

전립선암의 영상유도방사선치료 시 격일 콘빔 CT 적용의 유용성 평가

삼성서울병원 방사선종양학과

박병석 · 안중호 · 김종식 · 송기원

목 적 : 영상유도방사선치료 시 사용하는 콘빔 CT는 치료자세 오차를 확인하는 중요한 수단이지만 피폭선량을 증가 시키는 단점이 있다. 이에 본 연구는 콘빔 CT의 시행주기를 격일로 하는 시나리오를 만들어 유용성을 평가하고자 한다.

대상 및 방법 : 콘빔 CT를 이용하여 세기변조방사선치료를 받은 전립선암 환자 9명을 대상으로 실제 치료 시 매일 콘빔 CT로 치료자세 오차를 분석하여 보정한 값을 바탕으로 격일로 콘빔 CT를 시행하는 시나리오를 만들었다. 시나리오에서 콘빔 CT를 시행하지 않은 날의 치료자세 오차 값을 실제 치료 시의 치료중심점에서 이동하여 치료계획시스템(Pinnacle 9.2, Philips, USA)에 적용한 후 실제 치료와 동일한 조건으로 재 치료계획을 수립하였으며, 이를 바탕으로 PTV(Planning Target Volume)와 정상장기의 선량분포를 비교 분석하였다.

결 과 : 매일 콘빔 CT를 시행하였을 때의 치료자세 오차 값을 기준으로 격일로 콘빔 CT를 시행하는 시나리오에서는 X, Y, Z축으로 각각 0.2 ± 0.73 mm, 0.1 ± 0.58 mm, -1.3 ± 1.17 mm 차이가 나타났다. 이를 치료계획에 적용하여 재 치료계획을 수립하여 선량분포를 평가한 결과는 매일 콘빔 CT를 시행한 결과와 비교하여 PTV의 D_{mean} : -0.17 Gy, $D_{99\%}$: -0.71 Gy, 차이가 나타났다. 정상 장기는 직장 벽의 V_{66} : 1.55%, 방광의 V_{66} : -0.76% 차이가 나타났다.

결 론 : 격일로 콘빔 CT를 시행하였을 경우 콘빔 CT에 의한 피폭선량을 감소시키고 촬영으로 인한 추가적인 치료시간을 줄여 줄 수 있다. 또한 PTV, 정상장기의 선량분포의 차이가 크지 않으므로 환자의 상태의 따라 격일 콘빔 CT의 적용을 고려할 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : 콘빔 CT, 영상유도방사선치료, 전립선암, 치료자세 오차

서 론

IMRT는 종양조직에 정확한 선량을 투여하고 주위의 정상조직에는 최소한의 선량이 들어가도록 치료계획을 세울 수 있는 장점이 있다. 하지만 IMRT의 방사선 치료계획은 수 mm의 간격으로 급격한 선량분포의 차이가 발생하므로 치료 시 환자의 정확한 자세 고정과 재현 그리고 이러한 오차의 극복여부가 치료성과 직결된다고 할 수 있다¹⁻³⁾. 이로 인하여 모의치료와 실제 치료 시 존재하는 시간차에 따른 변화 요인들을 고려하여 실제치료에 반영하는 개념인 영상유도방사선치료(Image Guided Radiation Therapy, IGRT)가 IMRT에 적용이 되고 있다.

방사선 치료의 전반적으로 발생하는 정확도와 오차 중 set-up 오차로 생기는 오차를 전자포털영상장치(Electronic

Portal Image Device, EPID)나 온라인 영상유도방사선치료(On-line Image Guided Radiation Therapy, On-line IGRT)의 도입으로 줄일 수 있다고 보고하고 있다^{4,5)}. 최근에는 의료용 선형가속기에 kV source와 kV detector가 부착되어 있는 온보드 영상장치(On-Board Imager, OBI, Varian Medical Systems, USA)를 이용하여 콘빔 CT (Cone Beam CT, CBCT)를 이용한 IGRT를 적용하여 치료 전 환자를 고정 및 set-up 후 실시간으로 영상을 획득하여 set-up 오차를 검증하고 보정하여 치료를 시행하게 된다. IMRT 시 CBCT를 이용한 set-up 오차에 대한 보정은 모의치료와 실제 치료간의 set-up 오차를 3차원적으로 확인하고 보정함으로써 set-up 오차에 따른 무작위 오차(random error)를 줄여 방사선치료계획과 동일한 선량분포의 결과를 얻어내어 치료 성적을 높일 수 있다⁶⁻⁸⁾.

