

예측 불가능한 호흡 변화에 따른 사이버나이프 종양 추적 방사선 치료의 정확도 분석

인하대학교병원 방사선종양학과

서정민 · 이창열 · 허현도 · 김완선

목적 : 사이버나이프 종양 추적 시스템(Cyber-knife tumor tracking system)은 환자 외부에 부착한 LED marker에서 얻어진 실시간 호흡 주기 신호와 호흡에 따라 움직이는 종양의 위치와의 상관관계를 바탕으로 종양의 위치를 미리 예측하고 종양의 움직임을 치료기와 동기화(Synchronize)시켜 실시간으로 종양을 추적하며 치료하는 시스템이다. 본 연구의 목적은 사이버나이프 종양 추적 방사선 치료 중 기침이나 수면 등으로 인해 예측 불가능한 갑작스러운 호흡 형태 변화에 따른 종양 추적 방사선 치료 시스템의 정확도를 평가하고자 한다.

대상 및 방법 : 연구에 사용된 호흡 Log 파일은 본원에서 호흡 동조 방사선치료(Respiratory gating radiotherapy)나 사이버나이프 호흡 추적 방사선 수술(Cyber-knife tracking radiosurgery)을 받았던 환자의 호흡 Log 파일을 바탕으로, 정현곡선 형태(Sinusoidal pattern)와 갑작스런 변화 형태(Sudden change pattern)의 Log 파일을 이용하여 측정이 가능하도록 재구성하였다. 재구성된 호흡 Log 파일을 사이버나이프 동적 흉부 팬텀에 입력하여 호흡에 따른 움직임을 구현할 수 있도록 기존 동적 흉부 팬텀의 구동장치를 추가 제작하였고, 호흡의 형태를 팬텀에 적용시킬 수 있는 프로그램을 개발하였다. 팬텀 내부 표적(Ball cube target)의 움직임은 호흡의 크기에 따라 상하(Superior-Inferior)방향으로 5 mm, 10 mm, 20 mm 3 가지 크기의 변위로 구동하게 하였다. 팬텀 내부 표적에 EBT3 필름 2장을 교차 삽입하여 표적 움직임의 변화에 따라 사이버나이프 제조사에서 제공된 End-to-End(E2E) test를 호흡의 형태에 따라 각각 5회씩 실시하고 측정하였다. 종양 추적 시스템의 정확도는 삽입된 필름을 분석하여 표적 오차(Targeting error)로 나타내었고, 추가로 E2E test가 진행되는 동안 상관관계 오차(Correlation error)를 측정하여 분석하였다.

결과 : 표적 오차는 정현곡선 호흡 형태일 경우 표적 움직임의 크기가 5 mm, 10 mm, 20 mm 에 따라 각각 평균 1.14 ± 0.13 mm, 1.05 ± 0.20 mm, 2.37 ± 0.17 mm이고, 갑작스런 호흡 변화 형태일 경우 각각 평균 1.87 ± 0.19 mm, 2.15 ± 0.21 mm, 2.44 ± 0.26 mm으로 분석되었다. 표적 추적에 있어 변위 벡터의 길이로 정의할 수 있는 상관관계 오차는 정현곡선 호흡 형태일 경우 표적 움직임의 크기가 5 mm, 10 mm, 20 mm 에 따라 각각 평균 0.84 ± 0.01 mm, 0.70 ± 0.13 mm, 1.63 ± 0.10 mm이고, 갑작스런 호흡 변화 형태일 경우 각각 평균 0.97 ± 0.06 mm, 1.44 ± 0.11 mm, 1.98 ± 0.10 mm으로 분석되었다. 두 호흡 형태에서 모두 상관관계 오차 값이 클수록 표적 오차 값이 크게 나타났다. 정현곡선 호흡 형태의 표적 움직임 크기가 20 mm 이상일 경우, 두 오차 값 모두 사이버나이프 제조사의 권고치인 1.5 mm 이상으로 측정되었다.

결론 : 표적 움직임의 크기가 클수록 표적 오차 값과 상관관계 오차 값이 증가하는 경향이 있었으며, 정현곡선 호흡 형태보다 갑작스런 호흡 변화 형태에서 오차 값이 크게 나타났다. 호흡의 형태가 규칙적인 정현 곡선 형태더라도 표적의 움직임이 클수록 종양 추적 시스템의 정확도가 감소하는 것으로 판단할 수 있다. 사이버나이프 종양 추적 시스템의 알고리즘을 이용하여 치료 시행 시 환자의 기침 등으로 인하여 갑작스럽게 예측 불가능한 호흡 변화가 있는 경우 치료를 멈추고 내부 표적 확인 과정을 재실시 하여야 하며 호흡 형태를 재조정해야 할 필요가 있다. 치료 중 환자가 본인의 호흡 형태를 관찰 할 수 있는 고글 모니터 등을 착용하여 규칙적인 호흡 형태를 유도하는 것이 치료의 정확도는 향상될 수 있다고 판단된다.

핵심용어 : 사이버나이프, 종양 추적 시스템, 표적 오차, 상관관계 오차

서론

방사선 치료의 목적은 종양에는 최적의 선량을 조사해서 종양 제어 확률(Tumor Control Probability)을 높이고, 주변

건강조직에는 최소한의 선량을 조사하여 정상조직 합병증 확률(Normal Tissue Complication Probability)을 낮춰서 방사선 치료효율 (Therapeutic Ratio)을 극대화 시키는 것이라 할 수 있다. 컴퓨터 및 치료 장비, 기술의 급속한 발전으로 세기조절 방사선치료(IMRT)^{1,2)}, 영상유도 방사선치료(IGRT)³⁾ 등 다양한 방법의 방사선 치료기법들이 임상에 적용되어 종양에는 고 선량을 집중 조사하고, 정상조직에는 최소한의 선량을 조사하고 있다. 치료기술의 발전과 더불어

본 논문은 2015년 10월 02일 접수하여 2015년 12월 09일 채택되었음.

