

영상유도방사선치료시 확인 영상의 흡수선량평가

한국원자력의학원 방사선종양학과

황선봉 · 김기환 · 김일환 · 김 우 · 임형서 · 한수철 · 강진목 · 김진호

목 적 : 방사선 치료 전 종양의 정확한 위치확인을 위한 치료 전 확인영상인 2D(AP,LAT), 3D(CBCT)의 흡수선량을 평가해보았다.

대상 및 방법 : Varian사에서 제작한 OBI(Version1.5) System, CTDI 측정 phantom 및 이온chamber, 교정된 유리선량계(GD-352M)를 이용하여 두부, 흉부, 복부의 부위별 촬영조건에 따라 Rando phantom 에 0°, 90°, 180°, 270°, 중심부에 각각 3개씩의 유리선량계를 부착하여 Field size 26.6X20, 15X15로 나누어 측정하였다. 또한 같은 방법으로 CBCT width를 16cm, 10cm로 나누어 동일하게 측정하였다.

결 과 : 2차원영상 AP 촬영은 입사방향인 0°에서 가장 크게 측정되었으며 Field size 를 26.6X20, 15X15로 변화 시켰을 때 흡수선량은 두부에서 각각 1.44±0.26 mGy, 1.17±0.02 mGy, 흉부는 3.08±0.86 mGy, 0.57±0.02 mGy, 복부는 8.19±0.54 mGy 4.19±0.08 mGy로 Field size 축소에 따라 평균 5~12%감소하였다. Lat 촬영 시에는 각각 5~8%감소하였다.

3차원영상 CBCT 에서는 width를 16 cm, 10 cm로 변화시킴에 따라 CBDI 측정값은 두부 4.39±0.11 mGy, 3.99±0.13 mGy, 흉부(LDCT) 34.88 ±0.93(10.48±0.09) mGy, 31.01±0.3(9.30±0.09) mGy 복부 35.99±1.86 mGy, 32.27±1.35 mGy로 약 8~11%감소하였다.

결 론 : 2D는 조사면 크기를 줄여 5~12%, 3D는 width를 줄여줌으로써 8~11% 환자피폭선량을 감소시킬 수 있었다. 영상선량을 줄이기 위한 방사선사의 인식의 전환이 필요하고 다수의 CBCT 촬영시 치료처방선량에 영상선량의 포함여부도 고려되어야 할 것으로 사료된다.

핵심용어 : 영상유도방사선치료, 영상선량, 유리선량계, CBDI(Cone Beam Dose Index)

서 론

방사선치료의 효과를 높이기 위해서는 모의치료와 동일한 환자체위의 재현 및 정확한 종양위치 확인이 중요하며, 이를 위해 다양한 형태의 방사선영상장치들이 사용되면서 환자 피폭 관리의 필요성이 증대되고 있다. 특히 소아암환자의 높은 방사선 민감도와 암의 조기 발견 및 방사선치료 기술의 향상 등으로 인한 암환자 기대수명의 증대 등을 고려할 때, ALARA (As Low As Reasonably Achievable) 원칙에 입각한 영상유도방사선 치료 (IMAGE GUIDED RADIATION THERAPY)에 수반되는 영상선량의 적절한 관리가 필요하다.¹⁾

방사선종양학 분야에서는 치료를 위해 투여되는 치료선

량과 비교하여 영상획득에 수반되는 피폭선량은 무시할 수준이라고 인식되어 왔다. 하지만 치료기술의 발전에 따라 영상유도방사선치료와 같은 3차원영상치료기법이 도입되면서 환자의 피폭선량은 점점 증가하고 있다. 또한 정상조직의 피해를 최소화하고 최적의 치료선량 전달을 위해 2, 3차원 영상 및 호흡 동조 4차원 영상의 촬영빈도가 높아지고 있다. 보고에 따르면 4차원 영상의 흡수선량은 3차원 영상보다 대략 3배 정도 피폭 선량이 증가하는 것으로 알려져 있다.²⁾

영상의학과 같이 저선량을 사용하는 경우에는 방사선에 의한 부작용이 확률적 영향으로 나타나고 있으며, 방사선방어에서 이론적으로 LNT(Linear - Non - Threshold) 모델을 적용하고 있다.³⁾ 따라서 어떠한 효과를 직접적으로 나타내는 문턱선량이 없고 방사선을 사용하는데 있어 안전한 선량이 없음을 나타내기 때문에 선량을 저감하는 것이 중요하다. 방사선방어의 기본적인 목표는 방사선피폭으로부터 기대되는 이익을 고려하는 상황에서 피폭된 사람에게서는 결

본 논문은 2015년 3월 30일 접수하여 2015년 6월 24일 채택되었음.

책임저자 : 황선봉, 한국원자력의학원 방사선종양학과

서울시 노원구 공릉동 215-4

Tel : 02) 970-2478

E-mail : hsb5974@naver.com

Table 1. Compare with IAEA BBS No.115 and OBI

	Scan type	ESD/mGy	Dose
Head & Neck	PA	5	1.19
	LAT	3	0.37
Thorax	PA	7	0.52
	LAT	20	7.32
Abdomen	PA	10	3.99
CT	Head & Neck	50	4.39
	BODY	25	35.99

* ESD : Entrance surface dose

정적 영향이 나타나지 않도록 방지하고, 확률적 영향의 가능성을 수용할 만한 수준인지를 고려해야 한다. 따라서 의료피폭에 의한 결정적, 확률적 영향을 줄이기 위하여 의료피폭의 저감대책을 포함한 방사선 안전관리의 체계적인 구축이 요구된다.⁴⁾ 영상의학 분야의 경우 일반 X-선 촬영, CT 촬영에 대하여 환자의 피폭선량을 세계보건기구(WHO) 및 국제원자력기구(IAEA)에서 1996년 Basic Safety Standards (BSS) No. 115를 통해 기준 허용선량을 마련하여 권고하고 있다(Table 1). 그러나 방사선종양학 분야에서는 영상선량, 특히 CBCT(Cone Beam CT) 촬영에 대한 피폭선량 관리가 전문화 상태이다.

