

Cone beam CT와 일반 CT의 흡수선량 및 유효선량 비교평가

강릉대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실 및 구강과학연구소
김상연 · 한진우 · 박인우

Comparison of cone beam CT and conventional CT in absorbed and effective dose

Sang Yeon Kim, Jin-Woo Han, In-Woo Park

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Kangnung National University & Research Institute of Oral Science

ABSTRACT

Purpose : This study provides comparative measurements of absorbed and effective doses for newly developed cone beam computed tomography (CT) in comparison with these doses for conventional CT.

Materials and Methods : Thermoluminescent dosimeter rods (TLD rod: GR-200, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA) were placed at 25 sites throughout the layers of Male ART Head and Neck Phantom (Radiology Support Devices Inc., Long Beach, USA) for dosimetry. Implagraphy, DCT Pro (Vatech Co., Hwasung, Korea) units, SCT-6800TXL (Shimadzu Corp., Kyoto, Japan), and Cranex 3+ (Soredex Orion Corp., Helsinki, Finland) were used for radiation exposures. Absorption doses were measured with Harshaw 3500TLD reader (Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA). Radiation weighted doses and effective doses were measured and calculated by 2005 ICRP tissue weighting factors.

Results : Absorbed doses in Rt. submandibular gland were 110.57 mGy for SCT 6800TXL (Implant), 24.56 mGy for SCT 6800TXL (3D), 22.39 mGy for Implagraphy3, 7.19 mGy for DCT Pro, 5.96 mGy for Implagraphy1, 0.70 mGy for Cranex 3+. Effective doses ($E_{2005draft}$) were 2.551 mSv for SCT 6800TXL (Implant), 1.272 mSv for SCT 6800TXL (3D), 0.598 mSv for Implagraphy3, 0.428 mSv for DCT Pro and 0.146 mSv for Implagraphy1. These are 108.6, 54.1, 25.5, 18.2 and 6.2 times greater than panoramic examination (Cranex 3+) doses (0.023 mSv).

Conclusion : Cone beam CT machines recently developed in Korea, showed lower effective doses than conventional CT. Cone beam CT provides a lower dose and cost alternative to conventional CT, promising to revolutionize the practice of oral and maxillofacial radiology. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2008; 38 : 7-15)

KEY WORDS : Radiation Dosimetry; Tomography, Cone-Beam Computed; Tomography, X-Ray Computed; Radiography, Panoramic

서 론

환자에 대한 영상의학 검사를 시행할 경우, 술자는 이를 통해 얻게 되는 진단정보와 방사선에 노출됨으로써 발생할 수 있는 환자의 신체적 장해에 대해 비판적이고 정확한 검토를 하여야 하는데, 진단목적의 방사선 노출은 가시적인 신체 변화를 유발시키는 경우가 거의 없으며, 신체적

장해가 발생되더라도 회복 가능한 변화이므로 영상의학 검사 시 방사선 방에 대한 고려를 소홀히 하는 경향이 있다.^{1,2} 그러나 진단목적의 방사선 노출이라도 암 발생, 유전에 의한 돌연변이 발현 등에 대한 확률적 효과가 나타날 수 있으므로 환자와 술자에 대한 방사선 방어가 반드시 이루어져야 한다.¹ 최근 영상의학 검사 장비의 발전에 따라 이를 이용한 진단정보에 대한 요구와 필요성이 증대되고 있으며, 이에 따라 방사선 노출에 따른 신체적 장해의 발생 위험도 증가되고 있다.^{3,4}

CT는 1972년 Dr. Hounsfield⁵에 의해 개발되었고 컴퓨터의 기술 발전과 함께 임상에 응용되기 시작하면서 정확한 영상진단이 구현되었다. 기본원리는 원형의 gantry 안에 위

*이 논문은 2006년도 강릉대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 수행되었음.
접수일: 2007년 12월 18일; 심사일: 2007년 12월 19일; 채택일: 2008년 1월 30일
Correspondence to: Prof. In-Woo Park
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Kangnung National University & Research Institute of Oral Science, 123, Jibyun-dong, Gangneung, Gangwon-do 210-702, Korea
Tel) 82-33-640-3135, Fax) 82-33-640-3113, E-mail) xraypark@kangnung.ac.kr

