

On board imager를 이용한 치료간 환자 셋업오차 평가

장은성*, 백성민**, 고성진***, 강세식***

고신대학교복음병원 방사선종양학과*, 고신대학교복음병원 핵의학과**, 부산가톨릭대학교 방사선학과***

Evaluation of the Interfraction Setup Errors using On Board- Imager (OBI)

Eunsung Jang*, Seongmin Baek**, Seungjin Ko***, Se-Sik kang***

Dept. Radiation Oncology*, Nuclear** Gosin University Gospel Hospital

Dept. of Radiological Science, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan***

요약

영상유도방사선치료(image guided radiation therapy: IGRT) 시 환자를 1차적으로 skin marker를 이용하여 위치시키고 2차적으로 OBI(on board imager)를 이용하여 해부학적 위치를 확인 후 couch를 움직여 set up을 보정하게 되는데, 이때 발생하는 오차에 대한 평가를 하려고 한다.

치료계획시 0° 와 270° 방향의 DRR(digital reconstructed radiography) 영상과 OBI로 촬영한 영상을 2차원-2차원 정합(2D-2D matching)으로 비교하여 치료계획시 환자의 셋업과 치료시 환자의 셋업의 오차를 비교하였다. Head&Neck 및 Spinal cord와 같은 주요장기 부위의 치료에서는 치료때 마다 OBI에 의하여 셋업시 확인하였으며, Chest 및 Abdomen&Pelvic 는 일주일에 2~3회 확인하였다. 그러나 보정 값은 모두 OIS(oncology information system)에 기록하여 160명의 환자를 대상으로 각각 Head&Neck, Chest 및 Abdomen&Pelvic으로 나누어 피부 지표를 이용한 셋업의 정확성을 평가하였다.

Head&Neck 환자의 평균 셋업 오차는 각각 AP, SI, RL 방향에서 0.2 ± 0.2 cm, -0.1 ± 0.1 cm, -0.2 ± 0.0 cm 로 나타났으며, Chest의 경우 -0.5 ± 0.1 cm, 0.3 ± 0.3 cm, 0.4 ± 0.2 cm 로 나타났고 Abdomen의 경우 0.4 ± 0.4 cm, -0.5 ± 0.1 cm, -0.4 ± 0.1 cm로 나타났다. Pelvic 의 경우 0.5 ± 0.3 cm, 0.8 ± 0.4 cm, -0.3 ± 0.2 cm 나타났다. Head&Neck 같은 강체(rigid body)는 셋업 오차가 Chest 및 Abdomen 부위에 비하여 상대적으로 작게 나타났다. Chest에서는 횡축 방향의 오차가 컸으며, Abdomen&Pelvic 에서는 AP 방향의 오차가 크게 나타났다.

Chest에서 횡축오차가 크게 나타난 이유는 환자 셋업시 환자 몸의 휘어짐에 기인한 것이며, Abdomen에서의 AP방향의 오차가 큰 이유는 환자의 호흡으로 인해 앞뒤 위치의 변화 때문으로 사료된다. 환자 셋업 시스템에서는 systematic error 는 나타나지 않았다. OBI는 해부학적 위치를 확인하기 때문에 병소가 피부에 위치해 있을 경우 피부마커로 셋업을 하는 것이 정확할 것으로 생각된다. 2차원-2차원 정합은 3차원-3차원 정합과 비교하여 rolling 오차를 찾아내지 못하나 환자의 피폭이 적다는 장점이 있으며 셋업 확인 시간이 짧기 때문에 실제 임상에서는 2차원-2차원 정합이 유용하였다.

Abstract

When using Image Guided Radiation Therapy, the patient is placed using skin marker first and after confirming anatomical location using OBI, the couch is moved to correct the set up. Evaluation for the error made at that moment was done.