영상유도방사선치료에서는 다양한 형태의 영상촬영 기법들이 이용되는데, 치료 환자 셋업(set-up)을 위한 단순 X-선 촬영에서부터 투시영상, 포털영상, 치료 빔을 이용한

CBCT에 이르기까지 다양한 장치들이 이용되고 있다. 이러한 영상촬영은 환자에 대해 일회성이 아닌 지속적으로 이루어지기 때문에 방사선 피폭은 누적된다. 따라서 한 번에 피폭되는 영상선량만 평가하거나 또는 여러 영상촬영으로 인한 누적선량이 치료선량에 비해 무시할 정도로 작다고 단순히 가정하는 것은 환자에 안전을 고려하지 않는 행위가 될 것이다. 2007년 미국 의학물리학회 보고서(AAPM Task Group 75)에서도 방사선종양학 분야에서 영상선량 관리에 대한 필요성을 제기하고 있다.⁵⁾

본 연구에서는 우선적으로 진단 검사 및 치료계획실 내에서의 피폭 선량은 제외하고 치료실 내에서의 치료 셋업을 위한 2차원 및 3차원 확인영상의 흡수선량을 평가하였으며, 지속적인 치료를 받는 환자들에게 있어 영상에 의한 피폭선량의 저감화 및 환자 개인별 영상선량의 체계적 관리의

Table 2. Basis on effective energy factor between Ionchamber and Glass Dosimeter

Organ	kV	1	2	3	4	5	Avg	Counts	Factor
Head Lat	70	0.380	0.382	0.380	0.381	0.381	0.381	394.55	0.966
Thorax AP	75	524.8	527.6	525.9	527.6	525.1	555.2	0.527	0.949
Abd AP	80	4336	4254	4395	4415	4346	4349	4.061	1.07
Abd Lat	85	6241	6166	6240	6157	6241	6209	5.799	1.07
Thorax Lat	95	7.293	7.295	7.296	7.285	7.297	7.313	7785	0.939
HEAD AP	100	1.249	1.254	1.236	1.256	1.264	1.251	1317	0.950
HEAD CBCT (Full fan)	100	4064	3974	3982	3962	3914	3979	3.612	1.101
THORAX (LDCT)	110	6184	6122	6189	6218	6071	6157	5.718	1.076
PELVIS CBCT (half fan)	125	8126	7994	8226	8114	8387	8170	7.449	1.096

Table 3. CTDI and CBDI of depending on OBI System Version

OBI Version	Acquisition Angle	Fan Type	Technique	mAs	Dose CTDI [mGy]
1.39)	360°	Head	125 kV 80 mA 25 ms	1300	90
1.49)	200°	Head	100 kV 20 mA 20 ms	145	4.8
1.5	200°	Head	100 kV 20 mA 20 ms	145	4.3

* 1.4 version using TLD, 1.5 version using glass dosimeter

필요성에 대해 인지하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 유리선량계의 에너지 의존성 및 감도 교정

영상유도방사선치료 환자셋업 시 영상촬영에 의한 흡수선량을 평가하기 위해 영상촬영장치인 Clinical iX Rapid Arc(Varian USA)의 On Board Imager Version 1.5(Varian Medical Systems, USA)를 이용하였다. 흡수선량 검출에는 다수의 실험에서 재관독이 가능하고 방향의존성이 적으며, 작은 부피로 표면흡수선량 및 누적선량 측정에 유용하게 사용할 수 있는 유리선량계(GD-352M, Asahi Techno Glass Corporation Shizuoka, Japan)를 사용하였다.

(1) 이온전리함을 이용한 유효에너지 변화에 따른 교정인자 측정

유리선량계는 영상촬영에 주로 이용되는 저에너지 영역(유효에너지 100 KeV 이하)에서 방사선 감도가 과 평가되는 단점이 있어 에너지에 따른 감도를 보정해야 한다. 실제 CBCT에서 사용되는 125 kV(on half fan)의 유효에너지 반가층(Half Value Layer 6.4 mmAl)은 약 48 KeV 이다. 본 실험에서는 에너지 의존성이 적은 이온전리함을 통해 에너지

감도를 보정하였다. 2014년 4월 25일 교정지침서(TCI-RC-01)에 따라 한국표준과학원(KRISS)으로부터 측정의 소급성이 확보된 기준기를 이용하여 교정된 전리함(Radical Corporation Model 9015/10X5-6)을 CTDI(CT Dose Index) 팬텀(Supertech, USA)에 삽입하여 방사선감도에 대한 보정인자를 구하였다. 부위별 촬영조건 유효에너지에 대한 유리선량계의 교정을 위해 동일 에너지 당 5 회 반복 측정하여 유효에너지 흡수선량 교정인자의 신뢰성을 높이고자 하였다(Table 2).

이온전리함을 통한 교정에서는 실험에 이용된 각각의 에너지 영역에 대해 두부와 흉부, 복부 실험용 CTDI 팬텀에서 입사빔 방향 일정깊이의 흡수선량을 측정하였다. On Board Imager 시스템의 총 9개 촬영조건 2차원(70 kV, 75 kV, 80 kV, 85 kV, 95 kV, 100 kV), 3차원-100 kV(Full Fan), 3차원-110 kV(Half Fan), 3차원-125 kV(Half Fan)에 따라 촬영부위에 맞는 두부 혹은 복부 CTDI 팬텀(Fig.1 a.)을 선택하고 에너지에 따라 각 5회씩 반복 측정하여 평균 흡수선량 값[A]을 산출하였다. 같은 방법으로 CTDI 팬텀에 이온전리함 대신 전리함과 구경이 동일하게 자체제작 된 아크릴 막대에 3개의 유리선량계를 위치시킨 후, 유리선량계의 계수값[B]을 측정 하였다(Fig.1 b.). 앞선 두 결과 값을 바탕으로 OBI 시스템의 각 촬영조건에 맞춘 유리선량계의 계수 당 흡수선량 에너지 교정인자는 식 1을 이용하여 산출하였다. 참고로 OBI 시스템 버전에 따른 영상촬영 파라미터를 두경부 CBCT 촬영을 기준으로 비교하여 나타냈

다.(Table 3).

$$\text{유효 에너지 흡수선량 교정인자} = \frac{A}{B} \text{ ----- (1)}$$

또한 각각의 유리선량계 재현성 및 감도 오차를 줄이기 위하여 20개의 유리선량계를 촬영조건에 따라 5회 반복 측정하였다. 5번의 측정 평균값을 통해 표준편차(SD)와 변동계수(CV), 감응도(SI, 감응도 보상인자(SFI)를 각각 구하였다. 이를 통해 상대적으로 각 촬영조건에 따라 변동계수 값이 0에 가까운 재현성이 우수한 유리선량계를 선별하였고 각각의 유리선량계에 대해 감도 보정인자를 산출하였다.(Table 4, 5, 6).