치한 X선 관구에서 발생한 방사선을 반대편에서 검출기가 받아서 Fourier 방정식에 의거하여 역투사함으로써 각각의 화소에 대한 밀도 값을 디지털화된 수치로 영상자료를 얻는 것이다. 초기에는 관구와 검출기가 선형으로 이동하는 방식이었으며, 그 후 선형 방사선속의 회전, 부채꼴형 방사선속 (fan beam)과 부채꼴형 검출기, 원형 검출기 순으로 개발되어 영상획득 시간이 감소되었고 1990년대 초에 나선형 CT가 개발되었고, 최근에는 검출기를 여러 층으로 배열한 다중검출기 CT (multi-detector CT, MDCT)가 실용화되어 진단과 치료에 이용되고 있다.⁶ 기존의 fan beam과 broad beam을 사용할 경우 산란선의 영향으로 일차선의 성분비율이 감소되어 연산과정에서 오차가 생겨 이 오차를 줄이기 위해서 시준기와 검출기 부분에 좁은 slit를 부착하여 fan beam과 broad beam을 narrow beam으로 만들어 사용하였으나 부착, 제거시 불편함이 발생하였고 slit으로 인해 gantry 동작범위가 줄어들게 되는 문제점이 발생하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 1994년 Cho⁷와 Engelbrecht⁸가 cone beam CT 영상 구현의 가능성을 보여주었고, Rob⁹는 초고속 촬영을 위하여 28조의 X선 관구와 영상증배관을 이용하여 심장의 3차원 영상을 얻는 장치를 개발하였다. 1986년 Toyofuku 등¹⁰은 1조의 X선 관구와 9인치의 영상증배관을 사용하는 fluoroscopic CT를 개발하였고 1999년 Arai 등¹¹은 고해상도의 화상을 얻기 위해 4인치의 영상증배관을 사용한 국소확대형 CT장치 (Ortho-CT)를 개발하였으며 이외에도 여러 가지 형태의 cone beam CT가 개발되어 임상에 응용되고 있다.¹²⁻¹⁵ Cone beam CT는 기존 CT보다 상대적으로 낮은 선량과 가격 때문에 구강악안면방사선영역에서 일대 변화를 예고하고 있으며,¹⁶ 그의 활용 분야는 근관치료학,¹⁷ 악안면수술,¹⁸ 치주학,¹⁹ 보존수복,²⁰ 교정학²¹ 영역으로 확대되어 사용되고 있다. 특히 교정학 영역에서 안면발달, 교합발달과 악안면기형²²의 치료에 대한 이차원적인 영상을 통한 치료는 한계를 보여 이를 해결하기 위해 삼차원적 영상 구현이 가능한 cone beam CT의 수요가 증가하게 되었다.

일반 CT는 파노라마방사선사진 등과 같은 일반 방사선 촬영에 비해 환자에 대한 흡수선량이 높은 것으로 보고

되고 있다.²³ 그러나 최근에 영상의학의 발전으로 새로운 영상화 기법들이 임상에 적용되면서 도입된 cone beam CT는 일반 CT에 비해 상대적으로 적은 조사선량과 낮은 에너지준위의 방사선을 이용하여 삼차원의 체적정보에 대한 영상화가 가능하고, 악골과 치아에 대한 진단능이 매우 우수하다고 보고 되고 있다.²⁴⁻²⁶

각기 다른 방사선 노출조건과 촬영범위를 가지며, 검출기의 종류도 다양한 cone beam CT들이 개발되어 실제 임상에 적용되고 있으나, 이들 cone beam CT에 의한 흡수선량에 관한 연구는 드물다. 특히 cone beam CT와 일반 CT와의 직접적인 유효선량 비교평가는 없는 상태이다.

이에 본 연구에서는 최근에 국내에서 제작된 cone beam CT인 Implagraphy (Vatech Co., Hwasung, Korea)와 DCT Pro (Vatech Co., Hwasung, Korea) 촬영시 구강악안면영역의 주요 부위의 흡수선량과 유효선량을 측정하여, 일반 CT 장비인 SCT-6800TXL (Shimadzu Corp., Kyoto, Japan) 촬영시의 흡수선량 및 유효선량과 비교평가 하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구재료

방사선 선량측정을 위해 인체 골조직, 연조직의 방사선 감쇄계수와 유사한 물질로 제작된 2.5 cm 두께의 10개 절단면으로 구성된 Male ART Head and Neck Phantom (Radiology Support Devices, Inc., Long Beach, USA: 이하 phantom) (Fig. 1)과 직경 1 mm, 길이 6 mm의 막대형태의 열발광선량계 (TLD-200 LiF: Mg, Cu, P rod, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA: 이하 TLD rod), Harshaw 3500TLD reader (Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA) (Fig. 2)를 이용하여 선량을 측정하였다.

방사선 조사 장비로는 cone beam CT 장비인 Implagraphy (Vatech Co., Hwasung, Korea)와 DCT Pro (Vatech Co., Hwasung, Korea), 일반 CT 장비인 SCT-6800TXL (Shimadzu Corp., Kyoto, Japan), 파노라마방사선장비인 Cranex 3+ (Soredex Orion Corp., Helsinki, Finland)를 이용하였다



Fig. 1. Male ART Head and Neck Phantom (A) consisted of ten 2.5 cm horizontal sections (level 0 to 9) and the section of level 5 (B).

