

영상유도 및 호흡동조 방사선치료에서의 영상장비에 의한 흡수선량 분석

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 방사선종양학교실*, 한양대학교 원자력공학과†

신정석* · 한영이* · 주상규* · 신은혁*[†] · 홍채선* · 안용찬*

목적: 영상유도방사선치료(IGRT)와 호흡동조방사선치료(4DRT)의 도입은 치료계획 및 치료부위 확인에서 환자에게 방사선 조사량을 증가시킬 가능성이 있다. 따라서 IGRT/4DRT용 영상장비와 기존 장비에서 영상선량을 측정 및 비교 하였다.

대상 및 방법: IGRT 및 4DRT를 위해 새로이 도입된 4DCT (GE, Ultra Light Speed 16)와 모의치료기(Varian Acuity), 그리고 치료기(Varian IX)에 장착된 kVp (OBI)의 영상장비 및 EPID (aSi 1000)를 대상으로, RANDO 팬텀의 표면 선량을 측정하여 기존의 장비들(single slice CT (GE, Light Speed), 모의치료기(Varian, Ximatron), L-gram (Varian 2100C))과 비교하였다. 측정은 열형광선량계를 이용하여 두뇌부, 눈, 갑상선, 흉부, 복부 및 골반부의 표면에서 측정하였다.

결과: 기존 CT와 비교하여 4DCT모드에서는 흉부와 복부에서 10배 이상의 선량증가를 보였다(1.74 ± 0.34 vs 23.23 ± 3.67 cGy). Acuity에서의 선량은 모든 측정부위에서 Ximatron보다 감소하였다(0.91 ± 0.89 vs 6.77 ± 3.56 cGy). EPID는 기존 L-gram 선량의 약 50% (1.83 ± 0.36 vs 3.80 ± 1.67 cGy)였다. OBI의 투시영상선량은 0.97 ± 0.34 cGy며, CBCT 선량은 2.3 ± 0.67 cGy였다.

결론: 4DCT가 선량증가의 가장 큰 원인이며, OBI와 CBCT에 의한 선량은 적으나 매번 치료에 적용 시 총 선량 증가에 대한 고려가 필요하다.

핵심용어: 영상유도방사선치료, 호흡동조방사선치료, 영상선량

서론

지난 수 십년 간 영상기술의 발전으로 환자의 3차원적 해부학적 영상정보의 획득과 3차원적 선량흡수 계산 알고리즘의 개발로 보다 정확한 방사선치료계획이 가능하게 되었으며, 다엽콜리메이터를 장착한 의료용 선형가속기의 개발로 세기변조방사선치료(IMRT, Intensity Modulated Radiation Therapy)가 가능하게 되었다. 최근에 국내에 도입되고 있는 4차원 호흡연동방사선치료(4DRT, 4-Dimensional Radiation Therapy)는 호흡으로 발생하는 종양 및 주변정상

장기의 움직임에 적극적으로 치료에 반영하여 주변 정상 장기에 고 선량의 방사선 투여를 줄일 수 있는 치료법이다.^{1~3)} 이러한 방사선치료법들은 표적흡수선량을 높이며 동시에 방사선 치료부작용을 줄여주는 치료법이지만 환자의 자세 등 정확한 치료위치 확인이 요구되어, 영상유도 방사선치료(IGRT)의 도입이 가속화되고 있다.^{4~6)}

그러나 이러한 최신의 치료법들은 환자에게 저에너지 X-선에 의한 전신 방사선조사량을 증가시킬 수 있으며, 이에 대한 충분한 이해를 바탕으로 치료계획과 치료과정을 정립하는 것이 필요하다. 보고된 바에 의하면, IMRT는 기존치료법(2DRT 및 3DRT)에 비해 2~3배의 높은 MU가 설정됨으로 인하여 산란 방사선에 의한 전신선량이 증가하고, MLC간 누설선량의 증가를 야기한다.^{7,8)} 또한 10 MV이상의 X-선을 사용하여 IMRT를 시행하면, 중성자에 의한 선량이 증가되며 이러한 중성자의 생물학적 효과가 X-선에 비하여 큰 이유로, 환자의 2차적인 암을 유발할 위험도도 증가하게 된다.