2. RANDO 팬텀을 이용한 흡수선량측정

영상에 의해 환자에게 피폭되는 흡수선량 측정을 위해 인체 모형의 Rando 팬텀 (Model RAN-110, Churchin Associate LTD, USA)을 사용하였다. 유리선량계 판독에는 질소가스레이저를 이용한 자외선 펄스여기법을 사용하는 형광량 판독시스템(FDG-1000, ASAHI TECHNOGLASS CO, JAPAN)을 이용하였다. 유리선량계는 장축방향에 대해 방향의존성(120°까지 1.5% 이내)을 갖기 때문에 Superior-Inferior 방향에 맞추어 선량계를 팬텀에 부착하였다. 이번 실험에서 2차원 영상선량은 팬텀에 전·후방향(Anterior-Posterior) 및 측방향(Lateral)에 대해 각각의 흡수선량을 합

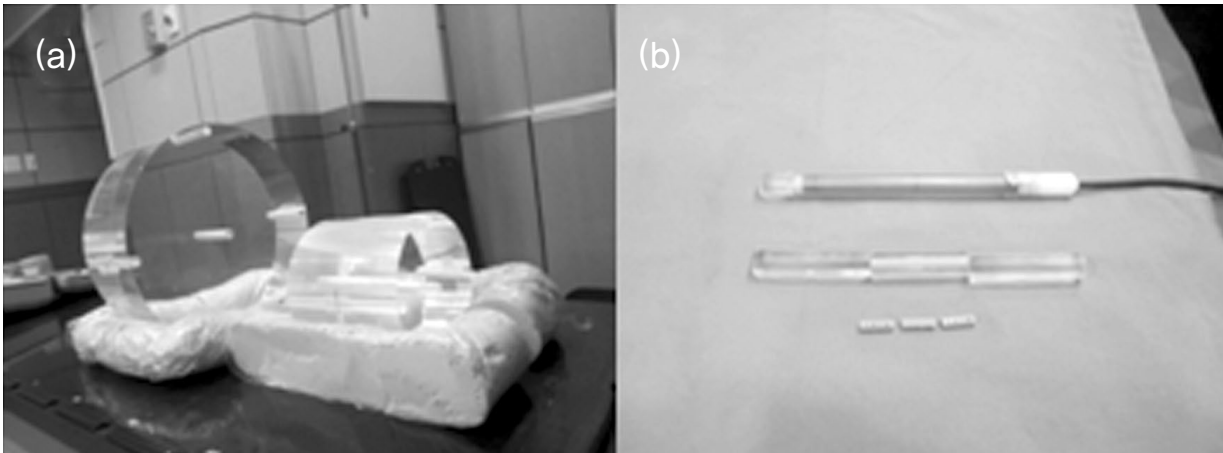


Fig 1. (a) CTDI Phantom
(b) Ion Chamber + Glass Dosimeter

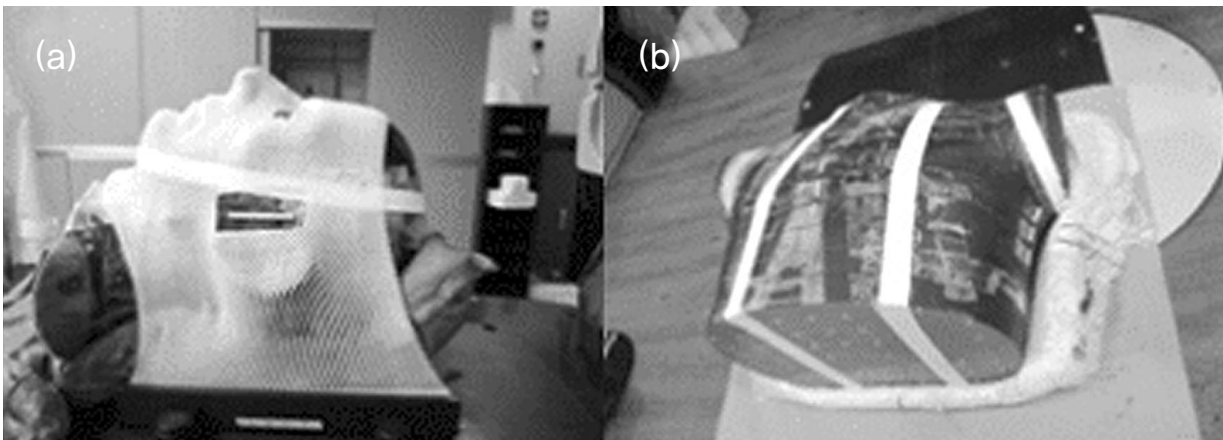


Fig 2. (a) RANDO Phantom (Head)
(b) RANDO Phantom (Thorax)

