

Tomotherapy MVCT와 Linac CBCT의 Imaging dose 비교평가

삼성서울병원

윤보름, 홍미란, 안종호, 송기원

목 적 : 토모테라피(Tomotherapy)와 선형가속기(Linac)를 이용한 세기조절방사선치료(IMRT) 시 환자의 정확한 위치잡이를 위해 매일 시행되는 MVCT와 CBCT의 imaging dose를 비교 평가해보고자 한다.

대상 및 방법 : 인체 모형 팬텀(Anderson rando Phantom, USA)을 Head, Thorax, pelvis의 3부위로 분류하여 촬영 부위의 중심에 0.5x0.5cm² 크기로 자른 GafChromic EBT3 film을 팬텀의 표면의 상, 하, 좌, 우와 팬텀의 표면에서 2cm깊이의 상, 하, 좌, 우, 중심에 위치시킨 뒤 토모테라피 (Hi Art)와 Novalis Tx의 OBI를 이용하여 surface dose와 inner dose를 각각 3회씩 반복 측정한다. 측정 된 film은 RIP version6.0을 이용하여 값을 산출한 뒤 일원분산분석법을 이용하여 선량의 평균값을 산출한다.

결 과 : 인체모형팬텀을 이용하여 MVCT와 CBCT를 시행한 결과 MVCT inner dose의 측정값은 head에서 15.43cGy±6.05, thorax에서 16.62cGy±3.08, pelvis에서 16.81cGy±5.24로 나타났으며, CBCT inner dose는 head에서 13.28±3.68, thorax에서 13.66±4.04, pelvis에서 15.52±3.52의 값을 나타냈다. Surface dose의 측정 값은 MVCT 시행 시 head에서 11.64±4.05, thorax에서 12.16±4.38, pelvis에서 12.05±2.71로 나타났으며, CBCT의 경우 head에서 14.59±3.51, thorax에서 15.82±2.89, pelvis에서 17.48±2.80을 나타내었다.

결 론 : Inner dose의 경우 kV energy를 사용하는 CBCT보다 MV energy를 사용하는 MVCT에서 head에서 1.16배, thorax에서 1.22배, pelvis에서 1.08배 높게 나타났으며, Surface dose의 경우 MVCT보다는 CBCT의 head에서 1.25배, thorax에서 1.30배, pelvis에서 1.45배 높게 측정되었다. Imaging dose는 치료 선량에 비해 작은 양이지만 daily로 시행되는 만큼 정상조직에 일정부분 영향을 미칠 것으로 생각된다. 하지만 IMRT치료를 위해서는 영상유도를 통한 IGRT가 반드시 병행되어 치료계획과 실제치료간 오차를 최소화하여야 한다. 따라서 환자가 받는 imaging dose를 최소화하기 위해서는 치료계획 시 Imaging dose를 고려하여 치료계획을 수립하거나 MVCT 촬영 시 Scan 범위를 최소화하여 시행해야 될 것으로 사료된다.

핵심용어 : MVCT, CBCT, Imaging dose

서 론

방사선 치료 중 발생하는 기하학적 불확실성(geometrical uncertainty)은 표적에 정확하게 방사선을 조사하는데 장애가 될 뿐만 아니라 주변 정상장기에 불필요한 방사선의 조사를 초래한다. 치료 기간동안 발생하는 기하학적 불확실성을 정확히 평가하는 것은 불필요한 조사 여유(margin)을 줄이면서 방사선을 표적에 정확하게 조준하는데 반드시 필요한 과정이다. 기하학적 불확실성은 다양한 원인이 복합적으로 작용하여 발생하므로 그 원인을 정확히 세분화하기는 어렵다. 그러나 발생하는 시기에 따라 크게 분할간변이(interfractional

variation)와 분할중변이(intrafractional variation)로 나눈다. 이러한 변이는 매회 치료 사이에 발생하는 종양 및 내부장기의 기하학적 변이를 나타내며 set up 오차와 호흡에 의한 내부 장기의 위치 변이가 주로 포함된다. 이러한 변이를 최소화 되게 확인하고 정확한 방사선 조사를 위한 노력은 치료기술의 발전과 함께 많은 발전을 하고 있다. 이러한 노력중의 하나가 세기조절방사선 치료이며, 치료의 정확성을 높이고 위에서 언급한 불확실성을 줄여 주기 위해 영상 유도 방사선 치료는 훌륭한 해답을 제시하고 있다.