Corresponding Author : 장은성

주소: 부산 금정구 장전동 부산대학교 제1물리관 핵물리하드론연구실 107, E-mail: silver9661@NAVER.COM, Tel: +82-10-4789-3548

투고 일자: 2009년 04월 02일, 심사일자: 2009년 06월 30일, 수정 일자: 2009년 08월 08일, 게재 확정일자: 2009년 09월 15일

Through comparing 0° and 270° direction DRR image and OBI image with 2D-2D matching when therapy planning, comparison between patient's therapy plan setup and actual treatment setup was made to observe the error. Treatment confirmation on important organs such as head, neck and spinal cord was done every time through OBI setup and other organs such as chest, abdomen and pelvis was done 2 ~ 3 times a week. But corrections were all recorded on OIS so that evaluation on accuracy could be made through using skin index which was divided into head, neck, chest and abdomen-pelvis on 160 patients.

Average setup error for head and neck patient on each AP, SI, RL direction was 0.2 ± 0.2 cm, -0.1 ± 0.1 cm, -0.2 ± 0.0 cm, chest patient was -0.5 ± 0.1 cm, 0.3 ± 0.3 cm, 0.4 ± 0.2 cm, and abdomen was 0.4 ± 0.4 cm, -0.5 ± 0.1 cm, -0.4 ± 0.1 cm. In case of pelvis, it was 0.5 ± 0.3 cm, 0.8 ± 0.4 cm, -0.3 ± 0.2 cm. In rigid body parts such as head and neck showed lesser setup error compared to chest and abdomen. Error was greater on chest in horizontal axis and in AP direction, abdomen-pelvis showed greater error.

Error was greater on chest in horizontal axis because of the curve in patient's body when the setup is made. Error was greater on abdomen in AP direction because of the change in front and back location due to breathing of patient. There was no systematic error on patient setup system. Since OBI confirms the anatomical location, when focus is located on the skin, it is more precise to use skin marker to setup.

When compared with 3D-3D conformation, although 2D-2D conformation can't find out the rolling error, it has lesser radiation exposure and shorter setup confirmation time. Therefore, on actual clinic, 2D-2D conformation is more appropriate.

key word : 영상유도방사선치료, OBI, 영상정합, 셋업 오차, 치료위치확인, IGRT(Image Guided Radiation Therapy), OBI(on board imager), Image matching, Setup error, Treatment center

I. 서 론

방사선 치료를 시행할 경우에는 모의치료 및 치료계획을 수립할 때와 동일한 환자 자세가 유지되어야하며 셋업의 정확성이 전제되어야 한다. 세기조절방사선치료(intensity modulated radiation therapy: IMRT), 영상유도방사선치료에서와 같은 정밀방사선 치료기술이 보다 효과적으로 이루어지기 위해서는 환자자세 오차를 최소화해야 한다¹⁻⁵. 그러나 매회 치료 간의 오차(inter-fractional error), 즉 셋업 오차는 필연적으로 발생하게 되며 이 오차는 환자 호흡 및 내부 장기의 움직임의 영향에 의한 오차와 함께 치료계획용적(planning target volume: PTV)을 정할 때 필요한 마진을 최대한 줄여 줌으로서 치료병변에 선량을 집중시키고, 정상조직의 선량은 감소시킬 수 있기 때문이다^{6,7}.

환자 셋업의 확인은 필름을 이용한 방법이 기존부터 이용되었으나 시간 및 현상 과정 등의 비효율성으로 인해 최근에는 보다 나은 영상을 얻기 위해 kV X선 선원을 이용한 영상

장치가 부착된 방사선 치료기기 및 MV X선을 이용

한 콘빔전산화단층촬영(cone beam computerized tomography: CBCT)이 가능한 방사선치료기기(Fig. 1), Tomotherapy^{8,9} 등의 보급이 확대됨에 따라 임상에서 영상유도 방사선치료기술(image-guided radiation therapy: IGRT)⁸이 많이 이용되고 있다.

본 연구에서는 선형가속기에 부착된 OBI를 이용하여 kV X선 영상을 획득한 후 이를 치료계획 시의 DRR 영상과 2차원 정합을 시켜 분할치료간 셋업 오차를 분석하여 피부마커를 이용한 셋업과 OBI를 이용한 셋업을 비교 평가하였다.