Table 4. Classification of glass dosimeter correction factors

70 kV Counter factor						75 kV Counter factor					
No.	AVG	SD	CV	S	S,F	No.	AVG	SD	CV	S	S,F
982	395.7	7.67	1.93	1.00	0.99	973	537.6	4.92	0.91	0.96	1.03
984	385.0	10.29	2.67	0.97	1.02	974	553.4	5.17	0.93	0.99	1.00
969	430.4	11.58	2.69	1.09	0.91	985	550.6	7.60	1.38	0.99	1.00
971	380.0	10.55	2.77	0.96	1.03	981	549.4	9.04	1.64	0.98	1.01
981	382.2	11.41	2.98	0.96	1.03	970	552.8	10.47	1.89	0.96	1.00
979	390.8	11.73	3.00	0.99	1.00	978	550.8	10.89	1.97	0.99	1.00
978	394.6	12.99	3.29	1.00	0.99	980	541.2	10.89	2.01	0.97	1.02
983	375.7	12.57	3.34	0.95	1.05	979	548.2	11.58	2.11	0.98	1.01
972	379.2	13.49	3.55	0.96	1.04	967	525.4	11.99	2.28	0.94	1.05
966	404.4	14.94	3.69	1.02	0.97	983	545.6	13.39	2.45	0.98	1.01
980	379.8	14.23	3.74	0.96	1.03	984	554.0	16.06	2.89	0.99	1.00
975	392.8	14.85	3.78	0.99	1.00	977	550.4	17.08	3.10	0.99	1.00
974	392.8	16.31	4.15	0.99	1.00	982	555.4	18.52	3.33	1.00	0.99
977	390.4	16.37	4.19	0.98	1.01	968	560.6	21.25	3.79	1.00	0.99
976	399.2	17.29	4.33	1.01	0.98	971	576.6	21.92	3.80	1.03	0.96
970	399.0	17.36	4.35	1.01	0.98	969	599.8	23.76	3.96	1.08	0.92
985	409.0	18.83	4.60	1.03	0.96	976	563.8	24.03	4.26	1.01	0.98
973	382.8	18.13	4.73	0.97	1.03	975	570.0	24.67	4.32	1.02	0.97
967	393.8	21.06	5.34	0.99	1.00	972	549.2	24.05	4.38	0.98	1.01
968	433.4	27.80	6.41	1.09	0.91	966	569.2	25.45	4.47	1.02	0.97

80 kV Counter factor						85 kV Counter factor					
No.	AVG	SD	CV	S	S,F	No.	AVG	SD	CV	S	S,F
982	4328.8	28.04	0.65	1.00	1.00	955	6092.4	45.92	0.75	0.98	1.02
972	4200.4	38.66	0.92	0.97	1.04	989	6223.2	69.04	1.11	1.00	1.00
974	4294.8	50.35	1.17	0.99	1.01	954	6287.4	71.36	1.13	1.01	0.99
980	4295.6	58.33	1.36	0.99	1.01	961	6014.2	77.03	1.28	0.97	1.03
977	4237.0	62.85	1.48	0.97	1.03	959	6340.8	96.94	1.53	1.02	0.98
981	4253.4	89.57	2.11	0.98	1.02	962	6192.4	104.85	1.69	1.00	1.00
983	4356.0	93.43	2.14	1.00	1.00	963	6395.8	115.04	1.80	1.03	0.97
969	4562.0	118.96	2.61	1.05	0.95	986	5748.6	103.90	1.81	0.93	1.08
971	4200.4	119.08	2.83	0.97	1.04	958	6146.8	131.27	2.14	0.99	1.01
973	4272.2	128.24	3.00	0.98	1.02	988	6131.6	136.21	2.22	0.99	1.01
976	4289.2	139.58	3.25	0.99	1.01	965	6604.6	147.52	2.23	1.06	0.94
970	4389.8	143.18	3.26	1.01	0.99	964	6055.4	145.23	2.40	0.98	1.03
975	4424.8	145.52	3.29	1.02	0.98	957	6189.0	161.27	2.61	1.00	1.00
979	4389.4	146.26	3.33	1.01	0.99	960	6164.8	173.44	2.81	0.99	1.01
985	4426.0	150.32	3.40	1.02	0.98	952	6099.4	172.20	2.82	0.98	1.02
978	4431.6	157.47	3.55	1.02	0.98	951	6142.2	185.21	3.02	0.99	1.01
984	4280.6	185.54	4.33	0.98	1.02	953	6434.0	292.91	4.55	1.04	0.97
968	4488.4	234.93	5.23	1.03	0.97	990	6162.4	312.50	5.07	0.99	1.01
966	4597.8	287.17	6.25	1.06	0.95	987	6555.8	387.72	5.91	1.06	0.95
967	4271.6	266.91	6.25	0.98	1.02						

- Avg = Mean value that measurement of glass dosimeter five times
- CV = Coefficient of variation (Presented glass dosimeter reproducibility each quality dependency)
- S = Sensitivity
- SD = Standard deviation
- S,F = Sensitivity factor

산하여 조사면 크기에 따른 차이를 비교하였다.

두경부 팬텀에는 감도보정을 통해 선별된 17개의 유리선량계를 사용했으며, 팬텀의 3~5번 절편에서 0°, 90°, 180°, 270° 표면과 중심부에 각각 3개 및 오른쪽과 왼쪽안구 표면에 각 1개씩, 총 17개의 유리선량계를 설치하여 측정하였다 (Fig.2 a.). 실험의 재현성을 위해 두경부 팬텀하부에 진공쿠션(Vac lock, ChunSung)과 Thermo plastic을 이용하여 고정하였으며, 또한 AP촬영에서는 100 kV, 8 mAs, LAT촬영에서는 70 kV, 5 mAs의 촬영조건으로 진행하였다.

흉부(16~18번 절편) 및 복부(25~27번 절편)팬텀에는 0°, 90°, 180°, 270° 표면과 중심부에 각각 3개씩, 총 15개의 유리선량계를 설치하였으며, 같은 위치에는 항상 같은 유리선량계를 사용하여 실험의 정확성을 높이고자 고정용 폼(Mev green)을 이용하였다(Fig.2 b.). 흉부의 AP촬영조건은 75 kV, 5 mAs이며, LAT은 95 kV, 40 mAs이며, 복부의 AP촬영조건은 80 kV, 32 mAs, LAT은 85 kV, 40 mAs이다.