현재 국내에는 온보드 영상장치(On-Bord Imager, OBI, Varian Medical systems, USA)를 장착한 Clinac iX, Novalis Tx 등과 같은 kV CBCT(Cone Beam Computed Tomography)와 MVCT를 장착한 Hi-ART 토모테라피(Tomotherapy) 등을 이용한 영상유도방사선치료(IGRT)가 가능한 장비들이 도입되어 있다. OBI를 이용한 CBCT의 경우 kV energy를 사용함

본 논문은 2014년 3월 21일 접수하여 2014년 4월 30일 채택되었음.
책임저자 : 윤보름, 삼성서울병원 방사선종양학과
서울시 강남구 일원로 81 삼성서울병원
Tel : 02) 1599-2657, 010-2575-9544
E-mail : br128.yoon@samsung.com

으로 기존의 EPID를 이용한 영상보다 영상의 질의 우수하며, 3차원적으로 image를 reconstruction 할 수 있다는 장점이 있다. MVCT 또한 3차원적 영상을 얻을 수 있으며, CBCT에 비해 영상의 질은 낮으나, artifact에 영향이 적다는 장점이 있다. 이러한 IGRT 치료를 환자의 미세한 움직임까지 고려하여 정상 조직에 영향을 최소화하고 종양에는 최대의 선량을 조사할 수 있는 장점이 있지만, 치료 이외의 선량을 증가시키는 요인이 되기도 한다.

본 논문에서는 영상유도 장치인 Tomotherapy의 MVCT와 Linac의 CBCT를 시행할 때 발생하는 Imaging dose를 측정하고 이들의 유용성을 평가하고자 한다. .

대상 및 방법

1. 실험 장비 및 재료

- Tomotherapy Hi Art(Fig. 1-1)와 MVCT(Fig. 1-2)



Fig 1-1. Tomotherapy Hi Art



Fig 2-1. Novalis Tx

- Novalis Tx(Varian, USA, Fig. 2-1)와 CBCT (Fig. 2-2)
 - GafChromic EBT3 film (Fig. 3)

2. 실험 방법

CBCT와 MVCT의 Imaging dose를 측정하기 위해 본 연구에서는 현재 본원에 설치된 영상유도방사선치료에 이용되는 OBI(On-Board Imager) System이 부착된 선형가속기(Novalis Tx, Varian, USA)와 토모테라피(Tomotherapy Hi Art)를 사용하였다. Inner dose와 surface dose 측정을 위해 인체모형 팬텀(Anderson rando Phantom, USA, Fig. 4)을 Head, Thorax, Pelvis의 3부위로 나눈 뒤, 매 실험마다 동일한 측정을 위해 측정 부위의 중심 head(Fig. 4), thorax(Fig. 5), pelvis(Fig. 6)에 isocenter를 설정한다. 그 다음 0.5x0.5cm크기로 자른 GafChromic EBT3 film을 팬텀의 surface의 anterior, posterior, left, right와 팬텀의 surface에서 2cm깊이의 anterior, posterior, left, right, center에 위치시킨 뒤 MVCT와 CBCT를 각각 3회씩 반복 측정한다.