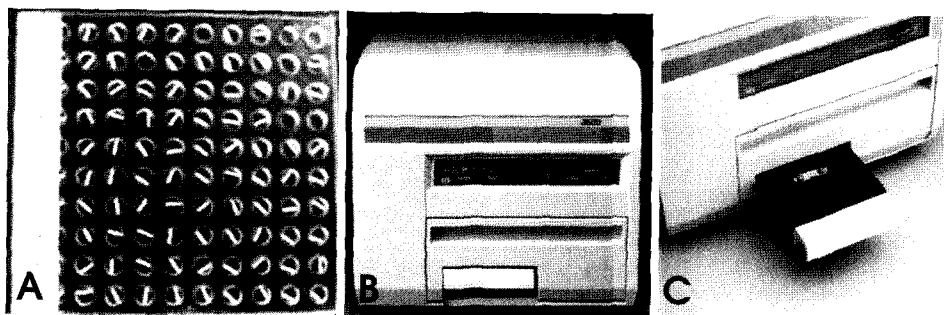


Fig. 2. Diameter 1 mm × length 6 mm LiF: Mg, Cu, P TLD rods (A) and TLD 3500 reader (B, C).

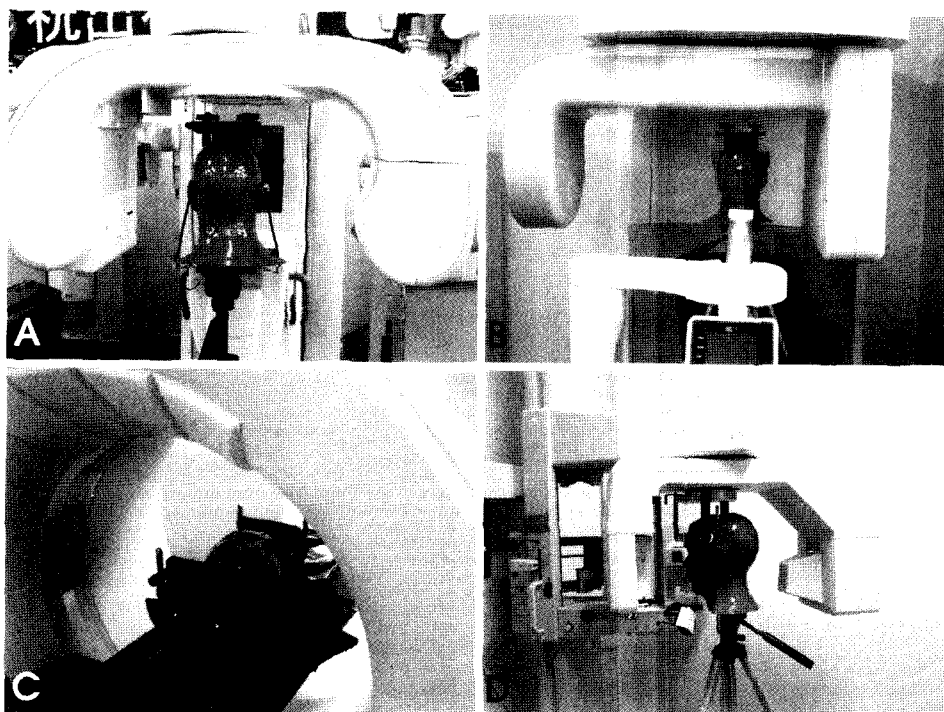


Fig. 3. Phantom with TLD rods was radiographed with Implagraphy (A), DCT Pro (B), SCT 6800 TXL (C) and Cranex 3+ (D).

(Fig. 3).

2. 연구방법

1) 측정 준비

방사선에 노출시키기 전 TLD rod에 남아 있는 에너지를 모두 방출시키기 위해서 furnace에 TLD rod를 넣고 240°C에서 10분간 소성 (annealing)하였다. TLD rod 교정은 ¹³⁷Cs 감마선장에서 8.76 mGy의 공기커마에 조사시켜 편차가 ± 10% 이내에 있는 소자를 사용하였다.

각 촬영 전에 TLD rod를 소성한 후 phantom의 25부위에 TLD rod를 위치시켰다 (Table 1).

2) 방사선 조사

국산 cone beam CT 장비인 Implagraphy와 DCT Pro의 촬영조건은 각각 85 kVp, 5 mA, 24 sec, field of view (FOV) 12.4 cm × 6.5 cm와 90 kVp, 5 mA, 24 sec, FOV 20.0 cm ×

14.5 cm이었다. 일반 CT 장비인 SCT 6800TXL은 Implant program (이하 SCT 6800TXL (Implant))에서는 하악 부위를 120 kVp, 200 mA, 1.5 sec, 48 slice, 1 mm slice thickness의 일반형 주사방식으로, 3D program (이하 SCT 6800TXL (3D))에서는 안면부를 120 kVp, 250 mA, speedsec 1.0 sec, 3 mm slice thickness, 1.5 pitch의 나선형 주사방식으로 36 sec 촬영하였다. 파노라마방사선장비인 Cranex 3+는 71 kVp, 6 mA 16 sec로 방사선을 조사하였다 (Table 2).