II. 실험기기 및 방법

1. 실험기기

- IGRT(Clinac iX, Varian, USA)
- Eclipse (Varian Medical Systems, USA)
- On-Board Imager (OBI) (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA)
- OBI or CBCT Console Wokrspace(Varian Medical Systems, USA)



Fig. 1. (a) Varian clinical linear accelerator with an On-Board Imager(OBI) consisting of two robotic arms; one holding a flat panel imager(kVD). The mega voltage detector(MVD) is also extracted. (b) The coordinate system for couch/patient position: Lat = + Right/-Left, Vrt==Ant/-Post and Lng =+ Inf/-Sup. (C) Lateral and vertical motion of the kVD are relative the MV beam axis.

여 동일한 해부학적 위치를 일치시킴으로써 행하여진다. 즉, 기준영상으로 이용되는 DRR사진의 뼈(bone)와 같이 고정되어 있는 해부학적 위치가 뚜렷한 이를 기준으로 하였으며 정합을 원활하게 하기 위한 선이나 마커는 사용하지 않았다. 정합은 자동 및 수동으로 진행할 수 있으나 자동으로 수행하는 경우 정확한 정합을 수행하지 못하는 경우가 발생하여 수동으로 정합을 수행하였다 (Fig. 2). 즉, DRR영상을 OBI kV X선 영상에 중첩시킨 다음, OBI 사진의 동일 해부학적 위치에 일치되도록 변위(shift)하였으며, 그 오차를 수치화 하였다.

2. 실험방법

1) 치료계획시 Setup과 치료시 셋업 오차

치료 위치 확인을 위해서는 전산화치료계획을 위한 CT영상으로부터 획득된 영상들을 방사선 치료계획을 수립하고 디지털화재구성영상을 생성하였다. OBI kV X선 영상을 이용한 2차원-2차원 정합은 직교하는 두 개의 영상을 필요하므로 0° 와 270° 방향으로 비교하여 치료 계획시 환자의 셋업 과 치료시 환자의 셋업의 오차를 비교하여 보정하였다(Fig. 2). Head&Neck부 환자는 매 치료 때 마다 OBI에 의하여 셋업을 보정하였으며, Chest 및 Abdomen은 일주일에 2~3회 확인하였다. 그러나 Spinal cord와 같은 주요장기 부위의 치료에서는 치료때 마다 확인하였다. 보정 값은 모두 OIS에 기록되며 본 연구에서는 이를 분석하여 160명의 환자를 대상으로 각각 Head&Neck, Chest 및 Abdomen&Pelvic으로 나누어 피부 지표를 이용한 셋업의 정확성을 평가하였다(Table 1).

2) 변위(Shift) 이동시 셋업 오차

치료위치 확인을 위해 이용되는 영상정합 방법은 통상적으로 전산화치료계획을 위한 CT영상으로부터 디지털화재구성영의 기준영상과 같은 방향(AP, Lateral)의 영상을 OBI kV X선영상과 2차원-2차원 정합으로 비교하

Table. 1. Patient information

Site	Patient	Fraction	
		Treated	Imaged
Head& Neck	40	28	9
Chest	40	28	11
Abdomen	40	28	11
Pelvis	40	28	11