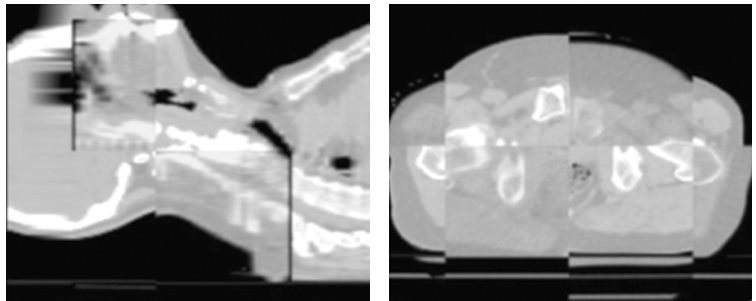


Fig 1-2. MVCT

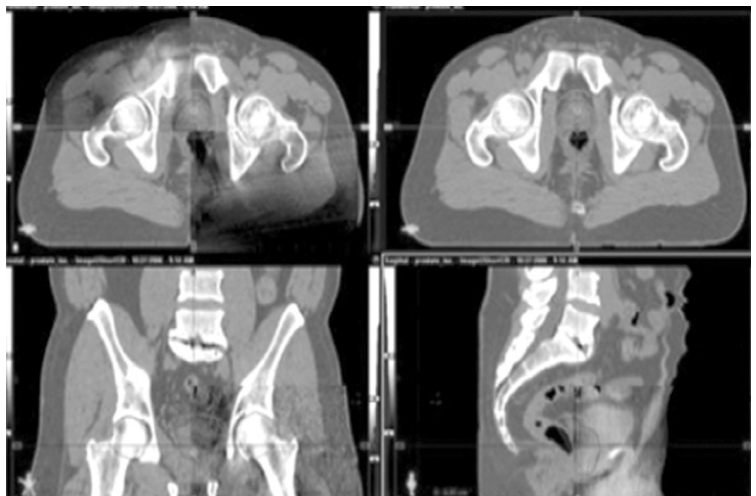


Fig 2-2. CBCT

결 과

EBT3 film은 현상 작업 없이 측정이 가능하며 원하는 모양으로 잘라 사용할 수 있다는 장점이 있지만, 지문 등과 같은 오염에 의해 오차가 발생할 수 있으므로 EBT3 film을 사용할 때에는 poly glove를 착용하여 오차를 줄이고자 노력하였다. 측정 시 사용된 조건은 현재 본원에서 사용되고 있는 parameter와 동일하게 하였다.(Table 1, 2) 측정된 film은 측정 후 4~12시간 내에 scanner를 이용하여 scan한 후 RIP version 6.0을 이용하여 선량을 측정한다. 측정된 data값은 오차를 줄이기 위해 일원분산분석법을 이용하여 평균값을 산출해 평가하였다.

인체모형팬텀을 이용하여 MVCT와 CBCT를 시행한 결과 MVCT inner dose의 측정값은 head에서 $15.43\text{cGy} \pm 6.05$, thorax에서 $16.62\text{cGy} \pm 3.08$, pelvis에서 $16.81\text{cGy} \pm 5.24$ 로 나타났으며, CBCT inner dose는 head에서 13.28 ± 3.68 , thorax에서 13.66 ± 4.04 , pelvis에서 15.52 ± 3.52 의 값을 나타냈다. Surface dose의 측정 값은 MVCT 시행 시 head에서 11.64 ± 4.05 , thorax에서 12.16 ± 4.38 , pelvis에서 12.05 ± 2.71 로 나타났으며, CBCT의 경우 head에서 14.59 ± 3.51 , thorax에서 15.82 ± 2.89 , pelvis에서 17.48 ± 2.80 을 나타내었다.