촬영 장비마다 동일 조건, 동일 위치에서 흡수선량을 3회 측정하여 평균값을 구하였다. 단 흡수선량이 낮은 파노라마방사선장비인 Cranex 3+는 10회 연속촬영 후 흡수선량을 3회 측정하였고, 여기에서 1회 조사한 평균값을 구하였다.

Implagraphy는 하악우측구치부만 촬영한 경우 (이하 Implagraphy1)와 하악좌, 우측구치부와 전치부를 모두 촬영한 경우 (이하 Implagraphy3) 2 가지로 나눠 측정하였다.

Table 1. Location of TLD rods on the phantom

Organ	Location	TLD ID	Phantom level
Thyroid	Midline thyroid	1	9
Oesophagus	Oesophagus space	2	9
Salivary gland	Sublingual gland	3	7
Salivary gland	Rt. SubMn. gland	4	7
Salivary gland	Lt. SubMn. gland	5	7
Bone marrow	Rt. Mn. body	6	6
Bone marrow	Lt. Mn. body	7	6
Bone marrow	Rt. Mn. ramus	8	6
Bone marrow	Lt. Mn. ramus	9	6
Bone marrow	Central cervical spine	10	6
Salivary gland	Rt. parotid gland	11	5
Salivary gland	Lt. parotid gland	12	5
Eyes	Rt. orbit	13	3
Eyes	Lt. orbit	14	3
Brain	Pituitary fossa	15	3
Bone marrow	Ant. calvarium	16	2
Bone marrow	Rt. calvarium	17	2
Bone marrow	Lt. calvarium	18	2
Brain	Mid brain	19	2
Thyroid	Thyoid surface	20	9
Skin	Back of neck	21	7
Skin	Rt. cheek	22	5
Skin	Lt. cheek	23	5
Eyes	Rt. lens	24	3
Eyes	Lt. lens	25	3

Table 2. Exposure parameter for cone beam CT, conventional CT and panoramic radiography

	Cone beam CT		Conventional CT		Panoramic radiography
	Impla- graphy	DCT Pro	SCT 6800 TXL (Implant)	SCT 6800 TXL (3D)	Cranex 3+
kVp	85	90	120	120	71
mA	5	4	200	250	6
Second	24	24	1.5 sec × 48 slice	36	16

3) X선 스펙트럼

각 방사선 조사 장비의 촬영조건을 가지고, SPEC78 software (the Institute of Physics and Engineering in Medicine, York, UK)를 이용하여 각 조사 장비의 X선 스펙트럼을 얻고, 평균 X선 에너지를 얻었다. 이후 미국표준연연구소 (National Institute of Science and Technology: NIST)의 X선 에너지와 물질 종류에 따른 물질에너지흡수계수 표²⁷를 이용하여 각각의 물질에너지흡수계수 값을 구하여 흡수선량 계산 시 보정을 해주었다.

4) 흡수선량 측정과 유효선량 계산

TLD rod의 판독은 135°C에서 10초간 예열한 후 10°C/sec의 가열속도로 240°C까지 가열하여 이를 10초간 유지하여 획득한 글로우 곡선 (glow curve)의 열발광 강도를 적

Table 3. Estimated percentage of tissue irradiated used to calculate mean absorbed dose to a tissue or organ

Tissue or organ	Fraction irradiated (%)
Bone marrow	16.5
Mandible	1.3
Calvaria	11.8
Cervical spine	3.4
Thyroid	100
Oesophagus	10
Skin	5
Bone surface	16.5
Mandible	1.3
Calvaria	11.8
Cervical spine	3.4
Salivary glands	100
Parotid	100
Submandibular	100
Sublingual	100
Brain	100
Remainder	
Adipose	5
Connective tissue	5
Lymphatic nodes	5
Muscle	5
Extrathoracic airway	100
Pituitary	100
Eyes	100

Bone surface dose = bone marrow dose × 4.64; ICRP 2005 draft²⁷

분하여 이루어졌다. 이렇게 얻어진 판독 값에 소자보정계수 (Element Correction Factor: ECF)와 선원에 따른 물질에너지흡수계수 보정계수로 보정하여, 25개 TLD rod에서 각 부위의 흡수선량을 측정하였다. 얻어진 각 부위의 흡수선량을 mGy로 환산한 후, 각 조직 및 기관의 평균 흡수선량을 구하였다. 골수의 평균 흡수선량은 하악골, 두개골, 경추로 나누어 계산하였다. 하악골부위의 골수는 좌, 우 하악지와 좌, 우 하악체부위에서 측정된 선량의 평균값으로 계산하였고 두개골부위의 골수는 전방, 좌, 우 두개골부위에서 측정된 선량의 평균값으로 계산하였다. 골 표면의 평균 흡수선량은 골수의 평균 흡수선량에 4.64를 곱하여 구하였다. 피부의 평균 흡수선량은 좌, 우 뺨 부위와 목 뒤 부위에서 측정된 선량의 평균값으로 계산하였다. 타액선의 평균 흡수선량은 이하선, 악하선, 설하선부위에서 측정된 선량의 평균값으로 구하였다. 뇌의 평균 흡수선량은 중간 뇌 부위와 뇌하수체부위에서 측정된 선량의 평균값으로 구하였다. 기타 (remainder) 조직에 대한 평균 흡수선량은 Ludlow 등의 방법²⁵으로 각각 구하였다.

