

인체 팬텀(Rando Phantom)을 이용한 CBCT의 Setup 유용성 평가

Evaluation of Setup Usefulness of CBCT using Rando Phantom

장은성

고신대학교 복음병원 방사선 종양학과

Eun-Sung Jang(jes9661@naver.com)

요약

온보드영상장치(OBI)를 사용하고 있는 콘빔CT(CBCT)를 이용하여 인체 팬텀 자세 및 위치와 모의치료 시 인체 팬텀 자세 및 위치를 비교하여 CBCT의 3D 타겟 위치의 유용성을 평가하고자 한다. 실제방사선 치료와 동일한 과정으로 모의 치료계획을 하기 위해서 인체 팬텀(The Rando Phantom) 을 set up 한다. 기준점에 놓인 인체팬텀에서 CBCT를 이용하여 평행이동 및 회전이동 하였다. 이때 얻어진 영상들의 위치 차이에 대한 평균 및 편차를 인체 팬텀의 실제 이동 값과 비교하였다. 실험은 10회씩 반복하여 오차의 표준 편차를 구하였다. CBCT로 획득한 영상과 모의치료 시 획득한 CT영상을 비교하는 3D/3D 매칭에서 평균 setup의 residual error의 평균 및 표준편차는 lateral 0.2 ± -0.2 mm, longitudinal 0.4 ± 0.3 mm, vertical -0.4 ± 0.1 mm 로 각각 0~4 mm의 범위 이내로 나타났다. 모의실험 된 회전 내용은 0.4 ± 0.2 mm, 0.3 ± 0.3 mm, 그리고 0.3 ± 0.4 mm이다. 회전에 의한 error는 $0 \sim 0.6^\circ$ 범위이다.

인체 팬텀을 이용한 CBCT 3D/3D 매칭은 모의 치료 시와 환자 치료 시 정확한 정합을 함으로써 error를 최소화 하였다.

■ 중심어 : | CBCT(cone beam computed tomography) | 치료 계획 | 인체 팬텀 | 모의 치료 |

Abstract

This paper will evaluate the usefulness of 3D target of CBCT by comparing human body's posture and position when simulated treatment is being carried out as well as human phantom posture and position using CBCT which is applying OBI.

From the Rando Phantom which is located in the datum point moved in parallel and rotational direction using CBCT. Then the mean and standard deviation difference on images location difference that are acquired were compared with real the Rando Phantom' moved distance.

To make a plan of simulated treatment with the same procedure of real radiation therapy, we are going to setup the Rando Phantom. With an assumption that the position is set in accurate place, we measured the setup errors according to the change of the translation and rotation. Tests are repeated 10 times to get the standard deviation of the error values.

The variability in couch shift after positioning equivalent to average residual error showed lateral 0.2 ± 0.2 mm, longitudinal 0.4 ± 0.3 mm, vertical -0.4 ± 0.1 mm. The average rotation errors target localization after simulated 0.4 ± 0.2 mm, 0.3 ± 0.3 mm, and 0.3 ± 0.4 mm . The detection error by rotation is $0 \sim 0.6^\circ$

CBCT 3D/3D matching using the Rando Phantom minimized the errors by realizing accurate matching during simulated treatment and patient caring.

■ keyword : | CBCT(cone beam computed tomography) | (RTP(radiation therapy plan | Rando Phantom | Simulation |

I. 서론

선형가속기를 사용하여 방사선치료를 수행할 때, 정확한 치료위치에 환자를 정렬시키는 것은 세기조절방사선치료(Intensity-Modulated Radiation Therapy, IMRT) 및 정위적방사선수술(Stereotic Radiation Surgery, SRS)에서와 같이 높은 정밀도를 요구하는 첨단 방사선치료의 정확도를 결정짓는 가장 기본적이고 중요한 과정이다. 이를 위한 여러 연구가 진행되어 왔으며, 최근에는 kv 엑스선 발생장치와 영상검출기를 부착한 온보드영상장치(On-Board Imager, OBI) 영상장치를 사용하여 치료 자세에서의 높은 해상도와 환자 영상을 획득한 후, 치료계획에서 설정된 환자 영상과의 비교를 통해 환자 정렬 오차를 분석, 수정하는 형태의 영상유도 방사선치료가 수행되고 있다. OBI 영상장치를 사용하여 얻을 수 있는 영상형태 중 선형가속기 갠트리를 회전하여 획득하는 콘빔CT(Cone Beam Computerized Tomography, CBCT)영상은 환자 정렬 위치에서의 실제 인체 내 해부학적 영상정보를 얻은 후, 치료계획 시 사용된 CT 영상의 해부학적 구조와의 비교를 통해 정렬오차를 보정할 수 있어 정확도가 높은 형태의 영상유도 방사선치료 (Image Guided Radiation Therapy, IGRT)방법으로 평가되고 있다.¹⁻⁴⁾