Fig 3. GafChromic EBT3 film

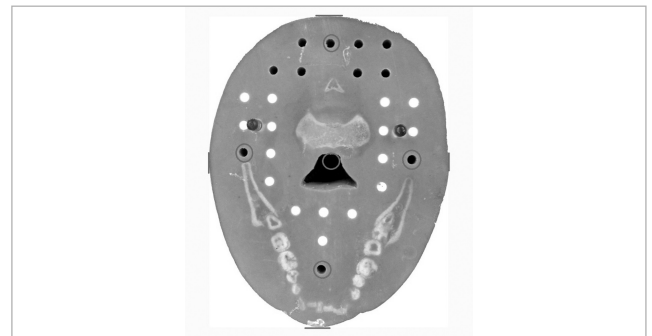


Fig 4. Head 측정 point

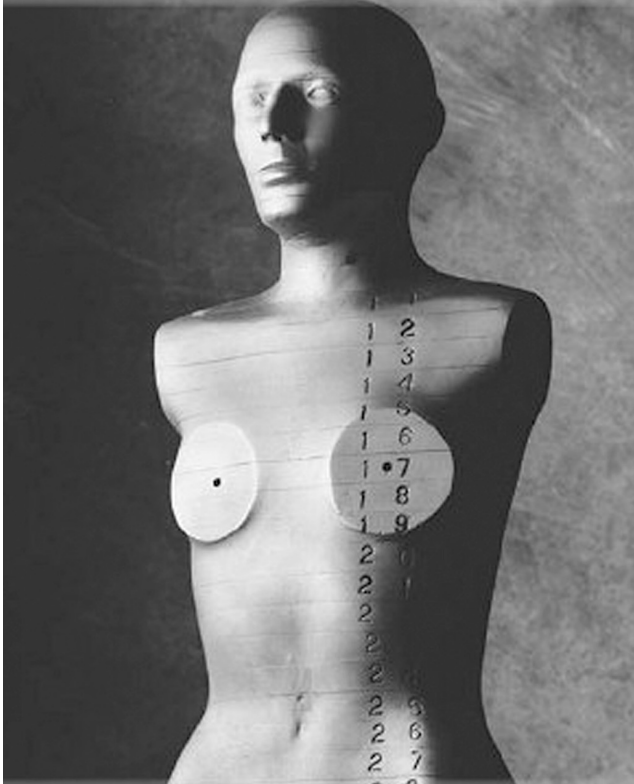


Fig 4. Anderson rando Phantom, USA

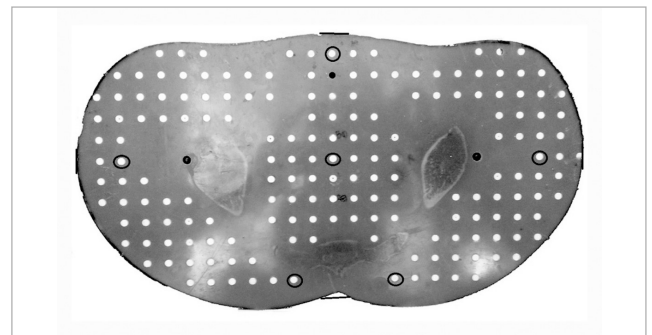


Fig 5. Thorax 측정 point

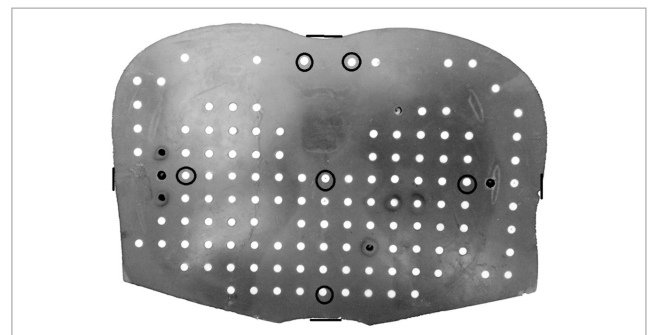


Fig 6. Pelvis 측정 point

결론 및 고찰

Inner dose의 경우 kV energy를 사용하는 CBCT보다 MV energy를 사용하는 MVCT에서 head에서 1.16배, thorax에서 1.22배, pelvis에서 1.08배 높게 나타났으며(Table 9), Surface dose의 경우 MVCT보다는 CBCT의 head에서 1.25

배, thorax에서 1.30배, pelvis에서 1.45배 높게 측정되었다.(Table 10)즉, CBCT는 kV energy를 사용하여 최대선량 지점이 표면에 위치하므로 MVCT에 비해 피부표면에 미치는 영향이 더 크며, MV energy를 사용하는 MVCT의 경우 최대선량지점이 심부에 위치하므로 CBCT에 비해 내부 장기에 더 많은 영향을 끼치게 되는 것을 알 수 있었다.