구해진 각 조직 및 기관의 평균 흡수선량에 전체 조직에 대한 방사선에 조사된 조직의 비율 (Table 3)을 곱하여 방사선 가중선량을 구하였다.²⁵

구해진 각 조직 및 기관의 방사선 가중선량에 해당 조직가중계수를 곱하고 그 합으로 유효선량을 구하였다. 조

Table 4. Tissue weighting factors for calculation of effective dose -ICRP 2005 draft recommendations²⁷

Tissue	2005 _{wT}
Bone marrow	0.12
Breast	0.12
Colon	0.12
Lung	0.12
Stomach	0.12
Bladder	0.05
Oesophagus	0.05
Gonads	0.05
Liver	0.05
Thyroid	0.05
Bone surface	0.01
Brain	0.01
Kidneys	0.01
Salivary glands	0.01
Skin	0.01
Remainder tissue*	0.10

*Adipose tissue, adrenals, connective tissue, extrathoracic airways, gall bladder, heart wall, lymphatic nodes, muscle, pancreas, prostate, SI wall, spleen, thymus and uterus/cervix

직가중계수는 전체적인 방사선 위험도에 대한 조직 및 기관의 상대적인 기여도를 나타내며, 2005년에 개정 공지된 15개 조직과 14개의 기타조직의 계수를 이용하였다(Table 4).²⁸ 구강악안면영역의 방사선사진촬영시 방사선에 직접 노출되지 않는 8개 조직인 유선, 결장, 폐, 위 방광, 생식선, 간, 신장과 9개의 기타조직은 제외하고 유효선량을 구하였다.

결 과

1. X선 스펙트럼

평균 X-선 에너지는 SCT 6800TXL이 55.0 keV로 가장 높았고, DCT Pro, Implagraphy, Cranex 3+ 순 이었다(Table 5). 각 장비들의 X선 스펙트럼은 Fig. 4와 같았다.

2. 흡수선량 비교

Implagraphy1의 경우 우측 뺨에 13.15 mGy, 우측 악하선부에 5.96 mGy로 높게 나타났고, Implagraphy3는 우측 뺨

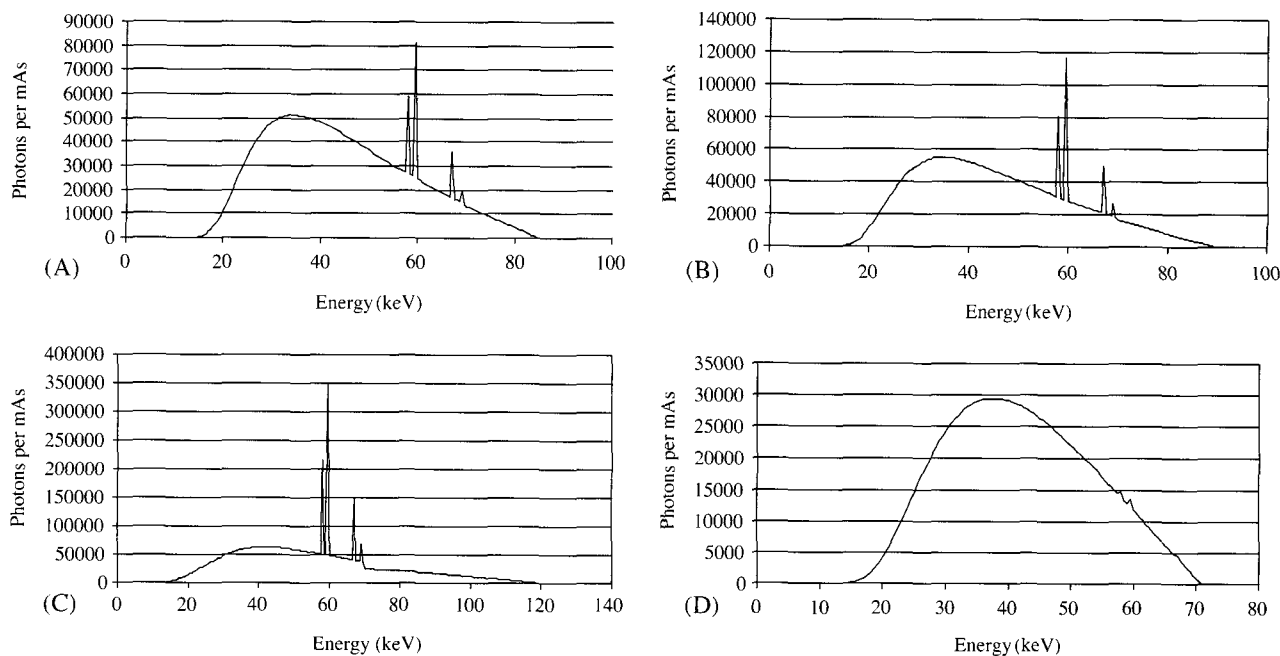


Fig. 4. X-ray spectrum for Implagraphy (A), DCT Pro (B), SCT 6800TXL (C) and Cranex 3+ (D).