CBCT를 이용하여 IGRT 시 치료 전 매일 CBCT를 시행하여 set-up 오차를 검증하고 보정한다면 이를 통해 set-up 오차를 줄일 수 있는 장점이 있지만 CBCT를 매일 시행함으로써 환자가 받는 피폭선량이 증가하게 된다. 이러한 CBCT로

본 논문은 2014년 11월 14일 접수하여 2014년 12월 2일 채택되었음.

책임저자 : 박병석, 삼성서울병원 방사선종양학과
서울시 강남구 일원동 50번지
Tel : 02) 3410-9338
E-mail : bs1002.park@samsung.com

Table 1. Patient characteristics

Characteristic	Absolute no. of patients
Median age	72
TNM	3 patients, T2N0M0; 1patient, T2bN0M0; 4 patients, T2cN0M0; 2 patients, T3aN0M0
Treatment aim	3 patients, Salvage RT; 2 patients, Post-op RT; 4 patients, Definitive RT
Pre-treatment	Bladder emptying, Enema

인한 환자의 피폭선량은 방사선으로 인한 2차 암 발생 확률을 증가시키는 원인이 된다^{9,10}.

본 연구를 통해 전립선암 환자의 CBCT를 이용한 IGRT의 경우 전 치료과정 중 CBCT의 시행 빈도수를 every other day로 하는 시나리오를 만들어 set-up 오차의 변화를 평가하여 이에 따른 선량분포의 변화를 분석하였다. 이를 바탕으로 every other day - CBCT의 유용성을 분석하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

2012년 5월부터 12월까지 Prostate Ca, IMRT를 시행한 환자 중 CBCT로 IGRT를 한 환자를 대상으로 총 9명을 분석하였다. 모든 환자는 후향성 연구 조사 방법으로 총 120