Table 1. MVCT 조건표

Hi Art Tomotherapy	scan mode	MV	sec	slice thickness	Longi extend	dose rate(mu/min)	cumulative(mu)
Head	coarse	3.5	141	6mm	16cm	42	93
Thorax	coarse	3.5	151	6mm	16cm	42	100
Pelvis	coarse	3.5	151	6mm	16cm	42	100

Table 2. CBCT조건표

Novalis Tx	scan mode	kV	mA	msec	slice thickness	Longi extend	Recon matrix	Diameter	Bowtie filter
Head	low-dose head	100	10	20	2.5mm	16cm	384*384	25*25	full fan
Thorax	low-dose head	110	20	20	2.5mm	16cm	384*384	45*45	half fan
Pelvis	pelvis	125	80	13	2.5mm	16cm	384*384	45*45	half fan

Table 3. Head에서의 Inner dose 측정값 (Unit : cGy)

Inner dose	MVCT		CBCT	
	평균	표준편차	평균	표준편차
head				
ant	18.86	9.28	16.60	3.83
post	16.53	7.07	11.71	3.58
left	15.99	5.62	13.93	4.83
right	15.12	2.86	14.30	6.09
center	10.66	5.40	9.88	0.05
평균	15.43	6.05	13.28	3.68

Table 4. Thorax에서의 Inner dose 측정값 (Unit : cGy)

Inner dose	MVCT		CBCT	
	평균	표준편차	평균	표준편차
thorax				
ant	17.12	0.84	13.43	4.08
post	13.01	4.41	12.05	1.63
left	19.81	5.27	15.32	5.12
right	14.86	2.39	11.90	4.63
center	18.29	2.49	13.62	4.73
평균	16.62	3.08	13.66	4.04

Table 5. Pelvis에서의 Inner dose 측정값 (Unit : cGy)

Inner dose	MVCT		CBCT	
	평균	표준편차	평균	표준편차
pelvis				
ant	17.12	6.35	16.80	4.40
post	17.67	3.33	13.39	3.46
left	17.36	6.84	16.96	2.70
right	16.14	3.47	15.53	2.25
center	15.74	6.22	14.92	4.79
평균	16.81	5.24	15.52	3.52

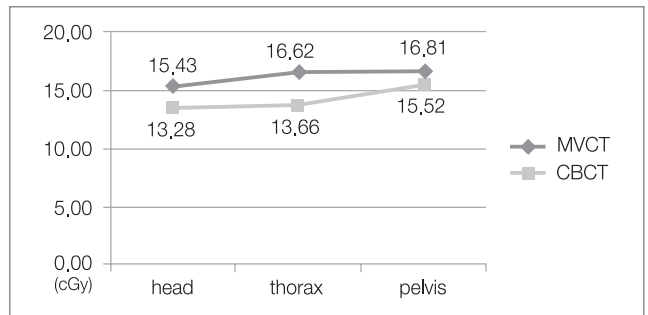


Fig 6. MVCT와 CBCT Inner dose의 비교 그래프

Table 6. Head에서의 Surface dose 측정값 (Unit : cGy)

Surface dose	MVCT		CBCT	
	평균	표준편차	평균	표준편차
head				
ant	10.39	1.24	11.52	4.13
post	11.08	5.34	16.43	4.57
left	10.32	4.72	15.14	4.74
right	14.75	4.89	15.26	0.60
평균	11.64	4.05	14.59	3.51

Table 8. Pelvis에서의 Surface dose 측정값 (Unit : cGy)