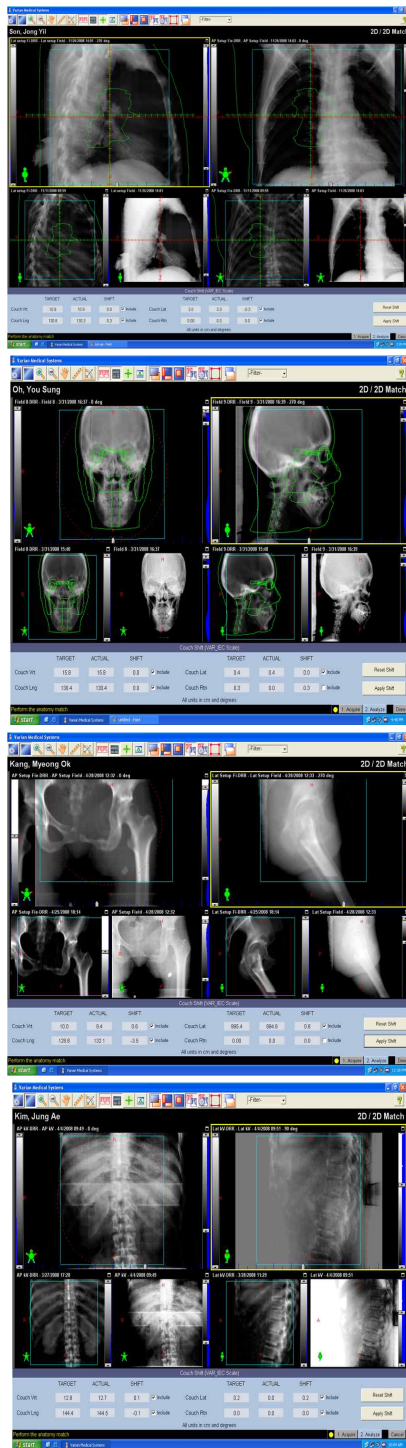


Fig. 2. The registration window of the Varian On-Board Imager and shift matching

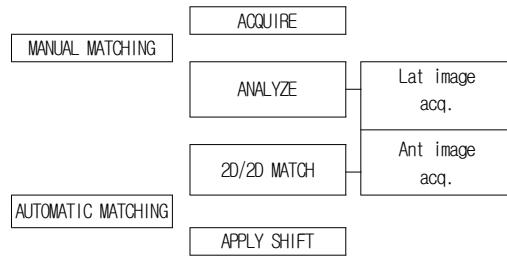


Fig. 3 Types of matching and workflow

III. 결 과

치료계획시 Setup과 치료시 셋업 오차 및 변위 이동시 셋업 오차에 대한 실험 결과는 Fig. 4~7 및 Table 2. 나타내었다. DRR 영상을 이용하여 실제로 2차원 정합을 수행하였을 때의 오차 즉, 치료확인 촬영을 통해 얻은 오차를 바탕으로 이동한 결과를 주요 치료 부위별로 나타내었다. Head&Neck 같은 강체는 셋업 오차가 Chest & Abdomen 부위에 비하여 상대적으로 작게 나타났다. Head&Neck 환자의 평균 셋업 오차는 각각 RL, AP, SI 방향에서 0.2 ± 0.2 cm, -0.1 ± 0.1 cm, -0.2 ± 0.0 cm로 나타났으며, Chest의 경우 -0.5 ± 0.1 cm, 0.3 ± 0.3 cm, 0.4 ± 0.2 cm로 나타났고 Abdomen의 경우 0.4 ± 0.4 cm, -0.5 ± 0.1 cm, -0.4 ± 0.1 cm로 나타났고 Pelvic의 경우 0.5 ± 0.3 cm, 0.8 ± 0.4 cm, -0.3 ± 0.2 cm 나타났다. Chest에서는 횡축 방향의 오차가 컸으며 Abdomen& Pelvic에서는 AP 방향의 오차가 크게 나타났다. 오차의 원인으로는 환자상태에 의한 오차가 대부분을 이루었다. 즉 긴장에 의한 피부나 근육의 변이, 치료 기간중 환자의 급격한 쇠약으로 인한 몸무게의 변화 및 뒤틀림에 의한 변위 등을 들 수 있다.

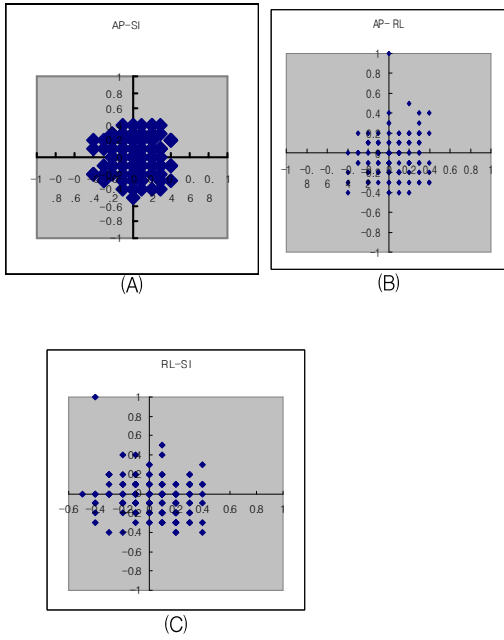


Fig. 4. interfractional transitional error for the patients Head&Neck in the (A) right-left(RL), (B) anterior-posterior(AP) and (C) superior-inferior(SI) directions.