책임저자 : 서정민, 인하대학교병원 방사선종양학과
인천시 중구 신흥동3가 7-206번지, 22332
Tel : 032) 890-3070
E-mail : mediradio@naver.com

어, 정상조직 합병증 확률에 대한 관심 또한 높아졌다. 흉부 및 복부에 위치한 종양은 호흡에 따라 움직이기 때문에 이를 보상해주지 않으면 결과적으로 정상조직은 많은 선량을 조사받게 된다^{4,5)}. 따라서 호흡을 고려한 방사선 조사의 정확성을 높이고 종양의 움직임에 따른 치료 오차를 줄이는 치료 기법들이 필요하게 된다. 환자의 호흡에 따른 종양의 위치 정보를 획득하여 실제 치료에도 호흡에 따른 종양의 위치를 치료에 적용하는 호흡 연동 방사선치료(Respiration gating radiotherapy) 시스템^{6,7)}을 이용하거나, 호흡 추적 방사선치료(Respiration tracking radiotherapy) 시스템^{8,9)}을 이용하여 호흡에 의한 방사선 치료의 정확성을 높이고 있다. 그러나 이러한 치료 시스템의 정확성은 기본적으로 환자의 호흡이 치료시간동안 안정적으로 일정하다는 전제하에 성립되는 것이다. 하지만 실제 치료시간 동안 환자의 호흡은 갑작스러운 기침이나 수면 등으로 인하여 항상 안정적이지 않으며, 호흡의 형태 또한 일정하지 않다¹⁰⁾.

따라서 본 연구의 목적은 외부 호흡의 형태를 바탕으로 종양의 위치를 미리 예측하고 실시간 종양의 위치를 추적하는 본원의 사이버나이프 종양 위치 추적 방사선 치료 시스템을 이용하여, 치료 중 예측 불가능한 호흡 변화에 따른 사

이버나이프 종양 위치 추적 방사선 치료 시스템의 정확도를 평가하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

