.04	1.73±0.09	1.89±0.08	2.19±0.24	2.36±0.25	0.823	0.00
Day 3								
1.0	0.7	0.54±0.02	0.79±0.08	1.06±0.12	1.15±0.21	1.37±0.17	0.878	0.00
1.5	0.85	0.81±0.03	1.16±0.12	1.37±0.15	1.26±0.18	1.61±0.23	0.977	0.00
2.0	1.22	1.12±0.03	1.25±0.11	1.42±0.11	1.68±0.31	1.94±0.27	0.843	0.00
2.5	1.34	1.33±0.02	1.55±0.14	1.67±0.16	2.02±0.24	2.24±0.30	0.967	0.00
3.0	1.68	1.53±0.03	1.79±0.10	2.04±0.13	2.21±0.15	2.58±0.24	0.950	0.00

\*breath per minute(bpm), †Threshold(T), ‡Coefficient of Determination(R<sub>2</sub>)

NTCP)을 줄일 수 있게 된다. 이러한 호흡동조방사선치료를 위해 선량 전달의 품질관리(Delivery QA) 및 치료 전 영상유도(Image Guidance) 등의 과정이 필요하며, 그 중요성은 많이 알려져 있다. 본 연구에서는 호흡동조방사선 치료 시 Trigger mode를 이용하여 영상유도를 할 경우 일반적인 호흡에서의 획득한 영상의 유용성은 확인 할 수 있었으나 호흡 속도에 따른 부정확성(Uncertainty)이 발생할 수 있다는 것을 알 수 있었으며 특히, 기준 호흡 속도 대비 느려지는 경우(< 20 bpm)보다 빨라지는 경우(> 20 bpm) 영상획득에 대한 부정확성은 커졌다. 즉, 빠른 호흡 속도는 부정확한 영상유도로 이어져 실제 선량 전달 구간에서 부정확한 선량전달로 이어질 수 있다는 의미로 해석된다. 내부 여지를 줄여 호흡동조방사선치료의 최선의 이득(Benefit)을 위해 모의치료 시 빠른 호흡을 선별하거나 또는 빠른 호흡을 유지하기 위한 호흡교육과 치료 중 적극적인 실시간 모니터링(Monitoring)이 필요하다고 사료된다. 또한, 환자가 긴장을 하여 호흡이 빨라지거나, 서두르는 경우 충분한 설명과 진정이 필요하다고 사료된다.

## 참고문헌

- 1) Danieal Letourmeau, John W. Wong, Mark Oldham, Misbah Gulam, Lindsay Watt, et al. : Cone-beam-CT guided radiation therapy: technical implementation, European Society of Radiotherapy and Oncology. 2005;75(3):279-86.
- 2) Joep C. Stroom, Ben J.M. Heijmen : Geometrical uncertainties, radiotherapy planning margins, and the ICRU-62 report. Radiotherapy and Oncology. 2002;64:75-83.
- 3) Jae Hong Jung, Kwang Hwan Cho, Jeong Woo Lee, Min Joo Kim, Kwang Chae Lim, Seong Kwon Moon, et al : Evaluation of Setup Errors for Tomotherapy Using Differently Applied Vacuum Compression with the Bodyfix Immobilization System. : PROGRESS in MEDICAL PHYSICS. 2011;22(2):72-8.
- 4) Mian Xi, Meng-ZhongLiu, Xiao-Wu Deng, Li Zhang, Xiao-Yan Huang, Hui Liu, et al. : Defining internal target volume(ITV) for hepatocellular carcinoma using four-dimensional CT. Radiotherapy and Oncology. 2007;84(3):272-8.
- 5) T.Landberg, J. Chavaudra, J.Dobbs, J.-P. Gerard, G.Hanks, J. -C.Horiot, et al. : ICRU Report 62: Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy (Supplement to ICRU Report 50).Journal of the International Commission on Radiation Units and Measurements. 1999;32(1).
- 6) Park hyun jun, Bae sun myeong, Baek geum mun, Kang tae young, Seo dong rin : The variability of tumor motion and respiration pattern in Stereotactic Body RadioTherapy(SBRT) for Lung cancer patients. The Journal of korean society for radiation therapy 2016;28(1):17-25.
- 7) Christel Smith, Santa Barbara, Corey Zankowski, San Jose, Jan Hein Timmer, Los Altos, et al. : Triggered Treatment System and Methods. US010183179B1. 2019
- 8) Marc A. Russo, Danielle M. Santarelli, Dean O'Rourke. : The physiological effects of slow breathing in the healthy human. : Breathe(Sheff). 2017;13(4):298-309.
- 9) Oldrini G, Taste-George H, Renard-Oldrini S, Baumann AS, Marchesi V, Troufléau P, et al. : Implantation of fiducial markers in the liver for stereotactic body radiation therapy. : Feasibility and results. Diagnostic Interv Imaging. 2015;96(6):589-92.
- 10) A. Sam Beddar : Correlation between internal fiducial tumor motion and external marker motion for liver tumores imaged with 4D-CT. International Journal of Radiation Oncology and Biology and Physics. 2008;67:630-8.