2D영상선량의 결과 값은 0, 90, 180, 270, 중심부, 지점에서 AP에서의 측정치와 LAT에서의 측정치를 합하여 합산선량으로 표기하였다. 또한 표준편차는 (2)의 공식을 이용하였다.

$$\text{오차의 합산} = (A+B + \sqrt{a^2+b^2}) \text{ ----- (2)}$$

3차원 영상선량은 두경부, 흉부, 복부 CBCT와 저선량 흉부 CBCT를 측정하였으며, 결과값은 식 3과 같이 CDBI(cone beam dose index)로 계산하여 폭 16 cm와 10 cm의 차이를 비교하여 나타났다. 유리선량계 계수값을 통한 흡수선량 계산을 위해 유효에너지 의존 교정인자와 감도 보정인자로 보정하여 흡수선량을 산출하였다.

$$CDBI(mGy) = \frac{1}{3} \times CDBI(Center) + \frac{2}{3} \times CDBI(Periphery) \text{ ---- (3)}$$

결 과

1. 2차원 영상 흡수선량 측정

(1) 두경부

조사면 크기 26.6 x 20에서 0°, 90°, 180°, 270° 표면 및 중심부 흡수선량은 각각 1.44±0.26 mGy, 1.34±0.05

mGy, 0.25±0.04 mGy, 0.94±0.02 mGy 및 0.2±0.02 mGy 로 나타났다. 축소된 조사면 15 x 15에서는 1.17±0.02 mGy, 0.91±0.09 mGy, 0.02±0 mGy, 0.85±0.01 mGy 및 0.17±0.02 mGy의 측정값을 얻었다. 또한 안구 부분의 흡수선량은 좌측 안구에 대해 조사면 크기 26.6 x 20과 15 x 15일 때 각각 1.53 mGy, 1.38 mGy로 나타났고, 우측 안구에서는 각각 1.26 mGy, 1.17 mGy 로 약 7~10% 감소하였다.

(2) 흉부

조사면 크기 26.6 x 20에서는 0°, 90°, 180°, 270° 표면 및 중심부 흡수선량은 각각 3.08±0.86 mGy, 7.33±0.31 mGy, 0.55±0.02 mGy, 0.11±0.02 mGy 및 1.24±0.01 mGy로 측정되었고, 15 x 15의 조사면 크기에서는 0.57±0.02 mGy, 6.93±0.17 mGy, 0.12±0.01 mGy, 0.06±0.01 mGy 및 1.01±0.01 mGy 값을 얻었다.

(3) 복부

26.6 x 20 조사면에서는 0°, 90°, 180°, 270° 표면 및 중심부 흡수선량은 각각 8.19±0.54 mGy, 7.84±0.65 mGy, 0.79±0.02 mGy, 0.57±0.08 mGy 및 1.91±0.41 mGy 로 측정되었으며, 15 x 15로 축소된 조사면에서는 4.19±0.09 mGy, 5.63±0.55 mGy, 0.15±0.02 mGy, 0.10±0.01 mGy 및 1.54±0.38 mGy 값을 얻었다.

2차원 영상촬영 시 0°에서는 조사면 크기가 26.6 x 20에서 15 x 15로 축소됨에 따라 5~12%의 흡수선량이 감소되었으며, 90°에서는 조사면 크기의 축소에 따라 5~8%의 흡수선량이 감소하였다(Table 7). 위 결과값에 따라 본원의 방사선치료 프로토콜에 의하여 통상적으로 6000 cGy 처방선량을 하루 200 cGy 씩 30회 치료 시 2차원 영상촬영의 누적 흡수선량을 나타냈다(Table 8).

2. 3차원 영상 흡수선량 측정

(1) 두경부

CBCT로 3차원 두경부 영상촬영 시 폭 16 cm 및 10 cm 일 때 흡수선량은 각각 4.39±0.11 mGy, 3.99±0.13 mGy 로 측정되었고, 좌측 수정체 부분은 폭 변화에 따라 각각 1.28 mGy, 1.25 mGy 우측 수정체는 1.82 mGy, 1.68 mGy 로 나타났다.

Table 5. Classification of glass dosimeter correction factors

95 kV Counter factor						100 kV Counter factor					
No.	AVG	SD	CV	S	S,F	No.	AVG	SD	CV	S	S,F
986	7152.8	56.12	0.78	0.92	1.09	951	1279.2	6.61	0.52	0.97	1.03
988	7840.6	81.28	1.04	1.01	0.99	958	1290.4	15.31	1.19	0.98	1.02
958	7668.4	110.58	1.44	0.98	1.02	952	1272.8	17.41	1.37	0.97	1.03
951	7515.3	149.13	1.98	0.97	1.04	960	1319.4	19.30	1.46	1.00	1.00
989	7882.0	163.81	2.08	1.01	0.99	988	1283.0	19.87	1.55	0.97	1.03
962	7838.4	165.25	2.11	1.01	0.99	987	1289.3	22.47	1.74	0.98	1.02
957	7890.0	173.56	2.20	1.01	0.99	962	1323.2	25.65	1.94	1.00	1.00
955	7731.6	206.17	2.67	0.99	1.01	965	1371.4	30.14	2.20	1.04	0.96
953	8124.8	222.92	2.74	1.04	0.96	964	1314.6	30.35	2.31	1.00	1.00
956	7027.0	197.05	2.80	0.90	1.11	986	1297.3	30.93	2.40	0.98	1.02
987	7874.0	223.68	2.84	1.01	0.99	953	1357.2	33.92	2.50	1.03	0.97
965	8222.0	239.30	2.91	1.06	0.95	963	1351.6	33.85	2.50	1.03	0.97
959	7870.0	254.13	3.23	1.01	0.99	954	1334.6	37.55	2.81	1.01	0.99
964	7986.4	259.25	3.25	1.03	0.97	959	1354.2	42.20	3.12	1.03	0.97
960	7767.8	255.12	3.28	1.00	1.00	955	1306.0	44.91	3.44	0.99	1.01
990	7724.0	343.81	4.45	0.99	1.01	961	1316.0	49.52	3.76	1.00	1.00
963	8142.6	362.96	4.46	1.05	0.96	989	1340.5	51.24	3.82	1.02	0.98
961	7865.0	378.77	4.82	1.01	0.99	990	1268.3	58.24	4.59	0.96	1.04
954	7936.2	444.64	5.60	1.02	0.98	957	1362.0	72.32	5.31	1.03	0.97
952	7658.4	457.87	5.98	0.98	1.02	956	1310.6	40.94	3.12	1.00	1.00