그러므로 본 연구에서는 치료계획 시 사용된 모의치료 중심 위치(흉추 7번)와 인체 팬텀의 중심위치(흉추7번)에서 CBCT 영상장치를 이용하여 평행이동 및 회전 이동에 따른 3타원/3차원 맞춤(3D/3D Match) setup의 유용성을 평가하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 실험 기기

- IGRT (Clinac iX, Varian, USA)
- Rando phantom (Alderson Research Laboratories Inc. Stanford. CT, USA)
- OBI or CBCT Console Workspace (Varian Medical Systems, USA)
- Vac Lock

2. 실험 방법

2.1 인체 모형 팬텀 set up

치료테이블에 놓여진 인체팬텀의 위치는 모의치료 시 표시되었던 중심점에 치료실의 레이저 및 콜리메이터에 정확히 일치시킨다[Fig 1].



Fig.1. Experimental Rando Phantom setup.

2.2 CBCT 이미지 취득

CBCT영상 모드에서 갠트리가 한번 회전(180°)하는 동안 영상들이 만들어진다. 스캔은 “half-fan” 모드를 선택하여 사용하였으며[Fig. 2] 흉부 촬영조건은 110 kV, 20 mA, 20 ms(pulse width)의 조건으로 2.5 mm 간격으로 CBCT 영상을 획득하였으며 [Table 1]에 나타내었다.

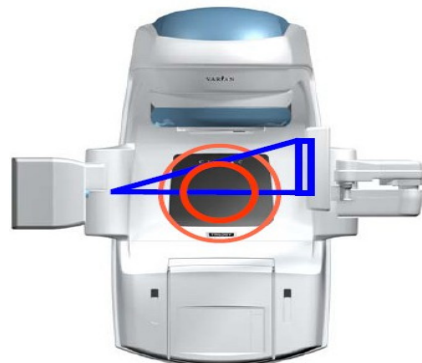


Fig 2. Acquisition Mode of Half-Fan & CBCT exposure condition

Table 1. specifications of CBCT measurement.

CBCT		
Acquisition Mode	Half Fan Offset flat panel FOV 40 cm Range 14 cm	
Reconstruction volume	512 X 512	
Slice(mm)	2.5	
Scan Range	width(cm)	16
	center(cm)	0
	Z-zero Dos	0
Diameter	PA axis	45°
	LR axis	45°
measurement		
Voltage(KV)	110	
Current(mA)	20	
Pulse Width(ms)	20	

3. 영상등록

Varian'Obi 소프트웨어는 3D-3D매치 분석 도구(사용자가 CBCT와 reference CT영상을 함께 얻을 수 있는) 포함한다. 등록은 수동으로 수행될 수 있거나, 자동적으로 할 수 있으며, 영상정합은 다음과 같은 방법으로 이루어졌다. (1) 모의치료 CT 영상 위에 영상정합을 수행할 관심영역(region of interest, ROI)을 설정한다. (2) 수작업을 통해 CBCT 재구성 영상과 모의치료 CT 영상의 ROI를 일차로 일치시킨다.

(3) 포탈영상시스템에서 제공되는 bony anatomy에 의한 자동영상정합을 수행한다. (4) 영상정합결과 얻어진 결과는 검토되고 결과가 만족스럽지 못할 경우 위의 과정을 반복한다[Fig. 3].

4. 3차원/3차원 매칭

CBCT를 이용하여 획득한 3차원 CBCT영상과 모의치료 시 얻은 CT영상을 3D/3D 매칭으로 비교하였으며 [Fig. 4], 기준점에 놓인 인체팬텀에서 CBCT를 이용하여 평행이동 및 회전이동 하였다. 이때 얻어진 영상들의 위치 차이에 대한 평균 및 편차를 인체 팬텀의 실제 이동 값과 비교하였다[Fig. 5].