IMRT 및 4DRT/IGRT는 치료계획을 위한 CT 촬영과 매

이 논문은 2008년 11월 6일 접수하여 2009년 2월 6일 채택되었음.
책임저자: 한영이, 삼성서울병원 방사선종양학과
Tel: 02)3410-2604, Fax: 02)3410-2619
E-mail: youngyih@skku.edu
본 연구는 2008년도 원자력 중장기 연구비(No. M20706000007-08M0600-00712)의 일부 지원으로 수행되었음.

치료 시에 해부학적 정보에 의한 환자 위치확인이 필수적이다. 이로 인하여 저에너지 X-선을 사용한 영상획득이 빈번해지며, 이는 잠정적으로 환자의 치료 빔 외에 추가적인 방사선 투여를 증가시킨다. 저에너지의 X-선이 치료용의 고에너지 X-선에 비교하여 생물학적 효과가 큰 것을 고려하면,^{9,10)} IGRT 및 4DRT를 도입하고 치료진행 과정을 정립할 때, 환자에 대한 추가 방사선량을 정량적으로 측정하고 그 결과를 바탕으로 치료절차를 정하는 것이 필요하다. 이에 따라 최근의 AAPM 보고서에서는 방사선 치료를 받는 환자들에 대한 영상 선량을 그 동안 무시할 만큼 적은 양으로 여겨왔지만, IGRT의 도입으로 인한 영상선량을 분석하여 효과적이고 효율적으로 영상사용을 관리할 것을 권고하고 있다.¹¹⁾

따라서 본 연구에서는 IGRT/4DRT 시행 전 전통적 방식으로 치료계획을 세우고 치료 전 위치를 확인하는 방식과 IGRT/4DRT의 도입으로 인하여 추가적으로 조사되는 선량을 확인하기 위하여, 영상장비에 의한 선량을 측정하여 비교하는 것을 목적으로 하였으며, 이를 치료과정 결정에 반영하고자 하였다.

대상 및 방법

삼성서울병원 암센터에 새로 설치된 영상장비와 기존에 사용하던 영상장비의 모델과 제조사를 Table 1에 정리하였다.

새로 도입하게 된 IGRT/4DRT용 4DCT와 디지털 모의 치료기인 Acuity, 그리고 선형가속기에 장착된 OBI (On Board Imager), CBCT (Cone Beam Computed Tomography) 및 EPID (Electronic Portal Imaging Device)에 의한 환자선량을 각각 측정하였고, 이를 기존에 사용하던 single slice CT, 아날로그형 모의치료기인 Ximatron, 그리고 L-gram 촬영 시 투여되는 선량과 비교하였다.

측정은 RANDO 팬텀(The Phantom Laboratory, Salem,

NY, USA)을 모의 환자로 사용하였고, 팬텀의 표면에 열형광선량계(TLD-100, Harshaw, USA)를 부착하여 표면선량을 측정하였다. 측정의 위치는 두뇌(brain), 눈(eye), 갑상선(thyroid), 흉부(chest), 복부(abdomen), 난소(ovary), 전립선(prostate), 우측골반(pelvis)의 8곳을 선택하였다. 전립선과 골반측부를 제외한 각 부위에 대하여는 각 장기 위치의 좌, 우 양측에 TLD를 부착하였다. 8개의 장기위치를 선택한 이유는 두경부, 흉부, 복부/골반부 등 각 부위에 따라 영상장비의 관전압과 관전류(mA), 조사시간이 다르며 이에 따라 조사선량이 변하는 특성을 반영하고자 한 것이다. 측정의 조건은 각 치료부위에서 환자 촬영에 전형적으로 사용되는 영상획득 조건을 사용하였으며, 그 자세한 내용은 Table 2에 제시하였다. 흉부와 복부에 대하여 4DCT를 추가로 촬영하여 helical mode인 일반 촬영시의 조사선량과 비교하였다. 4DCT의 촬영조건은 관전압, 관전류 그리고 시간이 자동으로 설정되도록 하였다. 의료용 선형가속기(Varian IX, Palo Alto, CA, USA)에 장착된 CBCT는 실제 환자의 영상획득 시에 사용하는 저선량 모드(low dose mode)로 촬영하였으며, 두경부는 full-fan 모드로 half bowtie를 사용하였고, 그 외 부위는 half-fan 모드에 full bowtie를 장착하고 측정하였다. OBI는 흉부 및 복부에 사용하는 투시영상(fluoroscopy)모드에서 측정하였다. 모의치료기는 환자의 흉부와 복부 촬영 시 영상저장까지 소요되는 평균시간을 적용하여, 아날로그형 모의치료기는 1분을 디지털 모의치료기는 평균 30초를 적용하였으며 관전압과 관전류는 촬영부위에 따라 모의치료기에서 자동설정되도록 하였다.