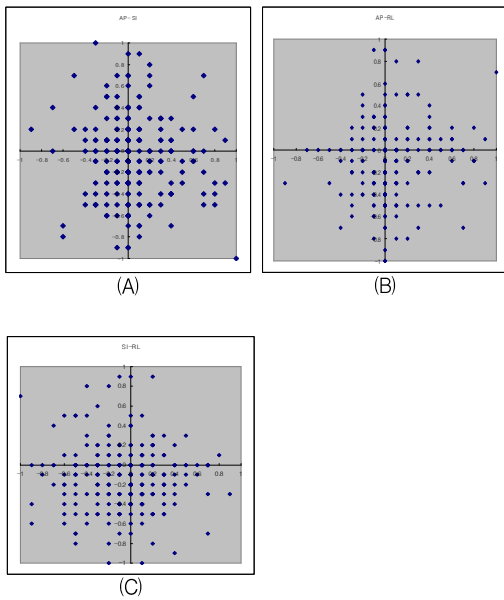


Fig. 5. interfractional transitional error for the patients Chest(lung포함) in the (A) right-left(RL) (B) anterior-posterior(AP) and (C) superior-inferior(SI) directions

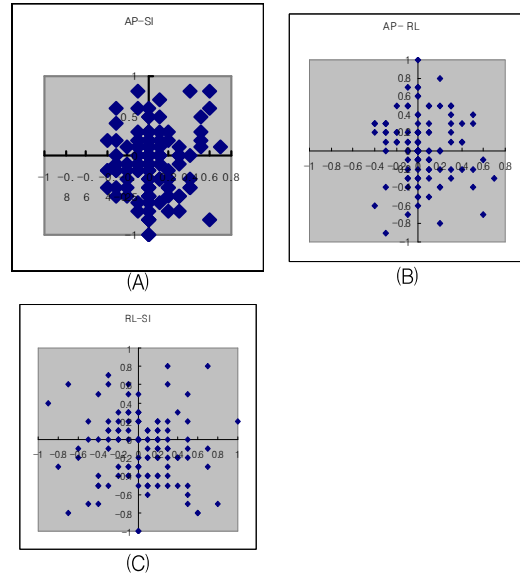


Fig. 6. interfractional transitional error for the patients Abdomen in the (A) right-left(RL) (B) anterior-posterior(AP) and (C) superior-inferior(SI) directions.

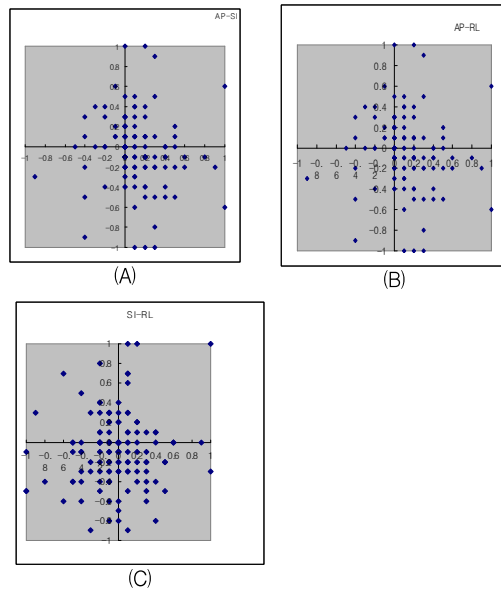


Fig. 7. interfractional transitional error for the patients pelvis in the (A) right-left(RL), (B) anterior-posterior(AP) and (C) superior-inferior(SI) directions.