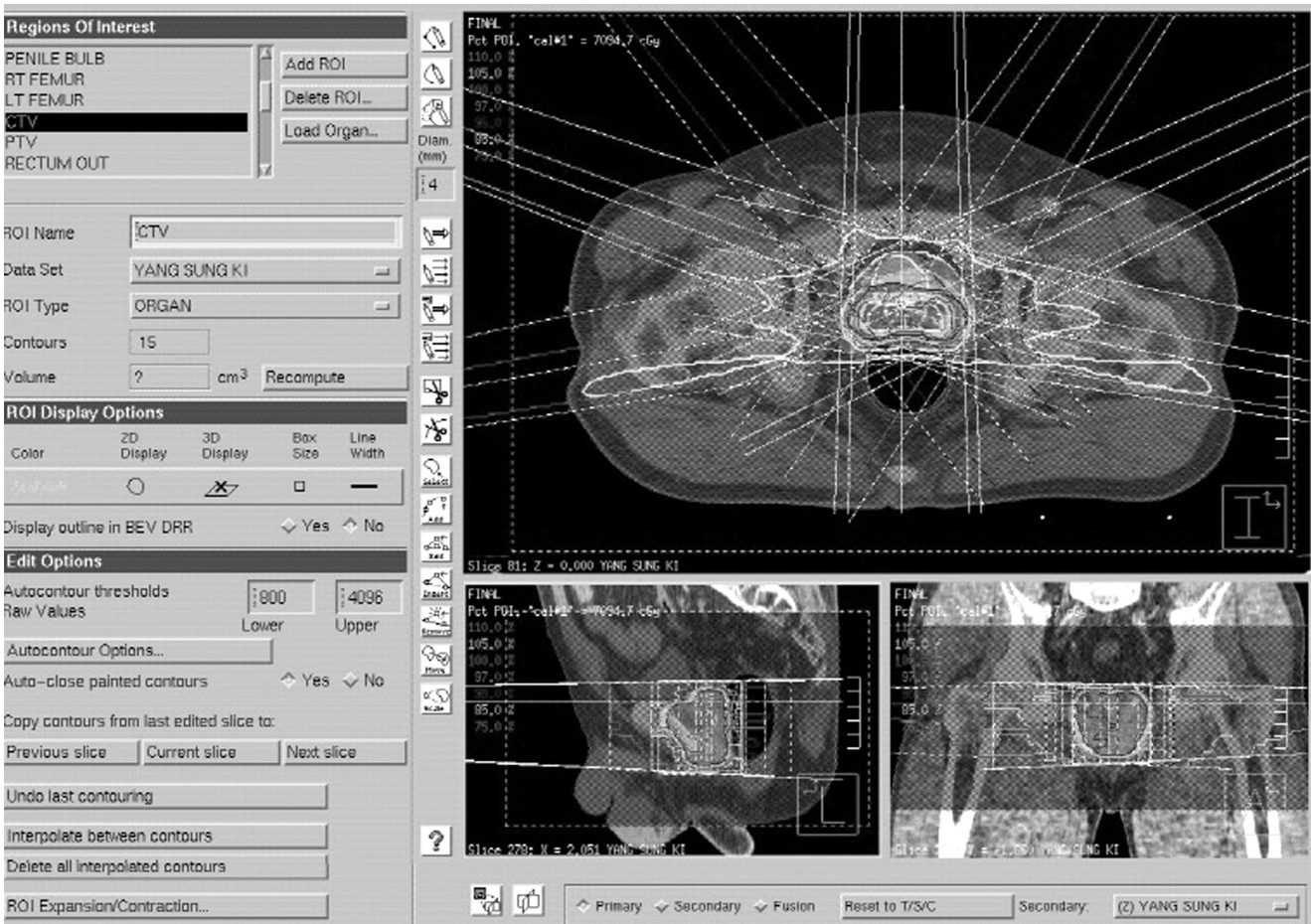


Fig 1. IMRT treatment planning for prostate cancer.



Fig 2.
Structure of CBCT with
linear Accelerator.

명 중 무작위 표본 추출(random sampling)법을 이용하여 9 명의 환자를 표본화하였다[표 1].

2. 치료계획 및 선량 전달

모든 환자의 처방선량은 매일 2.5 Gy 씩 28회 치료로 총 선량 70 Gy로 IMRT를 시행하였다. IMRT 치료계획은 표적 체적에는 균일한 선량이 조사되면서 정상조직의 들어가는 선량이 최소화 되도록 역방향치료계획(Inverse treatment plan)을 시행하고 처방선량에 최소 95%이상 PTV에 포함 되도록 치료계획을 치료계획시스템(Pinnacle 9.2, Philips, USA)을 사용하여 수립하였다[그림 1]. Beam delivery 방법은 7분 조사방법으로 겐트리의 각도는 100°, 65°, 35°, 0°, 320°, 290°, 260° 를 사용하였고 step-and-shoot 방법을 사용하였다. 또한 치료 중 전립선의 움직임을 줄이고 직장 벽의 방사선량을 줄이기 위하여 balloon catheter를 직장에 삽

입하여 고정 후 치료계획을 수립하고 의료용 선형가속기 (Novalis Tx, Varian, USA)로 치료를 시행하였다[그림 2].

모든 대상 환자는 치료 전 온보드 영상장치(On-Board Imager, OBI, Varian Medical Systems, USA)를 이용하여 pelvis mode[표 2] 매일 CBCT를 시행하여 set-up 오차를 검증하고 보정하여 치료를 시행하였다.

3. Set-up 오차와 선량분포 변화

총 치료 기간 중 CBCT의 시행을 every other day로 하는 시나리오의 선량분포 변화를 알아보기 위하여 가상의 시나리오를 만들었다.