Table 5. Mean X-ray energy and mass absorption coefficient for Implagraphy, DCT Pro, SCT 6800TXL and Cranex 3+

	Implagraphy	DCT Pro	SCT 6800TXL	Cranex 3+
Target material	Tungsten	Tungsten	Tungsten	Tungsten
Tube voltage (kVp)	85	90	120	71
Anode angle (°)	17	17	7	5
Filtration material	2.5 mm Al	2.5 mm Al	1.1 mm Al	2.5 mm Al
Mean X-ray energy (keV)	44.3	45.9	55.0	41.9
Mass absorption coefficient (cm ² /g)	0.060	0.055	0.038	0.067

Table 6. Mean absorbed dose for Implagraphy, DCT Pro, SCT 6800TXL and Cranex 3+ (mGy)

Organ	Location	TLD ID	Impla-graphy1	Impla-graphy3	DCT Pro	SCT 6800TXL (Implant)	SCT 6800TXL (3D)	Cranex 3+
Thyroid	Midline thyroid	1	0.76	2.96	2.05	11.53	4.82	0.13
Oesophagus	Oesophagus space	2	0.50	1.81	1.87	8.10	3.79	0.07
Salivary gland	Sublingual gland	3	5.01	24.06	5.79	89.68	18.32	0.54
Salivary gland	Rt. SubMn. gland	4	5.96	22.39	7.19	110.57	24.56	0.70
Salivary gland	Lt. SubMn. gland	5	2.87	13.26	6.98	101.27	22.22	0.67
Bone marrow	Rt. Mn. body	6	5.04	21.68	6.17	95.30	21.94	0.64
Bone marrow	Lt. Mn. body	7	2.64	11.97	6.18	98.40	20.39	0.62
Bone marrow	Rt. Mn. ramus	8	4.54	17.22	5.82	77.74	21.66	0.35
Bone marrow	Lt. Mn. ramus	9	2.52	10.65	6.00	82.02	21.03	0.53
Bone marrow	Central cervical spine	10	3.20	12.78	5.73	85.84	21.01	0.43
Salivary gland	Rt. parotid gland	11	3.43	11.67	5.83	15.18	16.78	0.68
Salivary gland	Lt. parotid gland	12	1.30	6.43	5.28	13.40	17.38	0.39
Eyes	Rt. orbit	13	0.77	2.73	4.89	4.07	18.66	0.05
Eyes	Lt. orbit	14	0.52	2.25	5.45	3.32	17.49	0.04
Brain	Pituitary fossa	15	0.32	0.96	4.51	2.89	12.50	0.03
Bone marrow	Ant. calvarium	16	0.28	0.87	4.43	1.33	16.57	0.02
Bone marrow	Rt. calvarium	17	0.19	0.42	5.10	3.36	17.29	0.02
Bone marrow	Lt. calvarium	18	0.15	0.33	4.88	1.40	17.55	0.23
Brain	Mid brain	19	0.21	0.53	3.51	3.24	13.73	0.02
Thyroid	Thyoid surface	20	0.79	3.68	2.77	9.97	4.83	0.13
Skin	Back of neck	21	3.59	14.11	5.38	31.19	22.71	0.64
Skin	Rt. cheek	22	13.15	44.05	6.57	13.99	24.89	0.11
Skin	Lt. cheek	23	4.83	21.48	7.79	13.98	23.30	0.08
Eyes	Rt. lens	24	0.96	3.62	7.85	2.84	22.35	0.02
Eyes	Lt. lens	25	0.69	3.12	7.14	1.92	21.75	0.03

Implagraphy1: Rt. lower posterior tooth area

Implagraphy3: Rt. & Lt. lower posterior, anterior tooth area

Table 7. Radiation weighted dose and effective dose for Implagraphy, DCT Pro, SCT 6800TXL and Cranex 3+ (mSv)