1) 호흡 Log 파일

본 연구에 사용된 외부 호흡 형태는 본원에서 호흡 연동

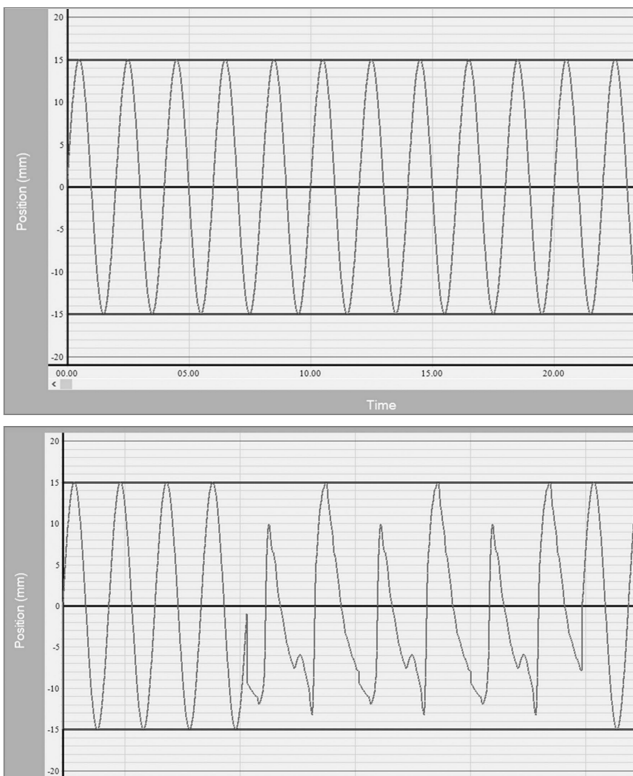


Fig 1. The reconstructed respiratory log file

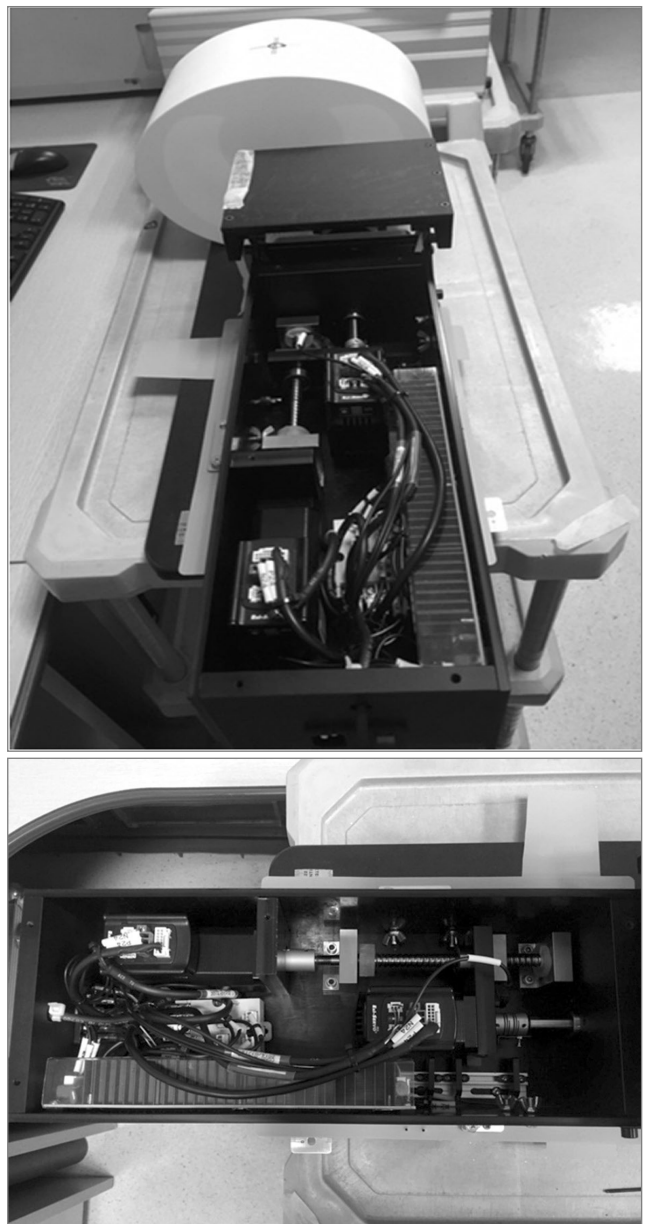


Fig 2. Construction of moving phantom

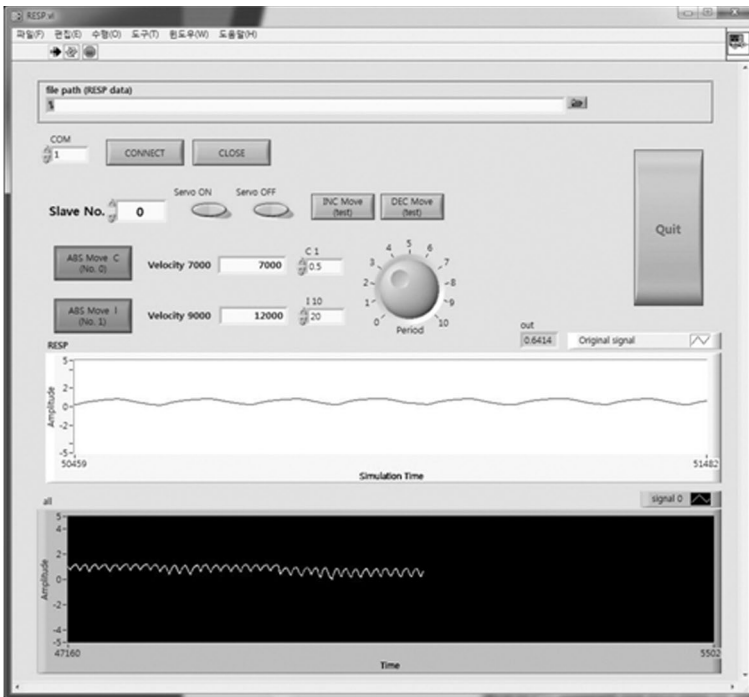


Fig 3. Implementation program of moving phantom

방사선치료(Respiratory Gating Radiation Therapy, RGRT) 및 사이버나이프 종양 추적 방사선치료(Cyber-knife Tracking Radiation Therapy) 를 받았던 환자의 호흡 Log 파일을 분석하였다. 호흡 형태는 안정되고 규칙적인 형태와 여러 형태의 불규칙한 호흡 형태로 분류되었고, 분류된 호흡 Log 파일을 QUASAR phantom software를 이용하여 팬텀에 적용 시킬 수 있도록 재구성하였다. 안정되고 규칙적인 호흡 형태를 정현곡선 호흡 형태(Sinusoidal Pattern, SP)라 하였고, 여러 가지 불규칙적인 호흡 형태를 예측 불가능한 갑작스런 호흡변화 형태(Sudden Change Pattern, SCP)라 하였다(그림 1).

2. 연구 방법

1) 사이버나이프 종양 위치 추적 시스템

사이버나이프는 6축의 관절을 갖는 로봇 팔에 장착되어 있는 에너지 6 MV X-선이 방출되는 선형가속기와 6차원적 공간 좌표의 종양 위치 추적이 가능한 위치 인식 시스템으로 구성되어 있다. 실시간 종양 위치 추적은 환자 외부의 LED 마커(Marker)에서 얻어진 실시간 호흡 신호와 호흡에 따라 움직이는 종양 위치와의 상관관계를 바탕으로 이루어진다. 종양의 움직임은 신호처리 알고리즘(Adaptive filters

signal processing algorithm)을 사용하여 예상한다¹¹⁾. 이 알고리즘은 외부 마커와 내부 종양의 위치를 측정결합을 이용하고 시간에 따라 계속해서 변화되는 신호계수를 관찰하여 적용한다. 호흡에 따른 표적 움직임을 0.5초까지 예상할 수 있고 방사선의 즉각적인 재배치(Beam realignment)와 실시간 동조(Real-time synchronization)를 할 수 있도록 한다. 사이버나이프 로봇이 종양을 추적하는 시간지연은 약 115 ms으로 이를 보상하기 위해서 실시간 외부 호흡 신호 예상 값을 모델로 로봇은 115 ms 먼저 움직여 종양을 추적하게 된다^{12,13,14)}.

2) 동적 흉부 팬텀

분류한 호흡 파일을 사이버나이프 동적 흉부 팬텀(CIRS, Accuray, USA)에 입력하여 표적 움직임을 구현 할 수 있도록 작동장치와 프로그램을 개발하였다. 사이버나이프 제조사인 Accuray에서 제공된 기존의 동적 흉부 팬텀은 호흡에 따라 팬텀 내부의 원통 타겟 움직임이 상하(Superior-Inferior)방향의 일정한 크기만으로 움직이도록 설계되어 있어서 실제 환자 호흡에 따른 복잡한 움직임과 환자 호흡 크기에 따른 타겟 움직임의 크기를 구현 할 수 없었다. 그래서 팬텀 내부의 원통 타겟이 상하 방향 움직임 이외에 추가로 회전(rotation)이 가능하도록 [그림 2] 과 같이 작동장치

를 변형 제작 하였고, Lab-view 프로그램 [그림 3] 을 이용하여 타겟의 복잡한 움직임과 움직임의 크기를 변화 시킬 수 있도록 하였다.

3) 영상획득 및 치료계획

본 연구의 동적 흉부 팬텀 영상 획득은 [그림 4] 와 같이 CT scanner (Light speed 16 channel RT, GE, USA)를 이용하여 절편 두께 (Slice thickness) 0.625 mm로 전산화 단층 촬영하였다. 치료계획은 동적 흉부 팬텀 내의 Ball cube에 지름 10 mm의 구형을 표적(Target)으로 정하고, 사이버나이프 제조사의 치료계획 시스템인 Multiplan (ver. 2.2.0)을 이용하여 표적 체적의 95%를 Coverage 하도록 치료계획을 수립하였다.