100 kV Counter factor (Full fan)						110 kV Counter factor (Half fan)					
No.	AVG	SD	CV	S	S,F	No.	AVG	SD	CV	S	S,F
956	3565.4	38.77	1.09	0.90	1.11	952	6116.8	41.49	0.68	0.99	1.01
955	3926.0	64.72	1.65	0.99	1.01	960	6068.8	62.38	1.03	0.99	1.01
961	3954.0	66.87	1.69	1.00	1.00	988	6125.8	82.34	1.34	0.99	1.01
951	3872.2	72.86	1.88	0.98	1.02	990	5977.6	85.30	1.43	0.97	1.03
959	4002.8	79.14	1.98	1.01	0.99	959	6317.4	90.57	1.43	1.03	0.97
954	4050.6	82.03	2.03	1.02	0.98	954	6224.6	89.82	1.44	1.01	0.99
960	3979.4	96.65	2.43	1.00	1.00	951	6017.6	101.80	1.69	0.98	1.02
963	4104.8	99.98	2.44	1.04	0.96	986	5602.4	118.75	2.12	0.91	1.10
952	3913.0	95.86	2.45	0.99	1.01	962	6238.0	153.02	2.45	1.01	0.99
986	3644.4	92.16	2.53	0.92	1.09	963	6398.0	170.99	2.67	1.04	0.96
965	4106.0	104.96	2.56	1.04	0.96	961	6070.6	173.28	2.85	0.99	1.01
989	3995.4	127.51	3.19	1.01	0.99	965	6608.4	200.39	3.03	1.07	0.93
988	4038.2	135.45	3.35	1.02	0.98	958	6151.6	186.81	3.04	1.00	1.00
957	4030.8	145.48	3.61	1.02	0.98	957	6104.2	198.78	3.26	0.99	1.01
958	4011.0	145.02	3.62	1.01	0.99	953	6403.2	241.39	3.77	1.04	0.96
953	4042.2	151.18	3.74	1.02	0.98	955	6206.4	240.65	3.88	1.01	0.99
990	3861.8	147.92	3.83	0.98	1.03	987	6236.0	258.48	4.15	1.01	0.99
964	4070.6	161.74	3.97	1.03	0.97	964	5991.4	253.73	4.23	0.97	1.03
962	4084.0	175.49	4.30	1.03	0.97	989	6136.6	262.60	4.28	1.00	1.00
987	4003.8	218.12	5.45	1.01	0.99						

- Avg = Mean value that measurement of glass dosimeter five times
- CV = Coefficient of variation (Presented glass dosimeter reproducibility each quality dependency)
- S = Sensitivity
- SD = Standard deviation
- S,F = Sensitivity factor

Table 6. Classification of glass dosimeter correction factors

125 kV Counter factor (Half fan)					
No.	AVG	SD	CV	S	S,F
981	8030.0	76.07	0.95	0.98	1.02
984	8026.0	91.81	1.14	0.98	1.02
982	8187.2	105.79	1.29	1.00	1.00
971	7913.2	104.46	1.32	0.97	1.03
966	8359.0	126.18	1.51	1.02	0.98
985	8326.4	184.67	2.22	1.02	0.98
972	7964.8	192.55	2.42	0.97	1.03
968	8298.2	212.30	2.56	1.02	0.98
980	8110.6	224.20	2.76	0.99	1.01
977	8026.2	222.23	2.77	0.98	1.02
969	8675.0	283.18	3.26	1.06	0.94
983	7998.6	265.07	3.31	0.98	1.02
976	8245.6	276.31	3.35	1.01	0.99
975	8170.2	289.49	3.54	1.00	1.00
973	8008.4	284.44	3.55	0.98	1.02
974	8131.8	292.51	3.60	1.00	1.00
967	8000.0	291.68	3.65	0.98	1.02
979	8333.8	309.03	3.71	1.02	0.98
970	8277.8	340.44	4.11	1.01	0.99

- Avg = Mean value that measurement of glass dosimeter five times
- SD = Standard deviation
- CV = Coefficient of variation (Presented glass dosimeter reproducibility each quality dependency)
- S = Sensitivity
- S,F = Sensitivity factor

(2) 흉부

3차원 흉부 영상촬영 시 측정은 흉부모드 및 저선량 흉부 모드의 2가지 방법으로 진행하였으며, 그 결과 흉부모드는 폭 16 cm 일 때는 34.88 ± 0.93 mGy, 10 cm일 때는 31.01 ± 0.3 mGy 로 나타났다. 저선량 흉부모드 결과, 16 cm와 10 cm에서 각각 10.48 ± 0.09 mGy, 9.30 ± 0.09 mGy 로 측정 되었다.

(3) 복부

CBCT로 3차원 복부 영상촬영 시 폭 16 cm와 10 cm일 경우, 흡수선량 값은 각각 35.99 ± 1.86 mGy, 32.27 ± 1.35 mGy 로 나타났다.

폭의 차이에 따라 두경부는 약 9% 감소하였고, 일반 흉부 모드와 저선량 흉부모드를 비교한 결과, 저선량 흉부모드에서 흡수선량이 약 70% 감소 한 것을 알 수 있었다. 또한 복 부에서 폭이 10 cm로 감소함에 따라 흡수선량값은 10% 감소하였다(Table 9).