Surface dose	MVCT		CBCT	
	평균	표준편차	평균	표준편차
pelvis				
ant	15.23	4.78	18.68	0.72
post	12.89	4.81	19.59	0.82
left	10.27	0.65	15.09	5.46
right	9.79	0.62	16.55	4.21
평균	12.05	2.71	17.48	2.80

Table 9. MVCT와 CBCT inner dose의 차이값 (Unit : cGy)

Inner dose	MVCT	CBCT	차이값
head	15.43	13.28	1.16
thorax	16.62	13.66	1.22
pelvis	16.81	15.52	1.08

Imaging dose는 이차적 발생 및 불필요한 선량을 환자에게 줄 수 있기에 치료의 더욱더 많은 고려가 필요 할 것이다. 하지만 치료의 정확성과 특수치료 시 영상유도의 유용성을 알기에 이들의 Imaging dose를 최소화하기 위한 노력이 고려되어야 한다. 치료계획 시 Imaging dose를 고려하여 치료계획을 수립하거나 MVCT 촬영 시 Scan 범위를 최소화하여 시행하여 보다 나은 방사선 치료를 구현할 수 있을 것이라 사료된다.

참고문헌

1. Asa Palm, Elisabeth Nilsson, Lars Herrnsdorf, Absorbed dose and dose rate using the Varian OBI 1,3 and 1,4

Table 7. Thorax에서의 Surface dose 측정값 (Unit : cGy)

Surface dose	MVCT		CBCT	
	평균	표준편차	평균	표준편차
thorax				
ant	11.27	3.95	15.59	5.42
post	16.24	4.37	17.49	0.37
left	9.71	3.74	13.06	4.77
right	11.40	5.47	17.15	0.99
평균	12.16	4.38	15.82	2.89

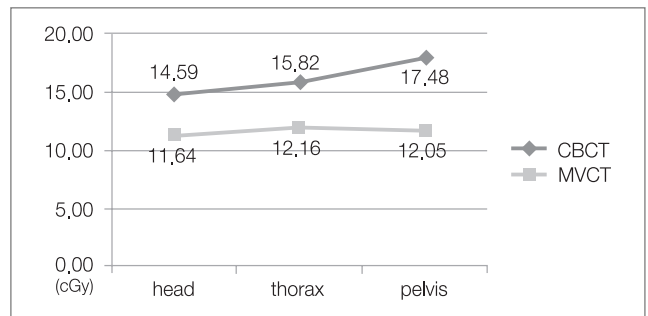


Fig 7. CBCT와 MVCT Surface dose 비교 그래프

Table 10. CBCT와 MVCT Surface dose의 차이값 (Unit : cGy)

surface dose	CBCT	MVCT	차이값
head	14.59	11.64	1.25
thorax	15.82	12.16	1.30
pelvis	17.48	12.05	1.45

CBCT system, Journal of APPLIED Clinical Medical Physics, Volume 11, Number 1, Winter 2010.

2. Amish P. Shah, PH.D., Katja M. Langen, PH.D., Kenneth J. Ruchala, PH.D., et al, Patient dose from megavoltage computed tomography imaging. Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys 2008; pp.1579-1587.

3. George X. Ding, PH.D., Charles W. Coffey, PH.D. Radiation dose from kilovoltage cone beam computed tomography in an image-guided radiotherapy procedure. Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys 2009; pp. 610-617.