TLD의 사용시 각 소자간 방사선에 대한 감수성의 편차를 줄이기 위하여, 각각의 측정부위에 동일한 TLD 소자를 사용하였다.

결 과

각 영상장비를 이용한 촬영 시 환자에게 투여되는 표면

Table 1. Manufacturers and Models of Newly Installed and Existing Devices

	Device	Manufacturer	Model
Existing device	CT	GENERAL ELECTRIC	Lightspeed
	Simulator	VARIAN	Ximatron
	L-gram	VARIAN	2100C
New device	CT/4DCT	GENERAL ELECTRIC	Lightspeed Ultra 16/RPM
	Simulator	VARIAN	Acuity
	Portal vision	VARIAN	aS1000
	OBI fluence	VARIAN	iX OBI
	CBCT	VARIAN	iX OBI

Table 2. Image Acquisition Parameters for Imaging Devices

		mA	kVp	Slice thickness (mm)
CT*	Head & Neck	120	120	3
	Chest & Abdomen	140	120	3
	Pelvis	140	120	3
CT [†]	Head & Neck	250	120	2.5
	Chest & Abdomen	250	120	5
	Pelvis	250	120	2.5
4DCT mode [†]	Head & Neck	250	120	2.5
	Chest & Abdomen	250	120	2.5
	Pelvis	250	120	2.5
		mA	kVp	Exposure period (sec)
Simulator*	Head & Neck	30 & 35	65 & 25	1
	Chest & Abdomen	25 & 30	60 & 80	1
	Pelvis	35 & 55	70 & 95	1
Simulator [†]	Head & Neck	40	80	0.6
	Chest & Abdomen	40	95	0.5
	Pelvis	80	110	0.4
OBI fluoroscopy [†]	Head & Neck			
	Chest & Abdomen	80	80 & 85	0.5
	Pelvis			-
CBCT [†]	Head & Neck	40	125	-
	Chest & Abdomen	40	125	-
	Pelvis	40	125	-
		Energy (MV)	MU	
L-gram*	Head & Neck	6	AP:5, Lat:7	-
	Chest & Abdomen	10	AP:7, Lat:7	-
	Pelvis	10	AP:4, Lat:7	-
EPID [†]	Head & Neck	10	AP:4, Lat:4	-
	Chest & Abdomen	10	AP:4, Lat:4	-
	Pelvis	10	AP:4, Lat:4	-

*existing devices, [†] newly installed devices

선량의 측정결과를 Table 3에 정리하였다. 치료계획을 위해 촬영하는 CT의 일반 helical mode로 촬영시 single slice CT에 비해 두경부 선량(두뇌, 눈, 갑상선부위의 평균선량)은 평균 2.6배, 흉부 선량은 4.4배, 골반부 선량(복부선량과 전립선, 난소, 우측골반의 평균선량)은 4.5배 증가하였다. 이는 Lightspeed Ultra RT16의 권장 프로토콜을 사용하면 기존의 CT보다 더 높은 관전류(mA)로 촬영되기 때문이다. 4DCT 촬영은 동일 장비의 helical mode에 비해서 평균 3.0 배, 기존 CT의 helical mode시보다는 평균 13.5배의 선량 증가를 보였다. 디지털 모의치료기 Acuity에서 표면 흡수 선량은 아날로그형 Ximatron에 비교하여 두경부에서는 95%, 흉부에서는 78%, 복부는 70%, 그리고 골반부는 87%의 선량 감소를 보였다.