결론 및 고찰

방사선치료 시 종양의 정확한 위치 확인을 위해 다양한 종류의 방사선 영상장비들이 사용되고 있다. 이에 따라 환자 들의 피폭 흡수선량 또한 증가하고 있어 영상에 의한 피 폭 저감화 방안의 기초를 마련하기 위해 영상유도방사선치 료 시 영상촬영에 기인되는 2차원 및 3차원 흡수선량을 평 가하였다. 본 실험에 측정값을 살펴보면 2차원 영상 30회 촬영시 흡산 누적선량은 전후 및 측방향이 겹쳐치는 피부표 면에서의 흡수선량값이 높게 나타났다. 3차원영상 30회 합 산누적선량은 Hyer 등⁶⁾이 TLD로 실험한 결과 값 1 Gy 이하 (pelvic mode)와 비슷한 1.07 Gy 값을 보였다. 반면에 방사 선에 민감하여 0.5~2 Gy 피폭시 혼탁을 유발할 수 있고, 4 Gy를 초과할 경우 백내장이 유발될 수 있는^{7,8)} 수정체의 흡 수선량을 토대로 본 결과, CBCT 표준선량모드(standard dose mode) 과 2차원 영상촬영에서의 흡수선량은 큰 차이 가 나타나지 않았다. 이는 OBI 시스템 업그레이드를 통해 방사선에 민감한 수정체 등의 피폭을 줄이기 위해 조사영역 을 후방으로 제한했기 때문이다. 3차원 CBCT에서 좌, 우 수정체의 흡수선량이 다른 이유는 영상촬영시 갯트리가

Table 7. Head Thorax abdomen 2D absorbed point dose (0°,90°,180°,270°, Center, Both eyeball)

Organ	Head		Thorax		Abdomen	
	26.6 x 20	15 x 15	26.6 x 20	15 x 15	26.6 x 20	15 x 15
Field size(cm)	26.6 x 20	15 x 15	26.6 x 20	15 x 15	26.6 x 20	15 x 15
0°	1.44±0.26	1.17±0.02	3.08±0.86	0.57±0.02	8.19±0.54	4.19±0.09
90°	1.34±0.05	0.91±0.09	7.33±0.31	6.93±0.17	7.84±0.65	5.63±0.55
180°	0.25±0.04	0.02±0.00	0.55±0.02	0.12±0.01	0.79±0.02	0.15±0.02
270°	0.94±0.02	0.85±0.01	0.11±0.02	0.06±0.01	0.57±0.08	0.10±0.01
Center	0.20±0.02	0.17±0.02	1.24±0.01	1.01±0.01	1.91±0.41	1.54±0.38
Lt eyeball	1.53	1.38				
Rt eyeball	1.26	1.17				

Table 8. 2D x 30 Fraction Absorbed Dose

Organ	Head		Thorax		Abdomen	
	26.6 x 20	15 x 15	26.6 x 20	15 x 15	26.6 x 20	15 x 15
Field size(cm)	26.6 x 20	15 x 15	26.6 x 20	15 x 15	26.6 x 20	15 x 15
0°	43.2±7.8	35.1±0.6	92.4±25.8	14.1±0.6	245±16.2	125.7±2.7
90°	40.2±1.5	27.3±2.7	219.9±9.1	207.9±5.1	235.2±19.5	168.9±16.5
180°	7.5±1.3	0.6±0.03	16.5±0.6	3.6±0.3	23.7±0.6	4.5±0.6
270°	28.2±0.6	25.5±0.3	3.3±0.6	1.8±0.3	17.1±2.4	3.0±0.3
Center	6.0±0.6	5.1±0.6	37.2±0.3	30.3±0.3	57.3±12.3	46.2±11.4
Lt eyeball	45.9	41.4				
Rt eyeball	37.8	35.1				

Table 9. Represent Head Thorax Abdomen CBCT CDBI

※ LDCT (Low dose thorax cone beam CT)

Organ	Head		Thorax		Abdomen	
	16cm	10cm	16cm	10cm	16cm	10cm
폭	16cm	10cm	16cm	10cm	16cm	10cm
CBDI	4.39±0.11	3.99±0.13	34.88±0.93	31.01±0.3	35.99±1.86	32.27±1.35
LDCT			10.48±0.09	9.30±0.09		
Lt eyeball	1.28	1.25				
Rt eyeball	1.82	1.68				

292°에서 반시계방향(CCW) 92°로 200° 회전하면서 두경부 오른쪽 하 방향에 빔이 주로 분포함으로 오른쪽 수정체에서의 흡수선량이 왼쪽 수정체보다 높은 이유로 사료된다.

본 실험에서 방사선검출에는 유리선량계를 이용하였다. 통상 표면선량 및 누적선량 측정에는 필름, 열형광선량계 및 유리선량계 등의 방사선 검출소자를 사용하는 것이 보다 효과적이다. 필름은 표면선량 측정에는 유리하지만 감도가 다소 떨어지고 사용이 불편한 단점이 있다. 반면에 열형광선량계와 유리선량계 두 검출기는 방사선 감도 측정에는 우

수한 특징을 가지고 있다. 유리선량계는 열형광선량계에 비해 사용이 용이하고 재현성이 높은 특징을 가지고 있지만, 유리선량계 사용에 있어서 저에너지영역에 대한 에너지의 존성 보정은 필수적이며, 에너지감도 보정을 위해 다양한 에너지 영역의 표준선원이 필요하다. 하지만 본 실험에서는 다양한 에너지영역대의 표준선원을 구하는 것이 현실적으로 어려웠기 때문에 에너지 의존성이 적고 임상에서 쉽게 구할 수 있는 저에너지 진단용 이온 전리함을 이용하여 본 연구에 응용하였다. 차후 연구에서는 보다 정확한 측정 결

과를 위해 표준선원을 이용한 에너지감도 보정이 필요할 것으로 사료된다.