4. Ding GX, Duggan DM, Coffey CW. Accurate patient dosimetry of kilovoltage cone-beam CT in radiation therapy. Med Phys 2008; 35(3):1135-44.
5. 나종억, 이도근, 김진수, 백금문, 권경태. kV Cone Beam Computed Tomography(CBCT)를 이용한 전립선암 영상유도방사선치료 시 흡수선량 및 유효선량에 관한 고찰. 대한방사선치료학회지. 2009
6. William Y. Song,^a Srijit Kamath, Shuichi Ozawa, Shlomi Al Ani, Alexei Chvetsov, Niranjana Bhandare, Jatinder R. Palta, Chihray Liu, and Jonathan G. Li. A dose comparison study between XVI and OBI CBCT systems. Medical Physics, Vol. 35, No. 2, February 2008
7. 천금성, 김창욱, 김희남, 허경훈, 송진호, 홍주영, 정재용. 토모테라피와 선형가속기를 이용한 동일 부위의 치료 시 종양 및 정상조직의 흡수선량 평가. 대한방사선치료학회지. 2010
8. A AMER, PhD, 1T MARCHANT, PhD, 2J SYKES, MSc, 1J CZAJKA, MSc and 1C MOORE, PhD - Imaging doses from the Elekta Synergy X-ray cone beam CT system / The British Journal of Radiology, 80 (2007), 476-482
9. A Amer, PhD¹, T Marchant, PhD¹, J Sykes, MSc², J Czajka, MSc¹ and C Moore, PhD. Imaging doses from the Elekta Synergy X-ray cone beam CT system / British Journal of Radiology (2007) 80, 476-482
10. Dan Hyer, PhD et al. Imaging doses in radiation therapy from kilovoltage conebeam computed tomography. University of Florida May 3, 2011

Abstract

Compare to Evaluate the Imaging dose of MVCT and CBCT

Department of Radiation Oncology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul.

Bo Reum Yoon, Mi Lan Hong, Jong Ho Ahn, Ki Won Song

Purpose : In case of the intensity modulated radiation therapy (IMRT) using Tomotherapy and linear accelerator (Linac), it was to compare and to evaluate the imaging dose of MVCT and CBCT that were performed daily for the correct set up of the patient.

Materials and Methods : The human body model Phantom (Anderson rando Phantom, USA) was divided into the three parts as Head, Thorax, pelvis, and after GafChromic EBT3 film cut to the size of 0.5x0.5 cm², in the center of the recording area were situated on the ant, post, left, and right surface of the phantom and 2cm in depth from the ant, post, left, right, and center surface of the phantom, the surface dose and inner dose were measured repeatedly three times, respectively, using the tomotherapy (Hi Art) and the OBI of NovalisTx. The measured film calculated the output value by RIP version6.0 and then the average value of the dose was calculated by the one-way analysis of variance.

Results : Using the human body model phantom, the results of MVCT and CBCT performance were that measurements of MVCT inner dose were showed 15.43cGy \pm 6.05 in the head, 16.62cGy \pm 3.08 in the thorax, 16.81cGy \pm 5.24 in the pelvis, and measurements of CBCT inner dose were showed 13.28 \pm 3.68 in the head, from 13.66 \pm 4.04 in the thorax, 15.52 \pm 3.52 in the pelvis. The measurements of surface dose were showed in case of MVCT performance, 11.64 \pm 4.05 in the head, 12.16 \pm 4.38 in the thorax, 12.05 \pm 2.71 in the pelvis, and in case of CBCT performance, 14.59 \pm 3.51 in the head, 15.82 \pm 2.89 in the thorax, 17.48 \pm 2.80 in the pelvis, respectively.

Conclusion : In case of Inner dose, the MVCT using MV energy showed higher than the CBCT using kV energy at 1.16 times in the head, at 1.22 times in the thorax, at 1.08 times in the pelvis, and in case of surface dose, the CBCT was higher than MVCT, at 1.25 times in the head, at 1.30 times in the thorax, at 1.45 times in the pelvis. Imaging dose was a small amount compared to the therapeutic dose but it was thought to affect partially to normal tissue because it was done in daily schedule. However, IMRT treatment was necessarily parallel with the IGRT treatment through the image-guide to minimize errors between planned and actual treatment. Thus, to minimize imaging dose that the patients receive, when planning the treatment, it should be set up a treatment plan considering imaging dose, or it must be performed by minimizing the scan range when shooting MVCT.

Keyword : MVCT, CBCT, Imaging dose