실제 치료 시 매일 CBCT를 시행하였으므로 이때 보정한 lateral (X), longitudinal (Y), vertical (Z)축의 오차 값을 바탕으로 every other day로 CBCT를 시행하였을 때의 시나리오에서는 첫째 날은 CBCT를 시행하였으므로 X, Y, Z축의

Table 2. Default CBCT mode with OBI 1.4

Data from the Varian On-Board Imager (OBI) Reference Guide, Stated measurement uncertainties 10%

Mode name	Acquisition angle (deg)	Fan type	Technique	mAs	Average Dose (mGy)
Pelvis	360	Body	125 kV	680	34,2
			80 mA		
			13 ms		

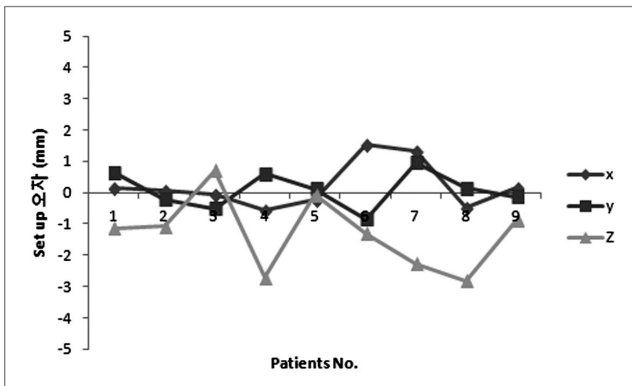


Fig 3. Trend of set-up error according to the every other day - CBCT (unit : mm)

set-up 오차 값을 모두 zero로 적용하고 이틀째에는 보정이 이루어지지 않았으므로 보정했을 때의 이동 값을 적용하였다. 이러한 방법으로 전 치료기간 28회 중 14회의 set-up 오차 값은 zero로 나머지 14회는 치료 중 보정한 오차 값을 적용하였다. 이를 바탕으로 9명 환자의 every other day의 시나리오를 만들어 평균 set-up 오차를 산출하였다. 방향에 대한 정의는 국제표준(IEC standard)을 기준으로 하였다.

Every other day로 CBCT를 시행한 환자의 치료계획 선량분포의 변화를 분석하기 위하여 치료계획시스템에 대표 오차 값을 치료 중심점(iso-center)에 적용하여 재 치료계획

을 수립하였다. 각 시나리오에 따른 선량분포의 변화를 알아보기 위해 PTV와 정상장기인 직장 벽, 방광의 선량분포를 분석하였다.

결 과

1. Set-up 오차의 변화

실제 매일 CBCT를 시행하였으므로 X, Y, Z축 의 set-up 오차 값을 zero로 설정하였다.

이를 바탕으로 every other day로 CBCT를 시행하는 시나리오의 set-up 오차 값은 다음과 같았다(표 3).

모든 방향에서 set-up 오차의 평균값이 1.5 mm 이하로 나타났다. Z축 방향이 -1.3 ± 1.17 mm 으로 가장 차이가 나타났다. 또한 z축 방향이 환자 별 set-up 오차의 변동폭이 1.17 mm로 가장 크게 나타났다.

환자 별 set-up 오차 값의 추이는 다음과 같았다(그림 3).

2. 선량분포의 변화

Every other day로 CBCT를 시행하였을 때의 시나리오로 분석한 set-up 오차 값을 치료중심점(iso-center)에 각 각 적

Table 3. Set-up error according to the every other day - CBCT

(unit : mm)

Axis	Frequency of CBCT	mean	SD
X	Daily	0	0
	Every other day	0,2	0,73
Y	Daily	0	0
	Every other day	0,1	0,58
Z	Daily	0	0
	Every other day	-1,3	1,17

Table 4. Difference of dose distribution according to the every other day - CBCT

Patients no.	PTV Dmean		PTV D99%		Rectal wall V66		Bladder V66	
	daily	every other day	daily	every other day	daily	every other day	daily	every other day
	1	69.24	69.27	67.5	67.5	9.03	10.02	15.09
2	71.34	71.35	69.5	68.75	8.03	12.79	13.33	14.23
3	68.40	68.53	65.8	65.2	8.06	7.4	19.62	21.82
4	71.31	71.59	68.25	68.8	4.23	5.33	4.8	4.87
5	71.66	71.63	68.3	68.6	10.6	10.89	25.88	25.33
6	71.16	71.36	69.35	69.5	13.39	14.51	13.83	13.41
7	71.812	70.22	68.8	63.72	16.52	19.43	29.92	22.6
8	72.11	71.76	69.1	68.3	12.42	15	8.9	6.8
9	71.16	70.93	68.9	68.7	13.2	14.08	14.23	13.36
Average	70.91	70.74	68.38	67.67	10.60	12.16	16.17	15.41