- 11) YOON KYOUNG JUN, Jungwon Kwak, Cho Byung-Chul, Song Si Yeol, Sang-wook Lee, AHN SEUNG-DO, et al. : Development of New 4D Phantom Model in Respiratory Gated Volumetric Modulated Arc Therapy for Lung SBRT. PROGRESS in MEDICAL PHYSICS. 2014;25(2):100-9.
- 12) Chengyu, Shi Xiaoli, Tang Maria Chan : Evaluation of the new respiratory gating system. Prec. Radiat. Oncol. 2017;1:127-33.
- 13) Soo Dong Jeon, Sun Myung Bae, In Ha Yoon, Tae Young Kang, Geum Mun Baek : Dose verification for Gated Volumetric Modulated Arc Therapy according to Respiratory period. The Journal of Korean society for radiation therapy 2014 ; 26(1) : 137-47
- 14) Eric E. Klein, Robert E. Drzymala, James A. Purdy, Jeff Michalski : Errors in radiation oncology : A study in pathways and dosimetric impact. Journal of applied clinical medical physics, 2005;6:81-94.

# Evaluation of the Accuracy and usability of Trigger mode in Respiratory Gated Radiation Therapy

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

**Park je wan, Kim min su, Um ki cheon, Choi seong hoon, Song heung kwon, Yoon in ha**

**Purpose :** The purpose of this study is to evaluate the accuracy and usefulness of the Trigger mode for the Respiratory Gated Radiation Therapy (RGRT)

**Materials and methods :** A QUASAR respiratory phantom that inserted a 3 mm fiducial marker (a gold marker) was used to estimate the accuracy of the Trigger mode. And the 20 bpm was used as reference respiration rate in this study. The marker that placed at the center of the phantom was contoured, and the lower threshold of a gating window was fixed at 2.0 mm using an OBI with Truebeam STx™. The upper threshold was measured every 0.5 mm from 1.0 mm to 3.0 mm. The respiration rates were changed every 10 bpm from 10 bpm to 60 bpm. We repeatedly measured five times to check the error rate of the trigger mode in the same condition.

**Result :** The differences of a distance from a peak phase to upper threshold, 1.0 to 3.0 mm at a 20 bpm as a reference for 3 days in a row were  $0.68 \pm 0.05$  mm,  $0.91 \pm 0.03$  mm,  $1.23 \pm 0.03$  mm,  $1.42 \pm 0.04$  mm, and  $1.66 \pm 0.06$  mm, respectively. Measurement result of changes in respiratory rate compared to baseline respiratory rate in maximum absolute difference. The coefficient of determination (R<sup>2</sup>) to estimate the correlation between the respiration velocity and variation of absolute difference was on average 0.838, 0.887, 0.770, 0.850, and 0.906. The p-values of all the variables were below 0.05.

**Conclusion :** Using Trigger mode during respiratory gated radiation therapy (RGRT), accuracy and usefulness of trigger mode at reference breathing rate were confirmed. However, inaccuracies depending on the rate of breathing it could be uncertain in case of respiration rate is faster than 20 bpm as a standard respiration rate compared to slower than 20 bpm. Consequently, when conducting a RGRT using the trigger mode, real time monitoring is required with well educated respiration.

▶ **Key words :** Respiratory Gated Radiation Therapy(RGRT), Trigger mode, Respiratory Rate, Phantom Study