치료 전 치료부위 확인을 위한 EPID영상 획득시의 선량을 film을 사용한 L-gram과 비교하면, 평균 선량이 두경부

는 16%, 흉부는 56%, 복부는 48%, 그리고 골반부는 70%가 감소하였다. 투시영상 모드로 OBI를 촬영 시 흉부에 평균 0.8 cGy, 복부에 1.1 cGy가 조사되었다. CBCT는 모든 부위에서 대략 2 cGy 내외가 조사되었으며, 각 부위별 평균 선량은 두경부 2.2 cGy, 흉부 1.9 cGy, 복부 2.4 cGy 골반부 2.6 cGy의 선량이 측정되었으나, 이 중 갑상선 부위와 전립선 위치에서의 방사선량이 3.3 cGy로 타 부위에 비하여 높게 나타났다.

따라서 IGRT/4DRT가 아닌 일반 치료 시에 환자가 첫 치료까지 받는 영상선량은 기존에 사용하던 장비들인 경우 CT촬영, 모의치료 촬영, L-gram 촬영 1회인 경우 두경부 9.9 cGy, 흉부 9.7 cGy, 복부 10.4 cGy, 골반부 18.2 cGy를 받게 되며, 새로운 장비들로 같은 과정을 시행할 때 두경부 6.0 cGy, 흉부 10.6 cGy, 복부 11.0 cGy, 골반부 11.0 cGy로 두경부와 골반부 치료환자에서는 선량 감소를 보였으

Table 3. Dose at Each Measurement Points

Measurement point			Dose from existing devices (cGy)			Dose from new devices (cGy)					
			CT	Sim.*	L-gram	CT	4DCT	Sim*	EPID	OBI	CBCT
Head & Neck	Brain	Rt	1.51	5.30	4.13	3.66	-	0.34	0.95	0.05	1.77
		Lt	1.58	4.52	5.64	4.47	-	0.10	1.29	0.03	1.57
	Eye	Rt	1.48	9.44	0.81	4.24	-	0.36	1.78	0.05	1.52
		Lt	1.44	7.32	1.17	4.06	-	0.23	1.45	0.04	1.53
	Thyroid	Rt	1.99	2.73	2.76	4.73	-	0.17	1.63	0.05	3.32
		Lt	2.16	2.58	3.03	4.78	-	0.15	1.65	0.12	3.25
Chest	Rt	1.55	3.98	3.33	7.32	21.97	1.05	1.76	(1.11) [†]	1.75	
	Lt	2.01	4.54	4.01	8.26	19.52	1.31	1.45	(0.54) [†]	2.02	
Abdomen	Rt	1.71	5.67	4.07	8.56	28.23	1.45	2.33	(1.51) [†]	2.24	
	Lt	1.69	3.78	3.78	6.66	28.21	1.29	1.80	(0.72) [†]	2.54	
Pelvic region	Ovary	Rt	1.87	10.54	6.38	8.62	-	1.31	1.90	0.08	2.27
		Lt	2.27	9.47	5.39	8.40	-	0.79	1.64	0.07	2.34
	Prostate	Rt pelvis	2.13	10.66	5.90	8.84	-	0.68	1.25	0.07	3.32
		Rt pelvis	1.05	14.30	2.74	5.70	-	3.46	1.07	0.08	2.50