용하였다. 실제 환자의 선량분포가 매일 CBCT를 시행한 실제 환자의 선량분포와 every other day로 CBCT를 시행한 선량분포의 차이 값을 계산하였다. 표본으로 추출한 대상마다 planning의 적용이 대상에 최적화(optimization)되어 있기 때문에 환자마다 각 각의 set-up 오차 값을 적용한 후 평균값을 산출하였다(표 4).

PTV보다 정상장기인 직장 벽과 방광에서 선량분포의 차이가 더 크게 나타났으며 특히 직장 벽의 차이가 직장 벽의 V66 : 1.55% 용적이 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 방광의 경우에는 방광의 V66 : -0.76% 용적이 감소하는 것으로 나타났다.

결론 및 고찰

본 연구에서는 CBCT의 시행주기를 every other day로 시행하는 시나리오를 만들어 유용성을 평가하였다.

전립선암의 치료 부위인 골반부위의 CBCT 1회 시행 시 환자가 받는 피폭선량은 pelvis mode를 기준으로 평균 34.2 mGy로 알려져 있다¹¹⁾. 전 치료 과정 중 매일 CBCT를 시행한다면 환자의 골반부위의 피폭선량은 957.6 mGy이다. Every other day-CBCT를 시행한다면 CBCT로 인한 피폭선량을 478.8 mGy 감소시킬 수 있다. 이는 방사선 치료로 인한 2차 암 발생 확률을 감소시킬 것으로 사료된다.

Set-up 오차의 변화는 매일 CBCT를 시행하였을 때 보다 X축은 0.2 mm, Y축은 0.1 mm, Z축은 -1.3 mm로 나타났다. 이

는 CBCT를 시행하지 않더라도 치료 전 환자 표면에 표시된 표식을 이용하여 set-up을 하므로 CBCT를 시행하였을 때와 차이가 1.5 mm 이하임을 알 수 있었다. 축 별 set-up 오차는 Z축에서 가장 크게 -1.3 mm 차이가 나타났다. 이는 X, Y축 보다 Z축이 환자의 긴장 정도나 체중에 따라 더욱 오차가 많이 발생한 것에 기인한 것으로 사료되어 진다.

선량분포의 차이는 PTV보다는 정상장기인 직장 벽과 방광의 선량분포 차이가 더 커졌음을 알 수 있었다. 하지만 정상장기 또한 CBCT를 매일 시행 하였을 때와 비교하면 V66의 차이가 ±2% 이하임을 알 수 있었다. 이는 set-up 오차의 크기가 작고 set-up 오차의 크기보다 PTV, 정상장기의 용적이 상대적으로 더 크기 때문에 차이가 작았을 것으로 사료되어 진다. 또한 직장 벽은 V66이 every other day - CBCT에서 증가하지만 방광은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 set-up 오차 값이 Z축에서 가장 크게 나타나 직장 벽과 방광의 위치관계에 따른 영향으로 사료되어 진다.

결론적으로, CBCT의 시행주기를 매일 시행하지 않고 every other day로 시행한다면 CBCT로 인한 피폭선량을 감소시킬 수 있고 추가적인 치료 시간을 줄일 수 있다. 그러므로 환자의 PTV, 정상장기의 선량분포에 따라 적용을 고려할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Chao KS, Wippold FJ, Ozyigit G, et al. Determination