Table 2. Interfractional translational setup error, average \pm standard deviation

Site	RL	AP	SI
Head&Neck	0.2 \pm 0.2	-0.1 \pm 0.1	-0.2 \pm 0.0
Chest	-0.5 \pm 0.1	0.3 \pm 0.3	0.4 \pm 0.2
Abdomen	0.4 \pm 0.4	-0.5 \pm 0.2	-0.4 \pm 0.1
Pelvis	0.5 \pm 0.3	0.8 \pm 0.4	-0.3 \pm 0.2

IV. 고 찰

영상유도 방사선치료를 수행하기 위해서는 방사선치료 준비 및 치료 각 단계에서의 오차가 최소화되어야 하며 전체 오차 역시 적절한 수준으로 유지되어야 한다. 이러한 새로운 기술의 장점을 극대화하기 위해서는 기계적 정확성이 확인되어야 하며 보증되어야 한다.

본 연구를 통해 OBI는 기하학적으로 치료용 선형가속기와 동일한 배치로 되어 있음을 확인할 수 있었으며, OBI는 직교하는 kV X선 영상(kV 선원의 각도 0°, 270°)을 이용한 2차원-2차원 정합 및 카우치 이동을 통한 셋업 오차 보정기술을 지원한다. 이는 방사선치료 직전 획득된 kV X선 영상을 치료계획시의 디지털화재구성 영상과 비교하여 그 차이만큼을 카우치를 이동하여 보정하는 방법이다. 직교하는 두 방향의 디지털화재구성 영상, kV X선 영상을 통해 획득한 결과를 분석해보면 Head & Neck의 경우 환자의 평균 셋업 오차는 각각 RL, AP, SI 방향에서 0.2 \pm 0.2 cm, -0.1 \pm 0.1 cm, -0.2 \pm 0.0 cm로 나타났으며 이는 Chin의 거상 및 부음상태나 머리카락의 위치변화(여자의 경우 오차범위가 넓음)이며, Chest의 경우-0.5 \pm 0.1 cm, 0.3 \pm 0.3 cm, 0.4 \pm 0.2 cm로 나타났고, 횡축오차가 크게 나타난 이유는 환자 셋업시 환자 몸의 휘어짐이나 긴장에 의하여 피부나 근육의 변이에 기인한 것이며, Abdomen의 경우 0.4 \pm 0.4cm, -0.5 \pm 0.1cm, -0.4 \pm 0.1cm로 나타났고, AP방향의 오차가 큰 이유는 환자의 호흡으로 인해 앞뒤 위치의 변화 때문으로 사료된다. Pelvic의 경우 0.5 \pm 0.3 cm, 0.8 \pm 0.4 cm, -0.3 \pm 0.2 cm 나타났으며 고정용구를 사용할 경우, 사용하지 않을 경우

보다 비교적 오차가 적음을 알 수 있었다. 이와 같이 치료부위 별로 OBI를 통하여 셋업 오차가 존재함을 확인하고 보정할 수 있었다. 현재 방사선 치료 과정의 셋업 오차는 두경부 0.2 cm, 폐부 0.35 cm, 골반부 0.3 cm라 알려져 있다^{10,11}. 그렇게 때문에 모의 치료시 환자의 피부나 고정용구에 표시를 할 경우, 여러 가지 요인들에 의해 치료 중심점과 피부 표시에 차이를 가져 올 수 있음을 OBI kV X선을 이용하여 확인하였다. 본 연구에서 환자 셋업 시스템의 계통오차(systematic error)는 나타나지 않았다. OBI는 해부학적 위치를 확인하기 때문에 병소가 피부에 위치해 있을 경우 피부마커로 셋업을 하는 것이 정확할 것으로 생각된다.