4) 측정 및 분석

종양추적 시스템의 정확도를 측정하기 위해 동적 흉부 팬텀 내부 표적에 EBT3 필름 2장을 교차 삽입하고[그림 5], 호흡 형태에 따라 움직이는 평평한 부분에 3개의 LED marker 를 부착해서 적외선 카메라가 인식할 수 있도록 정렬하였다 [그림 6]. 분석한 각 호흡 형태를 Lab-view 프로그램을 통해 제작한 구현 프로그램을 이용하여 팬텀에 적용시켜 외부 호흡 형태에 대하여 표적 움직임의 변화에 따라 사이버나이프 제조사에서 제공된 End-to-End(E2E) test를 호흡 형태에 따

라 각각 5회씩 실시하고 측정하였다. 동적 흉부 팬텀에 부착한 LED marker의 움직임은 전후(Anterior-Posterior, AP) 방향의 일정한 속도로 움직이게 하였고, 팬텀 내부 표적 (Ball cube target)의 움직임은 호흡의 형태에 따라 각각 상하(Superior-Inferior, SI) 방향으로 5 mm, 10 mm, 20 mm 3가지 크기의 변위로 구동하여 연구를 진행하였다. 종양 추적 시스템의 정확도는 사이버나이프 제조사에서 제공된 E2E test 필름 분석 프로그램을 이용하여 팬텀에 삽입된 필름을 분석 [그림 7] 하고 표적 오차(Targeting error)로 나타 내었다. 추가로 E2E test가 진행되는 동안 상관관계 오차 (Correlation error)를 측정하여 분석하였다.

결 과

표적 오차 및 상관관계 오차

표적 오차(Targeting error)는 정현곡선 호흡 형태일 경우 표적(Ball cube target) 움직임의 크기가 5 mm, 10 mm, 20 mm 에 따라 각각 평균 1.14 ± 0.13 mm, 1.05 ± 0.20 mm, 2.37 ± 0.17 mm이고, 갑작스런 호흡 변화 형태일 경우 각각 평균 1.87 ± 0.19 mm, 2.15 ± 0.21 mm, 2.44 ± 0.26 mm으로 분석되었다[표 1]. 표적 추적에 있어 변위 벡터의 길이로 정

Table 1. Results of targeting error for two breathing pattern.

Breathing pattern	No.	Targeting error (mm)		
		S-I motion		
		5 mm	10 mm	20 mm
Sinusoidal pattern	1	1.12	0.99	2.37
	2	1.11	1.12	2.29
	3	1.27	1.10	2.19
	4	1.16	0.94	2.40
	5	1.04	1.10	2.60
평균값		1.14 ± 0.13	1.05 ± 0.20	2.37 ± 0.17
Sudden change pattern	1	1.80	2.01	2.31
	2	1.79	2.18	2.46
	3	1.86	2.21	2.48
	4	1.90	2.29	2.36
	5	2.00	2.06	2.59
평균값		1.87 ± 0.19	2.15 ± 0.21	2.44 ± 0.26

Table 2. Results of correlation error for two breathing pattern.

Breathing pattern	No.	Correlation error (mm)		
		S-I motion		
		5 mm	10 mm	20 mm
Sinusoidal pattern	1	0.78	0.62	1.51
	2	0.90	0.80	1.73
	3	0.87	0.72	1.69
	4	0.81	0.73	1.55
	5	0.83	0.60	1.67
평균값		0.84 ± 0.01	0.70 ± 0.13	1.63 ± 0.10
Sudden change pattern	1	0.99	1.21	2.02
	2	1.02	1.52	2.01
	3	1.04	1.40	1.99
	4	0.85	1.48	1.86
	5	0.95	1.59	2.02
평균값		0.97 ± 0.06	1.44 ± 0.11	1.98 ± 0.10

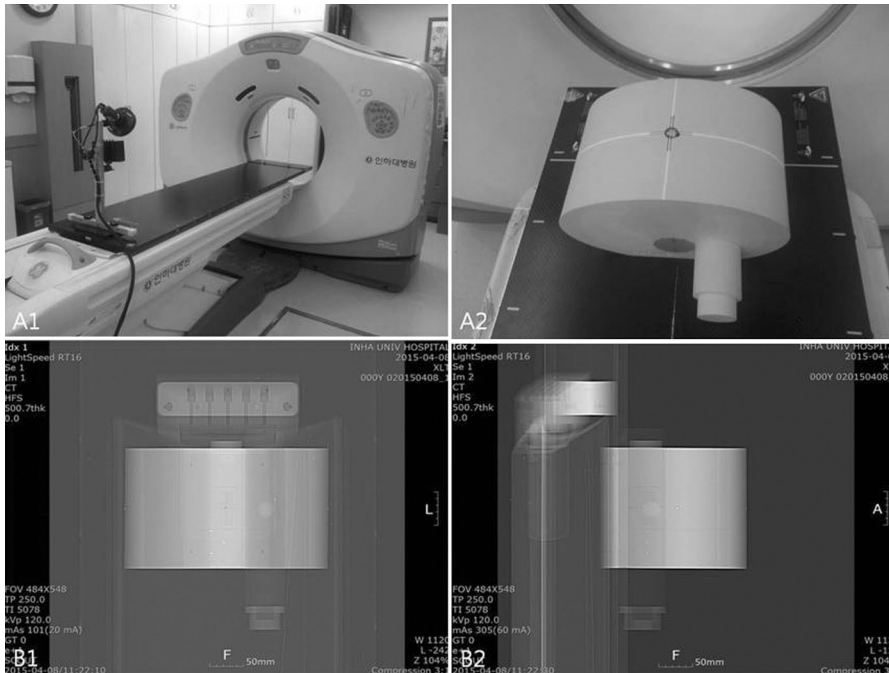


Fig 4. Phantom image acquisition with CT

의할 수 있는 상관관계 오차(Correlation error)는 정현곡선 호흡 형태(Sinusoidal pattern)일 경우 표적 움직임의 크기가 5 mm, 10 mm, 20 mm 에 따라 각각 평균 0.84 ± 0.01 mm, 0.70 ± 0.13 mm, 1.63 ± 0.10 mm이고, 갑작스런 호흡 변화 형태(Sudden change pattern)일 경우 각각 평균 0.97

± 0.06 mm, 1.44 ± 0.11 mm, 1.98 ± 0.10 mm으로 분석되었다[표 2].