Tissue / Organ	Impla-graphy1	Impla-graphy3	DCT Pro	SCT 6800TXL (Implant)	SCT 6800TXL (3D)	Cranex 3+
Bone marrow	0.181	0.698	0.840	4.307	3.013	0.032
Bone surface	0.840	3.240	3.899	19.983	13.979	0.149
Brain	0.268	0.748	4.012	3.063	13.113	0.029
Eyes	0.735	2.930	6.334	3.040	20.062	0.035
Oesophagus	0.050	0.181	0.187	0.810	0.379	0.007
Salivary glands	3.714	15.561	6.214	66.020	19.853	0.597
Skin	0.360	1.327	0.329	0.986	1.182	0.014
Thyroid	0.776	3.318	2.414	10.747	4.828	0.128
Remainder						
Adipose tissue	0.186	0.778	0.311	3.301	0.993	0.030
Connective tissue	0.186	0.778	0.311	3.301	0.993	0.030
Lymphatic nodes	0.186	0.778	0.311	3.301	0.993	0.030
Muscle	0.100	0.436	0.237	1.910	0.793	0.011
Extrathoracic airway	3.714	15.561	6.214	66.020	19.853	0.597
Effective dose (total)	0.146	0.598	0.428	2.551	1.272	0.023

Implagraphy1: Rt. lower posterior tooth area

Implagraphy3: Rt. & Lt. lower posterior, anterior tooth area

에 44.05 mGy, 설하선부에 24.06 mGy로 높게 나타났으며, DCT Pro는 우측 뺨에 7.85 mGy, 우측 악하선부에 7.19 mGy로 높게 나타났다. SCT 6800TXL (Implant)는 우측 악

하선부에 110.57 mGy, 좌측 악하선부에 101.57 mGy로 높게 나타났고, SCT 6800TXL (3D)는 우측 뺨에 24.89 mGy, 우측 악하선부에 24.56 mGy로 높게 나타났으며, Cranex

Table 8. Comparison of effective dose by tissue weighting protocol, as a multiple of single panoramic dose and as a percentage of annual per capita background X-ray dose from all sources

Tissue/Organ	Impla-graphy1	Impla-graphy3	DCT Pro	SCT 6800TXL (Implant)	SCT 6800TXL (3D)	Cranex 3+
Effective dose (total) (mSv)	0.146	0.598	0.428	2.551	1.272	0.023
Dose as a multiple of single panoramic dose	6.2	25.5	18.2	108.6	54.1	1
Dose as a % of annual per capita background	4.1	16.6	11.9	70.9	35.3	0.7

Implagraphy1: Rt. lower posterior tooth area

Implagraphy3: Rt. & Lt. lower posterior, anterior tooth area

3+는 우측 악하선부에 0.70 mGy, 우측 이하선부에 0.68 mGy로 높게 나타났다(Table 6).

3. 방사선가중선량 및 유효선량 비교

방사선가중선량은 SCT 6800TXL (Implant)로 촬영한 경우 타액선에서 66.020 mSv로 가장 높았으며, 타액선의 방사선가중선량은 각각 Implagraphy1은 3.714 mSv, Implagraphy3은 15.561 mSv, DCT Pro는 6.214 mSv, SCT 6800TXL (3D)는 19.853 mSv, Cranex 3+는 0.597 mSv였다(Table 7).

유효선량은 SCT 6800TXL (Implant), SCT 6800TXL (3D), Implagraphy3, DCT Pro, Implagraphy1 순으로 각각 2.551 mSv, 1.272 mSv, 0.598 mSv, 0.428 mSv, 0.146 mSv였고(Table 7), Cranex 3+ 유효선량(0.023 mSv)을 기준으로 각각 108.6배, 54.1배, 25.5배, 18.2배, 6.2배였다(Table 8).

고 찰

국제방사선방호위원회에서는 방사선 방호의 목표를 이루기 위해서 행위의 정당화, 방호의 최적화, 선량한도에 대한 방사선방호 체계를 준수하도록 권고하였다.²⁹ 방호의 최적화란 정당화된 행위에 관련된 어느 특정 선원으로부터 경제적 및 사회적 요인을 고려하여 개인의 피폭 선량, 피폭되는 인원수, 피폭가능성을 합리적으로 달성될 정도로 낮게 유지하는 것이다.²⁹ 환자와 술자의 이익을 위해서는 방사선촬영장비의 정도관리, 촬영조건 최적화, 촬영장비의 개선 등을 통해 영상의 질 향상과 함께 방사선 선량감소가 중요한 이슈이다.

유효선량은 부분적인 방사선 노출을 전신적으로 노출되었을 때 발생할 수 있는 효과를 나타내는 선량이므로, 서로 다른 방사선촬영법 간의 직접 비교가 가능하다.³⁰ 본 연구에서는 국내에서 생산된 cone beam CT 장비인 Implagraphy와 DCT Pro로 촬영시 환자가 받는 유효선량을 일반 CT 촬영시의 유효선량과 비교하였다. 유효선량을 산출할 때 2007년 Cho 등³⁰의 연구에서와 같이 국제방사선방호위