기존의 치료에 비해 영상유도 방사선치료는 2차원-2차원 정합은 3차원-3차원 정합과 비교하여 기존의 셋업 확인작업에 비해 영상의 질 향상, 환자피폭 선량감소, 정확성 측면에서 우수함을 확인 할 수 있었으며, 셋업 확인 시간이 짧기 때문에 실제 임상에서는 2차원-2차원 정합이 유용하였다. Head & Neck의 경우에는 턱의 거상 및 부종상태나 머리카락의 위치에 따라서 오차가 발생하며, Chest에서는 주로 횡축의 오차가 크게 나타났다. 그 이유는 환자 셋업시 환자 몸의 휘어짐이나 긴장에 의하여 피부나 근육의 변이에 기인한 것으로 사료된다. Abdomen에서의 AP방향의 오차가 큰 이유는 환자의 호흡으로 인해 앞뒤 위치의 변화 때문으로 사료된다. Pelvic에서는 고정용구를 사용할 경우, 사용하지 않을 경우보다 비교적 오차가 적음을 알 수 있었다. 이와 같이, 치료부위 별로 OBI를 통하여 셋업 오차가 존재함을 확인하였으며 이에 대한 보정을 할 수가 있었다.

V. 결 론

본 연구에서 환자 셋업 시스템의 계통오차(systematic error)는 나타나지 않았다. OBI는 해부학적 위치를 확인하기 때문에 병소가 피부에 위치해 있을 경우 피부마커로 셋업을 하는 것이 정확할 것으로 생각된다.

기존의 치료에 비해 영상유도 방사선치료는 2차원-2차원 정합은 3차원-3차원 정합과 비교하여 기존의 셋업 확인 작업에 비해 영상의 질 향상, 환자피폭 선량감소, 정확성 측면에서 우수함을 확인 할 수 있었으며, 셋업 확인 시간이 짧기 때문에 실제 임상에서는 2차원-2차원

정합이 유용하였다. Head & Neck의 경우에는 턱의 거상 및 부종상태나 머리카락의 위치에 따라서 오차가 발생하며, Chest에서는 주로 횡축의 오차가 크게 나타났다. 그 이유는 환자 셋업시 환자 몸의 휘어짐이나 긴장에 의하여 피부나 근육의 변이에 기인한 것으로 사료된다. Abdomen에서의 AP방향의 오차가 큰 이유는 환자의 호흡으로 인해 앞뒤 위치의 변화 때문으로 사료된다. Pelvic에서는 고정용구를 사용할 경우, 사용하지 않을 경우보다 비교적 오차가 적음을 알 수 있었다. 이와 같이, 치료부위 별로 OBI를 통하여 셋업 오차가 존재함을 확인하였으며 이에 대한 보정을 할 수가 있었다.

C. Clifton Ling, and Howard I. Amols : Using an onboard kilovoltage imager setup deviation in intensity-modulated radiation therapy for head-and-neck patients. *Journal of applied Clinical Medical Physics*. 2007; 8(4).

참고문헌

- [1] Faiz M K. The physics of radiation therapy. 2nd ed. Baltimore Williams & Wilkins. 1992:307-311.
- [2] Goltein M. Busse J. Immobilization errors: some theoretical consideration. *Radiology*, 1975;117:407-412.
- [3] 3. Gunilla C B. Radiation therapy planning. 2nd ed. Durham: McGraw-Hill. 1992:206-231.
- [4] 4. Ervin B P. Review of radiation oncology physics. *International Atomic Energy Agency* 2003:435-444.
- [5] Kim J, Fessler JA, Lam KL, Balter J M, Ten Haken R. K. A feasibility study of mutual information based setup error estimation for radiotherapy. *Med Phys* 2001;28:2507-2517.
- [6] ICRU Report 50. Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy, International Commission on Radiation Units and Measurements. Washington DC. 1993.
- [7] ICRU Report 62. Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy. Supplement to ICRU Report 50. International Commission on Radiation Units and Measurements. Washington DC. 1999.
- [8] Langen K. M., Zhang Y, Andrews R. D, et al. Initial Experience with megavoltage (MV) CT guidance for daily prostate alignments. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005;1517-1524.
- [9] Moseley D. J, White E, Haycocks T, et al. Comparison of implanted fiducial marks and cone-beam computed tomography for on-line image-guided radiotherapy of the prostate[Abstract]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2004;60:S229.
- [10] Hurkmans C W, Remeijer P, Lebesque J V, et al. Setup verification using portal imaging: review of current clinical practice. *Radiother Oncol* 2001;58:105-120.
- [11] James G. Mechalakos, Margie A, Nancy Y. Lee, Linda X. Hong,