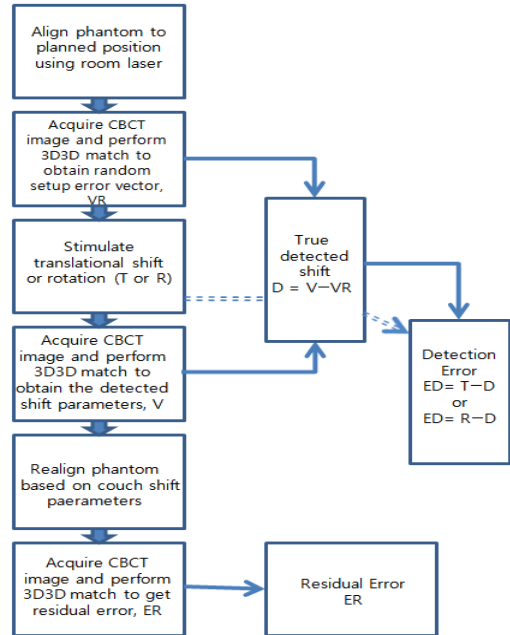


Fig. 3. Flow chart showing experimental procedure.

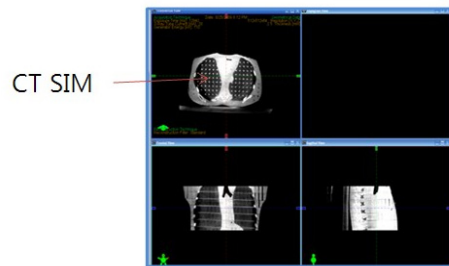


Fig. 4. 3D/3D matching window Before image fusion (a) Transversal (b) Frontal (c) Sagittal

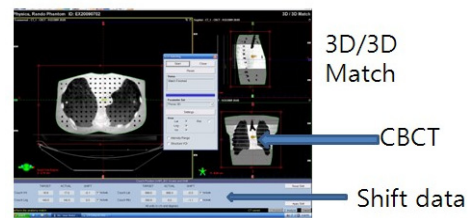


Fig. 5. On-Line Registration Auto Matching CBCT.

III. 결 과

1. 3D/3D 매칭

CBCT로 획득한 영상과 모의치료 시 획득한 CT영상을 비교하는 3D/3D 매칭에서 평균 setup의 residual error에 해당되는 translational shift의 평균 및 표준편차는 lateral 0.2 ± -0.2 mm, longitudinal 0.4 ± 0.3 mm, vertical -0.4 ± 0.1 mm 로 각각 0~4 mm의 범위 이내로 나타났다[Table 2].

모의실험 된 회전 내용은 0.4 ± 0.2 mm, 0.3 ± 0.3 mm, 그리고 0.3 ± 0.4 mm이다. 회전에 의한 error는 $0 \sim 0.6^\circ$ 범위이다[Table 3].

Table 2. The result in 3D/3D Maching.

The average residual error and standard deviation		
Lng	Vrt	Lat
0.4 ± 0.3	0.4 ± 0.1	0.2 ± -0.2

Table 3. The average rotation erroes and residual errors associated with target localization after simulated.

Rotation Error		
Lat	Vrt	Lng
0.0 ± 0.1	0.0 ± 0.0	0.4 ± 0.2
0.4 ± 0.2	0.0 ± 0.0	0.8 ± 0.2
0.4 ± 0.1	0.2 ± 0.4	0.2 ± 0.0
0.6 ± 0.3	0.0 ± 0.2	0.2 ± 0.2
0.2 ± 0.2	0.4 ± 0.2	0.0 ± 0.0
0.3 ± 0.0	0.2 ± 0.2	0.3 ± 0.1
0.0 ± 0.2	0.0 ± 0.0	0.5 ± 0.2
0.4 ± 0.2	0.0 ± 0.0	0.2 ± 0.4
0.5 ± 0.3	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.2
0.4 ± 0.2	0.4 ± 0.0	0.3 ± 0.1

Residual Error		
Lat	Vrt	Lng
0.3 ± 0.1	0.0 ± 0.0	0.4 ± 0.2
0.2 ± 0.2	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.2
0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.2	0.2 ± 0.0
0.2 ± 0.3	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.1
0.2 ± 0.2	0.4 ± 0.2	0.0 ± 0.3
0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.2	0.2 ± 0.1
0.4 ± 0.2	0.2 ± 0.0	0.5 ± 0.2
0.4 ± 0.2	0.0 ± 0.0	0.2 ± 0.2
0.5 ± 0.3	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.3
0.0 ± 0.2	0.4 ± 0.3	0.0 ± 0.1

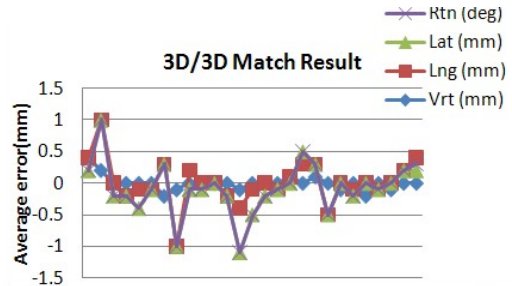


Fig. 6. Average error is the 3D/3D Match Result.