상관관계 오차 값이 클수록 표적 오차 값이 커지는 경향을 보였다(그림 8). 각 호흡 형태에서 표적 움직임의 크기가 클수록 표적 오차 값이 증가하는 경향이 있었으며, 정현

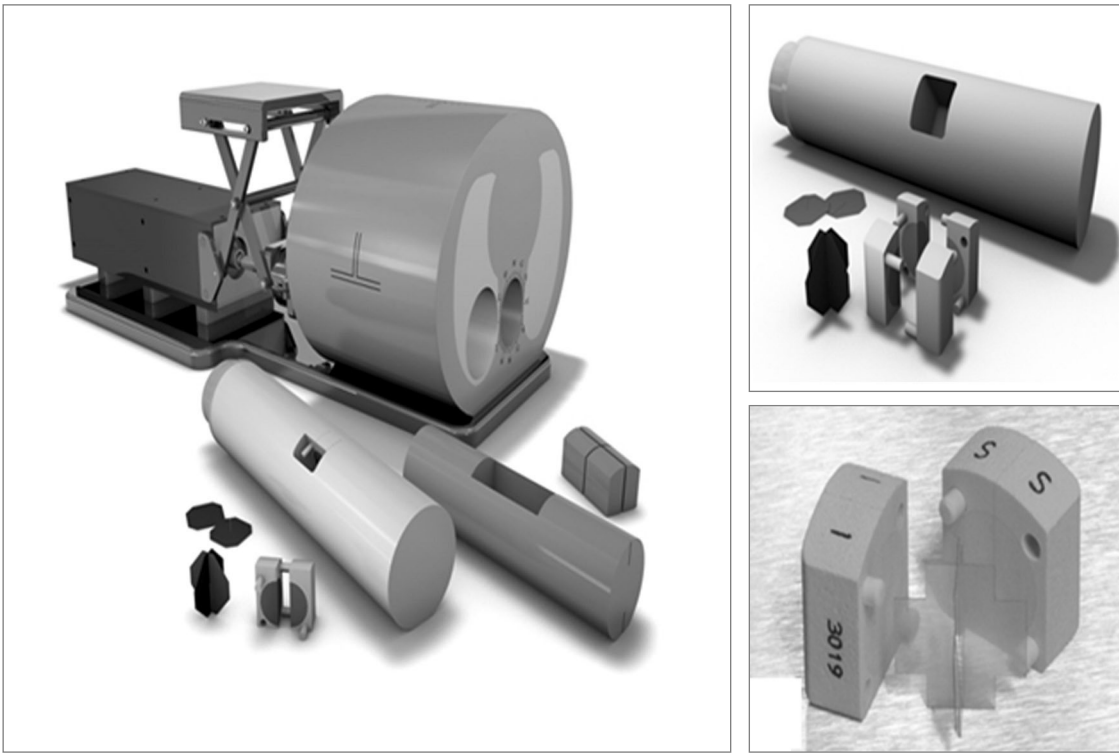


Fig 5. Accuray SIRS Xsight® Lung tracking 4D planning phantom

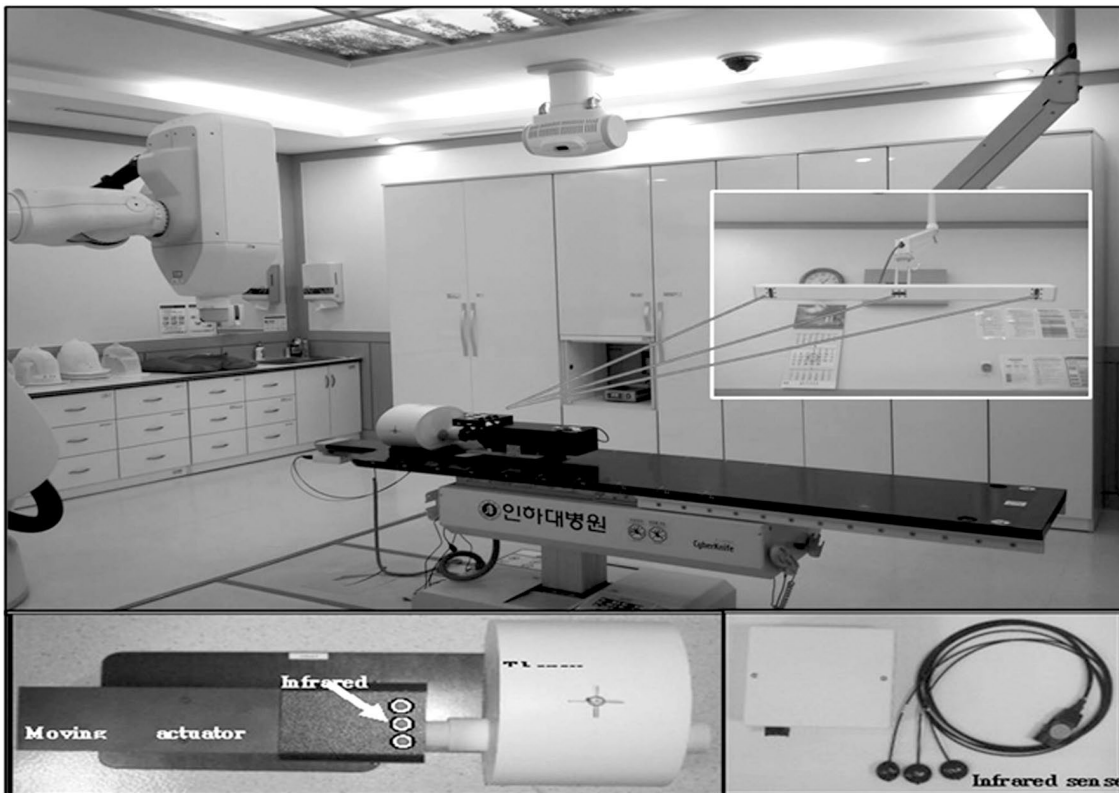


Fig 6. Setup of moving thoracic phantom on the couch in the treatment room.