*simulator, [†] fluoroscopy mode

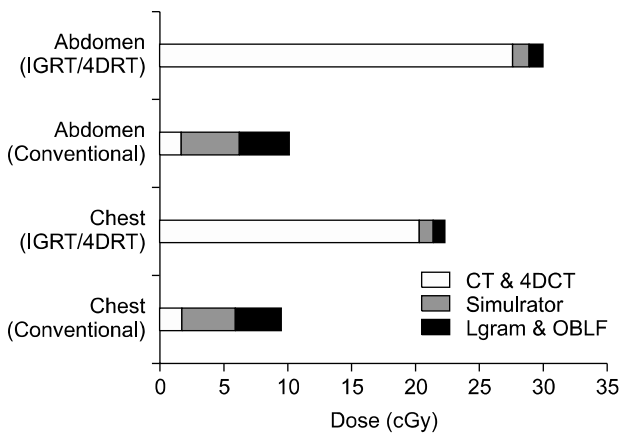


Fig. 1. Comparison of imaging dose for IGRT/4DRT treatments and conventional treatments until the 1st treatment.

며, 흉부와 복부에서는 비슷한 선량을 받는 것으로 관측되었다.

IGRT/4DRT를 시행 시에 첫 치료시점까지 환자가 받는 영상선량은 흉부인 경우 자유호흡 상태에서 helical mode로 1회 촬영 후 4DCT 촬영, 모의 치료, OBI로 치료부위 1회 확인 시에 30.5 cGy의 선량을, CBCT로 확인하는 경우에는 32.3 cGy의 선량을 환자가 받게 되며, 복부인 경우에는 부위확인을 OBI로 할 때 35.8 cGy, CBCT로 할 때 38.0 cGy를 받게 된다(Fig. 1).

고안 및 결론

본 연구의 측정결과에서 새로운 영상장비가 기존 영상

장비에 비해 치료계획 단계에서는 4DCT에 의한 선량 증가가, 그리고 모의 치료단계에서는 선량 감소가 관찰되었다(Table 4). CT에 의한 선량 증가는 새로 설치된 CT가 기존 CT에 비해 높은 관전류(mA)로 촬영되는 것이 원인이다.¹²⁾ 특히 4DCT의 경우 본 연구에서 대상이 된 CT가 구현하는 cine mode의 특성상, 한 bed position에서 gantry가 다중 회전하여 환자에 대한 선량이 높아지게 된다. 관전류를 helical mode와 같은 조건으로 놓고 측정하여 cine mode인 선량증가를 볼 수 있었으나, 상대적으로 4DCT에서 호흡주기 별로 분리하여 재 구성된 영상의 질이 낮아 관전류를 높여야 하는 경우에는 4DCT에서 선량은 더 큰 증가를 보일 수 있다.

따라서 4DCT의 촬영부위 선택 시 최소의 범위를 결정하는 것이 요망된다. 그러나 치료계획용 CT에서는 주위의 위험장치에서 선량체적히스토그램과 같은 선량분포를 예측하는 것이 필요하므로, 4DCT가 아닌 helical mode에서 추가 영상을 얻는 것이 바람직한 것으로 생각된다.

디지털형 모의치료기는 정해진 위상에서 정지영상을 자동으로 획득하는 기능이 추가되어, 과거 아날로그형 모의치료기에서 수동으로 영상획득 시보다 적은 선량으로 모의치료가 시행될 수 있었다.

자세의 확인 단계에서의 영상선량은 IGRT를 시행하여 CBCT로 자세 확인을 하는 경우, 기존의 megavoltage X-선을 사용하는 L-gram에 비교하여 두경부의 평균 선량은 약간 감소하였으나(2.9 cGy vs 2.2 cGy), 양측 눈과 갑상선 부위에서는 CBCT에서의 선량이 약간 증가됨을 보였다(눈: 1 cGy vs 1.5 cGy, 갑상선: 2.9 cGy vs 3.3 cGy). 눈과 갑상선

Table 4. Comparison of Averaged Dose from Two Different Sets of Imaging Devices

Measurement point	Dose from existing devices (cGy)			Dose from new devices (cGy)						Ratio* (New device dose/existing device dose)		
	CT	Sim.*	L-gram	CT	4DCT	Sim*	EPID	OBI	CBCT	CT	Sim	CBCT/L-gram
Head & Neck	1.69	5.32	2.92	4.32	-	0.22	1.46	0.02	2.16	2.59	0.05	1.03
Chest	1.78	4.26	3.67	7.79	20.75	1.18	1.60	(0.83) [†]	1.89	4.41	0.28	0.51
Abdomen	1.70	4.72	3.93	7.61	25.72	1.37	2.06	(1.12) [†]	2.39	4.48	0.3	0.61
Pelvis	1.83	11.24	5.10	7.89	-	1.56	1.47	0.02	2.61	4.47	0.13	0.57