IV. 고찰

CBCT를 이용한 3차원 CT 영상을 하면 CT 테이블 위에 누워있는 인체 팬텀의 위치와 모의치료 시 획득한 영상을 비교한 후, 방사선치료를 수행하는 영상유도방사선치료가 가능해진다. CBCT에서는 2차원 영상이 아닌 3차원 CT영상을 직접 비교하므로, 2D/2D보다 더 정확하게 팬텀이 틀어진 편차를 산출 할 수 있었다. couch의 이동과 정확하게 팬텀이 변화의 상태에서, 평균 비교와 달리 하나의 체적으로, lateral 0.2 ± -0.2 mm, longitudinal 0.4 ± 0.3 mm, vertical 0.4 ± 0.1 mm 이고, 모의실험 된 회전 내용은 0.4 ± 0.2 mm, 0.3 ± 0.3 mm, 그리고 0.3 ± 0.4 mm이었다.

이러한 검출 오차와 측정 불확정성에서 계산한 남은 오차를 근거로 하여, 평균적으로 타겟은 4 mm 이내 범위 내에서 정확도를 유지할 수 있었다.

V. 결론

CBCT가 개발되기 전에는 환자치료 전의 위치검증으로 전자포털영상장치(EPID)나 L-gram을 이용하였으나 이는 치료 전에 오차를 측정하여 보정 후 치료를 수행하기에는 많은 어려움이 있었다. 그러나 CBCT를 이용하면 좀 더 간편하고 3차원적으로 정확한 위치 보정 후 치료가 가능하다. 영상의 화질도 전산화단층촬영모의치료기와 비슷하여 치료 중 환자의 총 종양체적의 변화 및 내부 장기와 연부조직의 체적 및 위치 변화 등을

더 정확하게 확인 할 수 있다. 그러므로 매 치료시 영상을 획득하여 표적위치, 해부학적 위치를 확인함으로써 정확한 치료를 시행할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] D. A. Jaffray and J. H. Siewerdsen, Cone-beam computed tomography with a flat-panel imager: initial performance characterization. *Med Phys*, Vol.27, pp.1311-1323, 2000.

[2] D. Letourneau, J. W. Wong, and M. Oldham, Cone-beam CT guided radiation therapy: technical implementation. *Radiother Oncol*, Vol.75, pp.279-286, 2005.

[3] D. J. Godfrey, F. F. Yin, M. Oldham, S. Yoo, and C. Wilett, Digital tomosynthesis with an on-board kilovoltage imaging device. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, Vol.65, pp.8-15, 2006.

[4] T. Fox, C. Huntzinger, P. Johnstone, T. Ogunleye, and E. Elder, Performance evaluation of an automated image registration algorithm using an integrated kilovoltage imaging and guidance system. *J Appl Clin Med Phys* Vol.7, pp.97-104, 2006.

[5] H. Yan, A phantom study on the positioning accuracy of the Novalis Body system, pp.352-360, 2003.

[6] F. F. Yin, A technique for on-board CT reconstruction using both kilovoltage and megavoltage beam projections for 3D treatment verification, pp.219-226, 2005.

[7] T. Li, Motion correction for improved target localization with on-board cone-beam computed tomography, pp.253-267, 2006.

[8] C. Yu, An anthropomorphic phantom study of the accuracy of Cyberknife spinal radiosurgery, *Neurosurgery*, pp.138-149, 2004.

[9] D. A. Jaffray, A radiographic and tomographic imaging system integrated into a medical linear accelerator for localization of bone and soft-tissue targets, *Int. J. Radiat*, pp.73-89, 1999.

[10] M. Oldham, Cone-beam-CT guided radiation therapy: A model for on-line application, *Radiother*, pp.271-278, 2005.

저 자 소 개

장 은 성(Eun-Sung Jang)

정회원



- 1996년 ~ 현재 : 고신대학교 복음병원 방사선 종양학과
- 2007년 2월 : 부산가톨릭 대학교 방사선학과(석사)
- 2007년 ~ 현재 : 부산대학교 핵물리 및 방사선 기술 연구소 연

구원

- 2010년 ~ 현재 : 방사선사고 지원단(U-REST)
 - 2010년 ~ 현재 : 춘해보건대학 방사선과 외래교수
 - 2007년 ~ 현재 : 부산대학교 물리학과(핵물리전공) 박사과정
- <관심분야> : 방사선 이용 / 방어, 원자로물리 / 계산 과학