본 연구를 통해 치료의 질을 제한하지 않는 범위에서의 적절한 조사면 크기 및 폭을 조절한다면 환자의 불필요한 영상선량을 줄일 수 있다는 것을 알 수 있었으며, 더불어 환자의 나이, 성별, 치료부위, 촬영모드, 촬영조건 등을 다양하게 고려하여 영상선량을 줄이기 위하여 노력할 필요가 있다. 또한 흉부 촬영시 영상의 질을 저해하지 않는 범위 내에서 저선량 흉부 모드를 선택하여 불필요한 흡수선량을 줄일 필요가 있다. 방사선종양학분야에서 발생하는 영상선량 중에서 모의치료실에서 발생하는 선량을 제외한 치료실 내에서의 치료확인영상의 흡수선량이라는 제한적인 요소와 Varian사의 OBI 시스템 단일 장비만을 이용한 영상흡수선량만을 평가한 점은 차후에 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다. 본 연구에서도 정확도 측면에서 부위별 촬영조건의 정확한 유효에너지에 대한 유리선량계의 흡수선량을 구하지 못했고 이온전리함을 통한 유리선량계의 상대적 흡수선량을 측정할 부분이 있었다. 하지만 각 병원들의 다양한 방사선영상장치들의 환자 흡수선량 저감화와 환자 개인별 영상선량의 체계적 관리의 필요성에 대한 인식의 변화를 유도해나간다는 의미가 있다고 생각되며, 또한 반복적으로 CBCT 촬영 시 치료처방선량에 영상선량의 포함여부도 고민해 봐야 된다고 사료된다.

참고문헌

1. Aird EGA : Second cancer risk, concomitant exposures, and IRMER2000. Br J Radiol 77:983-985(2004)
2. ICRP-60, The International Commission on Radiological Protection, Recommendations on Radiation Protection, ICRP Publication 60 (Pergamon Press, Oxford, 1991)
3. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and the safety of radiation source, IAEA safety series No.115, Vienna, pp.279~280, 1996
4. Y.M. Moon, "A Study on Effective Dose Measurement for Cone Beam Computed Tomography using Glass Dosimeter" (2013)
5. Murphy et al. : The management of imaging dose during image-guided radiotherapy: Report of the AAPM Task Group 75 (2007)
6. Hyer DE : Imaging doses in radiation therapy from kilovoltage cone beam computed tomography (2011)
7. Song W, Kamath S, Ozawa S, et al : A dose comparison study between XVI and OBI CBCT systems. Med Phys 35(2):480-486 (2008)
8. Ding G, Munro P, Pawlowski J, et al : Reducing radiation exposure to patients from kV-CBCT imaging. Radiother Oncol 97:585-592 (2010)
9. Asa Palm et al : Absorbed dose and dose rate using the Varian OBI 1,3 and 1,4 CBCT system (2009)
10. Hyer DE, Serago CF, Kim S, Li JG, Hintenlang DE : An organ and effective dose study of XVI and OBI Cone-beam CT systems. J appl Clin Med Phys 11:181-197 (2010)
11. Hyer DE, Hintenlang DE : Estimation of organ doses from kilovoltage cone-beam CT imaging used during radiotherapy patient position verification. Med Phys 37:4620-4626 (2010)
12. Morin O, Gillis A, Descovich M, et al. Patient dose considerations for routine megavoltage cone-beam CT imaging. Med Phys 28:220-231 (2001)
13. McCollough C, Leng S, Yu L, Cody D, Boone J, Gray M : CT dose index and patient dose : they are not the same thing. Radiology 259(2):311-316 (2011)
14. Asa Palm, Elisabeth Nilsson, Lars Herrnsdorf : Absorbed dose and dose rate using the Varian OBI 1,3 and 1,4 CBCT system (2010)
15. C. H. McCollough and B. A. Schueler, "Calculation of effective dose" Med. Phys. 27, 828-837 (2000)
16. Dalrymple GV, Goulden ME, Kollmorgen GM, Vogel H : Medical Radiation Biology, Philadelphia, WB Saunders, 235 (1973)
17. Nishizawa K, Maruyama T, Takayama M, Okada M, Hachiya J, Furuya Y : Determinations of organ doses and effective dose equivalents from computed tomographic examination, Br J Radiol, 64, 20-28, (1991)

Abstract

Imaging dose evaluations on Image Guided Radiation Therapy

Department of Radiotherapy, Korea Institute of Radiological & Medical Sciences, seoul, korea

Sun Boong Hwang, Ki Hwan Kim, il Hwan kim, Woong Kim, Hyeong Seo Im, Su Chul Han, Jin Mook Kang, Jinho Kim

Purpose : Evaluating absorbed dose related to 2D and 3D imaging confirmation devices

Materials and Methods : According to the radiographic projection conditions, absorbed doses are measured that 3 glass dosimeters attached to the centers of 0°, 90°, 180° and 270° in the head, thorax and abdomen each with Rando phantom are used in field size 26.6x20, 15x15. In the same way, absorbed doses are measured for width 16cm and 10cm of CBCT each. OBI(version 1.5) system and calibrated glass dosimeters are used for the measurement.

Results : AP projection for 2D imaging check, In 0° degree absorbed doses measured in the head were 1.44 ± 0.26 mGy with the field size 26.6x20, 1.17 ± 0.02 mGy with the field size 15x15. With the same method, absorbed doses in the thorax were 3.08 ± 0.86 mGy to 0.57 ± 0.02 mGy by reducing field size. In the abdomen, absorbed dose were reduced 8.19 ± 0.54 mGy to 4.19 ± 0.09 mGy. Finally according to the field size, absorbed doses has decreased by average 5~12%. With Lateral projection, absorbed doses showed average 5~8% decrease.

CBCT for 3D imaging check, CBDI in the head were 4.39 ± 0.11 mGy to 3.99 ± 0.13 mGy by reducing the width 16cm to 10cm. In the same way in thorax the absorbed dose were reduced 34.88 ± 0.93 (10.48 ± 0.09) mGy to 31.01 ± 0.3 (9.30 ± 0.09) mGy and 35.99 ± 1.86 mGy to 32.27 ± 1.35 mGy in the abdomen. With variation of width 16cm and 10cm, they showed 8~11% decrease.

Conclusion : By means of reducing 2D field size, absorbed dose were decreased average 5~12% in 3D width size 8~11%. So that it is necessary for radiation therapists to recognize systematical management for absorbed dose for Imaging confirmation, and also for frequent CBCT, it is considered whether or not prescribed dose for RT refer to imaging dose.

Keyword : Image Guided Radiation Therapy(IGRT), Imaging Dose, Glass dosimeter, CBDI(Cone Beam Dose Index)