*RBE is not applied to kilovoltage dose, [†]fluoroscopy mode

에서 CBCT의 선량이 증가한 원인은, 두경부 L-gram의 double exposure 촬영 시 눈을 차폐하여 눈에 선량이 적게 조사되었고, 갑상선인 경우에는 목 부위가 두뇌부 보다 작은 두께로 인하여 CBCT 촬영 시 선량이 증가하는 것이 원인이다. Kilovoltage X-선의 상대생물학적효과(relative biology effectiveness)가 megavoltage X-선 보다 높으며 최근의 연구 결과에 의한 값 1.8을 적용하면,^{9,10} 실질적으로 두경부를 CBCT로 확인 시 L-gram에 비교하여 평균 1.4배, 눈에서는 2.7배까지의 높은 표면선량이 투여된다. 그러나 흉부와 복부 및 골반부에서는 CBCT의 측정선량이 L-gram 선량의 50~60%이어서, 상대생물학적효과를 고려하여도 L-gram과 비슷한 선량을 받는다.

Walter 등¹³)은 전리함을 이용하여 전립선암 환자들을 대상으로 in-vivo dosimetry를 시행한 결과로 CBCT의 직장(rectum) 선량이 megavoltage의 L-gram시의 선량에 비교하여 약 26%로 적은 것을 보였으며, CBCT의 팬텀 내부의 주변 선량이 평균 2.54 cGy임을 보고하고 있어, 본 연구에서 표면선량의 비교로 얻은 것과 동일한 결과를 보이고 있다. 또한 Ding 등¹⁴)이 Monte Carlo 모사를 이용하여 Varian사의 CBCT의 half-fan 모드로 영상촬영 시에 골반부위에서의 심부 선량이 표면 선량에 비교하여 50%까지 감소하는 것을 보이고 있다. 복부와 골반부등의 자세 확인용 kilovoltage 영상의 질이 megavoltage에 비교하여 우수하고 부피정보를 주는 영상으로 CBCT를 사용한 자세 확인이 2차원 영상에 비교하여 더 우수하므로^{15,16}) 연 조직 장기의 확인이 필요한 복부 및 골반부의 종양확인에 사용하는 것은 영상선량의 증가 없이 보다 정확한 위치확인에 유용한 것으로 사료된다.

그러나 두경부의 경우 눈과 갑상선부위의 표면선량은 CBCT가 더 높게 나타나고 있으며, Isalm 등¹⁷)이 CBCT에 대한 선량을 측정된 연구에 따르면 두경부인 경우 두경부의 내부에서의 선량이 표면선량의 85~103%로 보고하고

있고 Ding 등¹⁴)의 Monte Carlo 계산에서도 두경부의 심부 선량이 좌우의 체표면 선량의 약 89%임을 보이고 있어 표면선량뿐 아니라, 내부선량 역시 CBCT의 선량이 L-gram의 선량보다 높을 것임을 시사하고 있다. 따라서 치료 beam을 사용하는 L-gram의 2차원 영상 사용에 비교하여 CBCT 사용 시에는 환자에게 더 많은 방사선량이 조사됨을 유념하여야 하겠다. 그러나 film을 사용한 L-gram에 비교하여, EPID영상에서는 눈을 제외한 모든 측정점에서 적은 선량을 보였으며, OBI에서도 적은 선량을 보여 digital 영상으로의 전환이 많은 경우 선량을 감소시킬 수 있다.