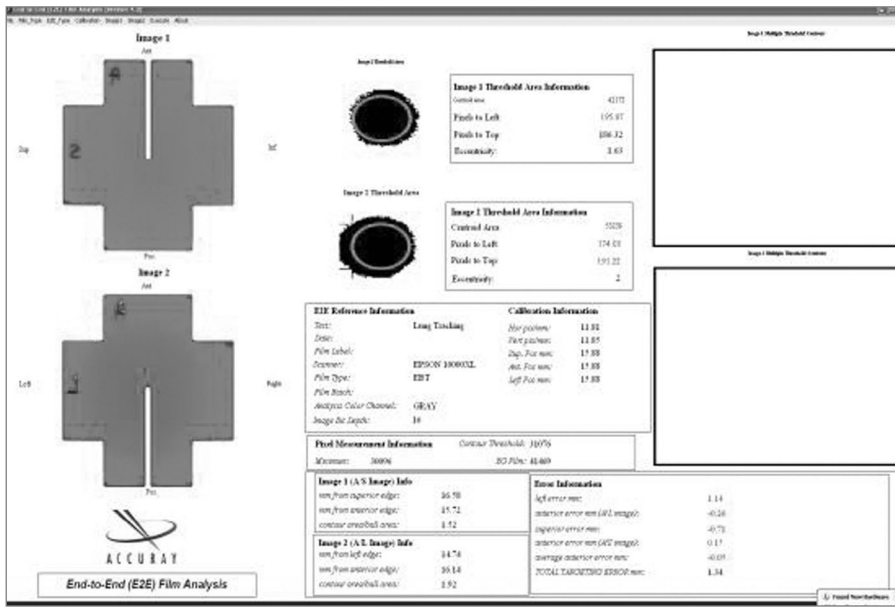


Fig 7. Accuray End-to-End film analysis program

곡선 호흡 형태보다 갑작스런 호흡 변화 형태의 표적 오차 값이 크게 측정되었다. 정현곡선 호흡 형태의 표적 움직임 크기가 10 mm 미만을 제외한 경우 제조사 권고치 1.5 mm 이상으로 측정되었다. 그러나 갑작스런 호흡 변화 형태의 경우에는 표적의 움직임 크기에 상관없이 1.5 mm 이상의 표적 오차로 측정되었다(그림 9).

고찰 및 결론

사이버나이프 방사선수술(Cyber-Knife radiosurgery)처럼 고 선량의 근치적 방사선치료에서는 치료 부위에만 정확하게 방사선이 전달되도록 하여 정상조직 합병증 확률을 낮추는 것은 무엇보다 중요하다. 사이버나이프 방사선치료 시스템의 정확도는 이미 여러 논문에서 보고 되었다. 뇌 중앙 수술의 정확도는 두개골 추적시스템(skull tracking

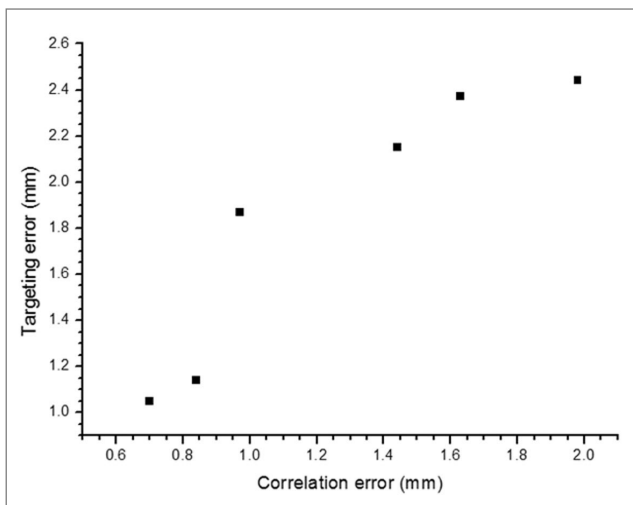


Fig 8. Comparison of targeting error and correlation error.

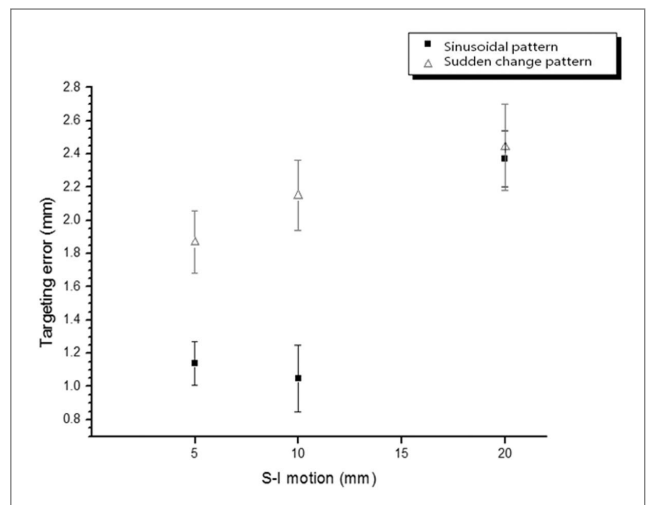


Fig 9. Targeting errors with breathing pattern at different S-I motion.