- and delineation of nodal target volumes for head- and neck cancer based on patterns of failure in patients receiving definitive and postoperative IMRT. *Int J Radiat Oncol Bio Phys* 2002;53:1174-1184
2. Michael Pinkawa, Charbel Attiech, Marc D. Piroth, et al. Dose-escalation using intensity-modulated radiotherapy for prostate cancer Evaluation of the dose distribution with and without 18F-choline PET-CT detected simultaneous integrated boost. *Radiother and Oncol* 2009;93:213-4
 3. Convery DJ, Rosenbloom ME. The generation of intensity-modulated fields for conformal radiotherapy by dynamic collimation. *Med Phys* 1992;37:1359-1379
 4. Cheong KH, Suh TS, Cho BC, et al. Analysis of uncertainties due to digitally reconstructed radiographic (DRR) image quality in 2D- 2D matching between DRRs and kV X-ray images from the On-Board Imager (OBI). *Korean J Med Phys* 2006;17:67-76
 5. Michael J. Zelefsky, Marisa Kollmeier, Brett Cox, et al. Improved clinical outcomes with non-IGRT for the treatment of clinically localized prostate cancer. *Int J Radiat Oncol Bio Phys* 2012;84:125-9
 6. Monica W. K. Kan, M.Phill., Lucullus H. T. Leung, et al. Radiation dose from cone beam computed tomography for image-guided radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Bio Phys* 2008;70:272-9
 7. Louise Varner Laursen, Ulrik Vindelev Elstrom, Anne Vestergaard, et al. Residual rotational set-up errors after daily cone-beam CT image guided radiotherapy of locally advanced cervical cancer. *Radiother and Oncol* 2012;105:220-5
 8. Paul M,A van Haaren, Arjan Bel, Pieter Horfman, et al. Influence of daily setup measurements and correction on the estimated delivered dose during IMRT treatment of prostate cancer patients. *Radiother and Oncol* 2009;90:291-8
 9. Zelefsky, M. J., Housman, D. M., Pei, X., Alicikus, et al. Incidence of secondary cancer development after high-dose intensity-modulated radiotherapy and image-guided brachytherapy for the treatment of localized prostate cancer. *Int J Radiat Oncol Bio Phys* 2012;83:953-9
 10. George X. Ding, Peter Munro, Jason Pawlowski, et al. Reducing radiation exposure to patients from Kv-CBCT imaging. *Radiother and Oncol* 2001;97:585-592
 11. Varian Medical Systems. *Varian On-Board Imager(OBI) Reference Guide*. Palo Alto (CA) : Varian Medical Systems 2008;170-1

Abstract

Evaluation of Every Other Day - Cone Beam Computed Tomography in Image Guided Radiation Therapy for Prostate Cancer

Department of Radiation Oncology, Samsung medical center, Seoul, Korea

Byoung Suk Park · Jong Ho Ahn · Jong Sik Kim · Ki Won Song

Purpose : Cone Beam Computed Tomography(CBCT) in Image Guided Radiation Therapy(IGRT), Set-up error can be reduced but exposure dose of the patient due to CBCT will increase. Through this study, we are to evaluate by making a scenario with the implementation period of CBCT as every other day.

Materials and Methods : Of prostate cancer patients, 9 patients who got a Intensity Modulated Radiation Therapy(IMRT) with CBCT in IGRT were analyzed. Based on values corrected by analyzing set-up error by using CBCT every day during actual treatment, we created a scenario that conducts CBCT every other day. After applying set-up error values of the day not performing CBCT in the scenario to the treatment planning system(Pinnacle 9.2, Philips, USA) by moving them from the treatment iso-center during actual treatment, we established re-treatment plan under the same conditions as actual treatment. Based on this, the dose distribution of normal organs and Planning Target Volume(PTV) was compared and analyzed.

Results : In the scenario that performs CBCT every other day based on set-up error values when conducting CBCT every day, average X-axis : 0.2 ± 0.73 mm, Y-axis : 0.1 ± 0.58 mm, Z-axis : -1.3 ± 1.17 mm difference was shown. This was applied to the treatment planning to establish re-treatment plan and dose distribution was evaluated and as a result, Dmean : -0.17 Gy, D99% : -0.71 Gy of PTV difference was shown in comparison with the result obtained when carrying out CBCT every day. As for normal organs, V66 : 1.55% of rectal wall, V66 : -0.76% of bladder difference was shown.

Conclusion : In case of a CBCT perform every other day could reduce exposure dose and additional treatment time. And it is thought to be able to consider the application depending on the condition of the patient because the difference in the dose distribution of normal organs, PTV is not large.

Keyword : Cone Beam Computed Tomography(CBCT), Image Guided Radiation Therapy(IGRT), Prostate cancer, Set-up error