4DRT 시행 시 추가적으로 종양의 움직이는 범위를 확인하고자 할 때, OBI를 투시영상 모드로 사용하면 흉부/복부에서 1회 평균 표면선량이 약 1.0 cGy가 추가로 조사되며, 이는 반복 횟수에 비례하여 증가 할 것이다. 또한 CBCT로 확인 시 약 2 cGy가 조사되어 1회의 선량이 크지 않지만, 4DRT의 특성상 매번 치료 시 시행해야 하는 것을 고려하면, CBCT를 저선량모드로 흉부를 20회 확인하는 경우 총합 선량이 40 cGy가 되고 1.8의 RBE를 적용하면 72 cGy로 높아진다. CBCT 촬영 시 많이 사용하는 125 kVp의 관전압의 최빈 에너지는 bowtie 사용 시 약 50 keV로¹⁵) 이 에너지 영역에서는 광전효과 기전이 작용하는 것을 고려하면, 체내의 뼈 조직은 이 보다 많은 선량이 흡수 될 수 있음과 저선량모드가 아닐 때 이보다 더 큰 선량이 흡수될 수 있음을 유념해야 할 것으로 생각된다.

본 연구에서 팬텀의 표면선량을 측정하여 최근에 방사선 종양학과에 많이 도입되고 있는 새로운 모델의 영상장비들로 인한 환자의 추가 선량을 기존의 장비들과 비교하였다. 그 결과 선량 증가의 가장 큰 원인은 IGRT/4DRT를 시행하기 위해 사용되는 4DCT로서, 기존에 사용하던 구모델 CT에 비해 약 10배정도의 선량 증가를 보였다. 4DCT를 제외한 모의치료기와 OBI, CBCT는 기존보다 적은 선량을 주면서 두경부를 제외한 흉부와 복부에서는 선량증가 없

이 좋은 영상을 얻을 수 있었다. 따라서, 4DRT를 준비하면서 4DCT의 사용횟수와 촬영부위를 최소화하고, CBCT와 OBI에 의한 1회 선량은 작지만 시행 횟수에 대한 누적 선량을 고려하여 최소한의 횟수를 사용하는 노력이 필요하다.

참 고 문 헌

1. **Garsa AA, Andrade RS, Heron DE, et al.** Four-dimensional computed tomography-based respiratory-gated whole-abdominal intensity-modulated radiation therapy for ovarian cancer: a feasibility study. *Int J Gynecol Cancer* 2007;17:55-60
2. **Jin JY, Ajlouni M, Chen Q, et al.** Quantification of incidental dose to potential clinical target volume (CTV) under different stereotactic body radiation therapy (SBRT) techniques for non-small cell lung cancer-tumor motion and using internal target volume (ITV) could improve dose distribution in CTV. *Radiother Oncol* 2007;85:267-76
3. **van der Geld YG, van Triest B, Verbakel WF, et al.** Evaluation of four-dimensional computed tomography-based intensity-modulated and respiratory-gated radiotherapy techniques for pancreatic carcinoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2008;72(4):1215-20
4. **Bak JN, Jeong KK, Keum KC, Park SW.** On-line image guided radiation therapy using cone-beam CT (CBCT). *J Korean Soc Ther Radiol Oncol* 2006;24:294-299
5. **Oh SJ, Kim SY, Suh TS.** How image quality affects determination of target displacement when using kV cone-beam computed tomography (CBCT). *Korean J Medical phys* 2006;17:207-211
6. **Song JY, Nah BS, Chung WK, Ahn SJ, Nam TK, Yoon MS.** Analysis of respiratory motional effect on the cone-beam CT Image. *Korean J Medical phys* 2007;18:81-86
7. **Followill D, Geis P, Boyer A.** Estimates of whole-body dose equivalent produced by beam intensity modulated conformal therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1997;38:667-672
8. **Followill D, Geis P, Boyer AE.** Estimates of whole-body dose equivalent produced by beam intensity modulated conformal therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1997;39:783
9. **Hill M.** The variation in biological effectiveness of X-rays and Gamma rays with energy. *Radiat Prot Dosimetry* 2004;112:471-481
10. **Joiner MC, Marples B, Lambin P, Short SC, Turesson I.** Low-dose hypersensitivity: current status and possible mechanisms. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001;49:379-389
11. **Murphy MJ, Balter J, Balter S, et al.** The management of imaging dose during image-guided radiotherapy: report of the AAPM Task Group 75. *Med Phys* 2007;34:4041-4063
12. **Mulkens TH, Bellinck P, Baeyaert M, et al.** Use of an automatic exposure control mechanism for dose optimization in multi-detector row CT examinations: clinical evaluation. *Radio-logy* 2005;237:213-223
13. **Walter C, Boda-Heggemann J, Wertz H, et al.** Phantom and in-vivo measurements of dose exposure by image-guided radiotherapy (IGRT): MV portal images vs. kV portal images vs. cone-beam CT. *Radiother Oncol* 2007;85:418-423
14. **Ding GX, Duggan DM, Coffey CW.** Accurate patient dosimetry of kilovoltage cone-beam CT in radiation therapy. *Med Phys* 2008;35:1135-1144
15. **Bak JN, Park SH, Park SW.** A Study on the Availability of the On-Board Imager (OBI) and Cone-Beam CT (CBCT) in the Verification of Patient Set-up. *The journal of the Korean society for therapeutic radiology and oncology* 2008; 26(2):118-125
16. **Borst GR, Sonke JJ, Betgen A, et al.** Kilo-voltage cone-beam computed tomography setup measurements for lung cancer patients: first clinical results and comparison with electronic portal-imaging device. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2007; 68:555-561
17. **Islam MK, Purdie TG, Norrlinger BD, et al.** Patient dose from kilovoltage cone beam computed tomography imaging in radiation therapy. *Med Phys* 2006;33:1573-1582