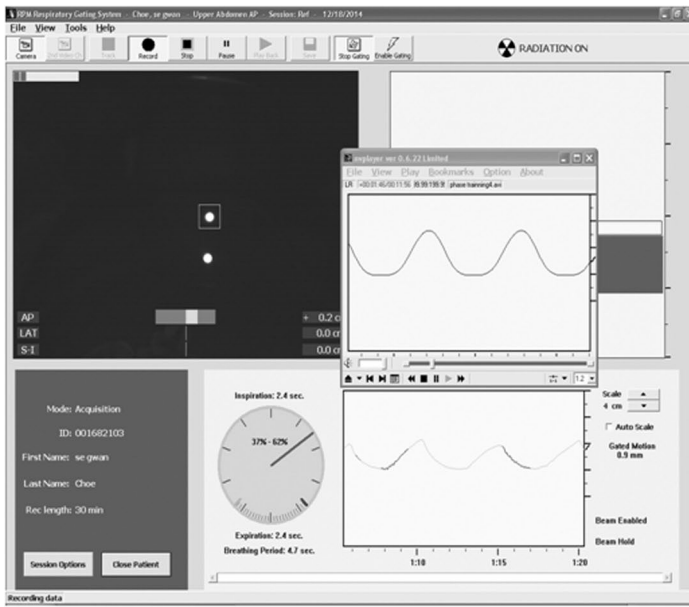


Fig 10. Goggle for real-time monitoring of breathing pattern

system)¹⁵⁾에서 영상유도를 통해 검증하였고, 척추 종양 수술의 정확도는 척추 추적시스템(Spine)^{16,17)}에서 종양 추적시스템의 정확도를 검증하였고, 호흡으로 인한 폐 종양 움직임의 추적 정확도는 내부 기준 마커 추적시스템¹⁸⁾을 이용해 검증하였다. 하지만 치료 부위 주변에 근접해 있는 정상 장기의 불수의적인 움직임과 호흡에 따라 움직이고 있는 종양인 경우는 사이버나이프 로봇이 치료 표적을 실시간으로 추적하여 정확한 방사선량을 조사하는지 검증하는 것은 매우 중요하다¹⁹⁾. 따라서 본 연구에서는 호흡 형태 Log 파일을 분석하고 분류하여, 정현곡선 호흡 형태와 예측 불가능한 갑작스런 변화 호흡 형태의 호흡 Log 파일을 사이버나이프 동적 흉부 팬텀에 적용시켜 갑작스럽게 변화되는 호흡 변화에 따른 사이버나이프의 호흡 종양 추적 치료시스템의 정확도를 평가하였다. 사이버나이프 종양 위치 추적 시스템의 정확도는 표적의 움직임이 작을수록, 호흡의 진폭이 작을수록 높은 것으로 분석되었다. 표적 움직임의 크기가 클수록 표적 오차 값과 상관관계 오차 값이 증가하는 경향이 있었으며, 정현곡선 호흡 형태보다 갑작스런 호흡 변화 형태에서 오차 값이 크게 나타났다. 호흡의 형태가 규칙적인 정현 곡선 형태이더라도 표적의 움직임이 클수록 종양 추적 시스템의 정확도가 감소하는 것으로 판단할 수 있다.

사이버나이프 종양 추적 시스템의 정확도는 외부 호흡 형태와 표적 움직임의 크기에 따라 차이가 크게 나타나 치료 결과에 큰 영향을 주게 된다. 그러므로 치료 전 안정적인 호

흡 형태를 갖추도록 사전 호흡교육을 시키고, 치료 중 환자의 기침 등으로 인하여 갑작스럽게 예측 불가능한 호흡 변화가 있는 경우 치료를 멈추고 내부 표적 확인 과정을 재실시 하여야 하며 호흡 형태를 재조정해야 할 필요가 있다. 또한 치료 중 환자가 본인의 호흡 형태를 관찰 할 수 있는 고글 모니터 등을 착용하여 규칙적인 호흡 형태를 유도하고 호흡의 크기를 적절히 유지한다면 치료의 정확도는 향상될 수 있다고 판단된다. 그리고 사이버나이프 치료 시 환자의 호흡과 종양의 움직임은 동조를 이루어야 하며, 환자의 호흡은 예측 가능하도록 안정되고 규칙적인 패턴을 이룰 때 치료의 효율성과 정확성이 향상 될 수 있다고 판단된다.

참고문헌

1. Lorraine Portelance, M.D.a, K.S.Clifford Chao, M.D.a: Intensity-modulated radiation therapy (IMRT) reduces small bowel, rectum, and bladder doses in patients with cervical cancer receiving pelvic and para-aortic irradiation, Radiat Oncol Biol Phys, Volume 51, Issue 1, 1 September 2001, Pages 261-266
2. Quiwen W, Radhe M: Algorithms and functionality of an intensity modulated radiotherapy optimization

- system, *Med phys* 27(4):701-711(2000)
3. Rikiya Onimaru, M.D. Hiroki Shirato, M.D., Shinichi Shimizu, M.D : Tolerance of organs at risk in small-volume, hypofractionated, image-guided radiotherapy for primary and metastatic lung cancers. *Radiat Oncol Biol Phys*, Volume 56, Issue 1, 1 May 2003, Pages 126-135
 4. Mageras GS, Pevsner A, Yorke ED, et al. Measurement of lung tumor motion using respiration-correlated CT. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2004;60:933-941.
 5. American Association of Physicists in Medicine (AAPM). The management of respiratory motion in radiation oncology, AAPM Task Group76, AAPM:2006.
 6. Kubo HD, Hill BC. Respiration gated radiotherapy treatment. A technical study. *Phys Med Biol* 1996;41:83-91
 7. S. S. Vedam¹, P. J. Keall², V. R. Kini² and R. Mohan²: Determining parameters for respiration-gated radiotherapy, *Med. Phys.* 28, 2139 (2001)
 8. Mischa Hoogeman, Jean-Briac Prevost: Clinical Accuracy of the Respiratory Tumor Tracking System of the CyberKnife. *Radiat Oncol Biol Phys*, Volume 74, Issue 1, 1 May 2009, Pages 297-303
 9. Hiroki S, Shinnichi S, Tatsuya K: Physical aspects of a real-time tumor-tracking system for gated radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Phys* 48(4):1187-1195 (2000)
 10. Dempsey JA, Smith CA, Harms CA, Chow C, Saupe KW: Sleep-induced breathing instability. University of Wisconsin-Madison Sleep and respiration Research Group. John Rankin Laboratory of Pulmonary Medicine, Department of Preventive Medicine, University of Wisconsin-Madison 53705, USA.[1996, 19(3):236-247]
 11. Jurgen W, Jurgen M, Kurt B, et al: Tumor tracking and motion compensation with and adaptive tumor tracking system(ATTs): system description and prototype testing. *Med Phys*, 35(9):3911-3921 (2008)
 12. Yvette Seppenwoolde^{1,a}), Ross I. Berbeco², Seiko Nishioka³, Hiroki Shirato⁴ and Ben Heijmen⁵: Accuracy of tumor motion compensation algorithm from a robotic respiratory tracking system: A simulation study, *Med. Phys.* 34, 2774 (2007)
 13. Eric W. Pepin¹, Huanmei Wu², Yuenian Zhang³ and Bryce Lord⁴: Correlation and prediction uncertainties in the CyberKnife Synchrony respiratory tracking system. *Med. Phys.* 38, 4036 (2011)
 14. Mischa H, Jean BP, Joost N, et al: Clinical accuracy of the respirator tumor tracking system of the Cyber-Knife: assessment by of log files. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 74(1):297-303 (2009)
 15. Donshan F, Gopinath K, Vladimir M, et al: Automated Skull Tracking for the Cyber-Knife image-guided radiosurgery system. *Proc. of SPIE* 5744:366-377 (2005)
 16. Cynthia C, Arjun S, Letitia L, et al: Effects of residual target motion for image-tracked spine radiosurgery. *Med phys* 34(11): 4484-4490 (2007)
 17. Iris CM, Pimkhuan K, Mi-Ryenong R, et al: Image-guided robotic radiosurgery for spinal metastases. *Radiotherapy and Oncology* 82:185-190 (2007)
 18. Mikado I, Kochi Y, Hiroki S, et al: Insertion and fixation of fiducial markers for setup and tracking of lung tumor in radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 63(5):1442-1447 (2005)
 19. Sohail Sayeh, James Wang, William T. Main, Warren Kilby, Calvin R. Maurer Jr.: Respiratory Motion Tracking for Robotic Radiosurgery, *Robotic Radiosurgery Chapter Treating Tumors that Move with Respiration* pp 15-29

Abstract

An accuracy analysis of Cyberknife tumor tracking radiotherapy according to unpredictable change of respiration

Department of Radiation Oncology, Inha university hospital, Incheon, Korea

Seo jung min, Lee chang yeol, Huh hyun do, Kim wan sun

Purpose : Cyber-Knife tumor tracking system, based on the correlation relationship between the position of a tumor which moves in response to the real time respiratory cycle signal and respiration was obtained by the LED marker attached to the outside of the patient, the location of the tumor to predict in advance , the movement of the tumor in synchronization with the therapeutic device to track real-time tumor, is a system for treating. The purpose of this study, in the cyber knife tumor tracking radiation therapy, trying to evaluate the accuracy of tumor tracking radiation therapy system due to the change in the form of unpredictable sudden breathing due to cough and sleep.

Materials and Methods : Breathing Log files that were used in the study, based on the Respiratory gating radiotherapy and Cyber-knife tracking radiosurgery breathing Log files of patients who received herein, measured using the Log files in the form of a Sinusoidal pattern and Sudden change pattern, it has been reconstituted as possible. Enter the reconstructed respiratory Log file cyber knife dynamic chest Phantom, so that it is possible to implement a motion due to respiration, add manufacturing the driving apparatus of the existing dynamic chest Phantom, Phantom the form of respiration we have developed a program that can be applied to. Movement of the phantom inside the target (Ball cube target) was driven by the displacement of three sizes of according to the size of the respiratory vertical (Superior-Inferior) direction to the 5 mm, 10 mm, 20 mm. Insert crosses two EBT3 films in phantom inside the target in response to changes in the target movement, the End-to-End (E2E) test provided in Cyber-Knife manufacturer depending on the form of the breathing five times each. It was determined by carrying. Accuracy of tumor tracking system is indicated by the target error by analyzing the inserted film, additional E2E test is analyzed by measuring the correlation error while being advanced.

Results : If the target error is a sine curve breathing form, the size of the target of the movement is in response to the 5 mm, 10 mm, 20 mm, respectively, of the average 1.14 ± 0.13 mm, 1.05 ± 0.20 mm, with 2.37 ± 0.17 mm, suddenly for it is variations in breathing, respective average 1.87 ± 0.19 mm, 2.15 ± 0.21 mm, and analyzed with 2.44 ± 0.26 mm. If the correlation error can be defined by the length of the displacement vector in the target track is a sinusoidal breathing mode, the size of the target of the movement in response to 5 mm, 10 mm, 20 mm, respective average 0.84 ± 0.01 mm, 0.70 ± 0.13 mm, with 1.63 ± 0.10 mm, if it is a variant of sudden breathing respective average 0.97 ± 0.06 mm, 1.44 ± 0.11 mm, and analyzed with 1.98 ± 0.10 mm. The larger the correlation error values in both the both the respiratory form, the target error value is large. If the motion size of the target of the sine curve breathing form is greater than or equal to 20 mm, was measured at 1.5 mm or more is a recommendation value of both cyber knife manufacturer of both error value.

Conclusion : There is a tendency that the correlation error value between about target error value magnitude of the target motion is large is increased, the error value becomes large in variation of rapid respiration than breathing the form of a sine curve. The more the shape of the breathing large movements regular shape of sine curves target accuracy of the tumor tracking system can be judged to be reduced. Using the algorithm of Cyber-Knife tumor tracking system, when there is a change in the sudden unpredictable respiratory due patient coughing during treatment enforcement is to stop the treatment, it is assumed to carry out the internal target validation process again , it is necessary to readjust the form of respiration. Patients under treatment is determined to be able to improve the treatment of accuracy to induce the observed form of regular breathing and put like to see the goggles monitor capable of the respiratory form of the person.

Keyword : cyber-knife, tumor tracking system, target error, correlation error