— Abstract —

Analysis of the Imaging Dose for IGRT/Gated Treatments

Jung Suk Shin, M.S.*, Youngyih Han, Ph.D.*, Sang-Gyu Ju, Ph.D.*, Eunhyuk Shin, M.S.*[†],
Chae Seon Hong and Yong-Chan Ahn, M.D.*

*Department of Radiation Oncology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine,
[†]Department of Nuclear Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea

Purpose: The introduction of image guided radiation therapy/four-dimensional radiation therapy (IGRT/4DRT) potentially increases the accumulated dose to patients from imaging and verification processes as compared to conventional practice. It is therefore essential to investigate the level of the imaging dose to patients when IGRT/4DRT devices are installed. The imaging dose level was monitored and was compared with the use of pre-IGRT practice.

Materials and Methods: A four-dimensional CT (4DCT) unit (GE, Ultra Light Speed 16), a simulator (Varian Acuity) and Varian IX unit with an on-board imager (OBI) and cone beam CT (CBCT) were installed. The surface doses to a RANDO phantom (The Phantom Laboratory, Salem, NY USA) were measured with the newly installed devices and with pre-existing devices including a single slice CT scanner (GE, Light Speed), a simulator (Varian Ximatron) and L-gram linear accelerator (Varian, 2100C Linac). The surface doses were measured using thermo luminescent dosimeters (TLDs) at eight sites—the brain, eye, thyroid, chest, abdomen, ovary, prostate and pelvis.

Results: Compared to imaging with the use of single slice non-gated CT, the use of 4DCT imaging increased the dose to the chest and abdomen approximately ten-fold (1.74 ± 0.34 cGy versus 23.23 ± 3.67 cGy). Imaging doses with the use of the Acuity simulator were smaller than doses with the use of the Ximatron simulator, which were 0.91 ± 0.89 cGy versus 6.77 ± 3.56 cGy, respectively. The dose with the use of the electronic portal imaging device (EPID; Varian IX unit) was approximately 50% of the dose with the use of the L-gram linear accelerator (1.83 ± 0.36 cGy versus 3.80 ± 1.67 cGy). The dose from the OBI for fluoroscopy and low-dose mode CBCT were 0.97 ± 0.34 cGy and 2.3 ± 0.67 cGy, respectively.

Conclusion: The use of 4DCT is the major source of an increase of the radiation (imaging) dose to patients. OBI and CBCT doses were small, but the accumulated dose associated with everyday verification need to be considered

Key Words: Image Guide Radiation Therapy, 4-dimensional radiation therapy, Radiation dose