원회(ICRP)에서 2005년에 수정 제시한 방법을 이용하여 계산하였다. 여러 가지 촬영시 환자가 받는 흡수선량, 유효선량에 관한 선학들의 많은 연구는 대부분 ICRP에서 1990년에 제시한 방법²⁹ 또는 이를 약간 변형시킨 방법을 사용하였다. 1990년 제시된 조직가중계수²⁸는 12개 조직/기관의 가중계수와 remainder tissue로 10개 조직이 포함되어 있으며, 2005년 수정 제시된 조직가중계수(Table 4)²⁹에는 두경부 촬영에서 많은 선량에 조사되는 타액선을 포함하여 뇌, 신장이 추가되어 15개 조직/기관의 가중계수와 remainder tissue로 지방, 결합조직, 림프선, 근육, 외홍부기도 조직이 포함되었다. 유효선량 계산시 remainder tissue의 부위선정에 어려움이 있어 2006년 Ludlow 등²⁵의 방법을 따라 계산하였다. 여러 연구자들이 유효선량을 계산할 때 동일한 방법을 사용하지 않아 오차가 생길 가능성이 많은 것으로 생각되어 유효선량의 절대값은 대략적인 참고용으로 생각하고, 비교할 대조군으로 파노라마 촬영 등을 포함시켜 동일 조건에서 측정, 비교하였던 것으로 사료된다.²⁶

본 연구에서 사용된 TLD rod와 이의 판독장비는 공기 커마에서 ¹³⁷Cs 방사선장 조건으로 교정되었기 때문에 흡수체와 방사선선원에 대한 보정이 필요하였다. 이에 보정계수는 미국표준연구소(National Institute of Science and Technology: NIST)의 X선 에너지와 물질 종류에 따른 물질에너지흡수계수 표²⁷를 이용하여 선원은 X-ray, 물질은 soft tissue에 대하여 보정계수를 산출한 후 흡수선량을 측정하여 오차를 최소화하려고 노력하였다.

현재 시판되고 있는 cone beam CT 촬영기는 NewTom 3G (QR, Verona, Italy), i-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, USA), CB Mercuray (Hitachi Medical Systems, Tokyo, Japan), PSR-9000NTM (Asahi Roentgen Ind. Co., Kyoto, Japan), Accuitomo (J. Morita, Kyoto, Japan), Implagraphy, DCT Pro 등이 있고, 이들은 다양한 영상의 차이가 있으며 또한 촬영기마다 유효선량도 다르게 나타난다. 2003년 Ludlow 등²⁴은 문헌상의 비교에서 NewTom의 유효선량은 일반 CT보다 낮았고 film tomography보다 높다고 보고하였고, 파노라마 촬영과 비교하면 약 3-7배 높다고 보고하였다. 또한 2006년 연구²⁵에서 파노라마 촬영

을 기준으로 유효선량을 비교한 결과 NewTom 3G는 4-7배, I-CAT은 11-15배, CB Mercuray는 42-74배 높게 나타났고, 문헌상의 고찰에서 일반 CT는 상악을 스캔한 경우 224배, 상하악을 모두 스캔한 경우 336배 높은 수치를 보인다고 보고하였다.

이번 실험에서 유효선량은 파노라마 촬영인 Cranex 3+을 기준으로 Implagraphy1은 6.2배, DCT Pro는 18.2배, SCT 6800TXL (Implant)는 108.6배, SCT 6800TXL (3D)는 54.1배로 나타나 cone beam CT 장비인 Implagraphy나 DCT Pro가 일반 CT 장비인 SCT 6800TXL보다 뚜렷하게 유효선량이 낮았다.

이 등³¹의 연구에 의하면 PSR-9000NTM의 FOV 변화에 따라 흡수선량의 변화를 보였다. 이번 실험에서 Implagraphy1의 유효선량은 0.146 mSv로 DCT Pro의 0.428 mSv보다 작았으나, 상대적으로 Implagraphy3의 경우 0.598 mSv로 DCT Pro에 비해 높았다. 작은 FOV의 Implagraphy는 약안면 일부만 촬영이 가능하나 유효선량이 상, 하악을 동시에 촬영하는 DCT Pro보다 낮음으로 방사선방어 측면에서 유리하다. 그러나 전악의 정보가 필요한 경우에는 상대적으로 낮은 유효선량을 보이는 DCT Pro의 사용이 추천되어진다.

이 등²⁶의 연구에 의하면 상악구치부촬영의 Implagraphy의 유효선량 ($E_{2005draft}$)은 90.19 μ Sv, 하악구치부촬영의 Implagraphy는 123.20 μ Sv, VCT (Vatech Co., Hwasung, Korea)는 183.55 μ Sv, Proline XC (Planmeca Co., Helsinki, Finland)는 40.92 μ Sv이었다고 보고하였다. 이번 실험에서도 동일 방사선장비를 사용하여 동일 부위인 하악우측구치부를 촬영한 경우 (Implagraphy1)가 있었으며 유효선량 ($E_{2005draft}$)은 0.146 mSv로 유사한 결과를 보였다. 그렇지만 두 연구에서 FOV가 큰 VCT와 DCT Pro의 유효선량 비교, 파노라마방사선장비끼리의 유효선량 비교에서는 차이를 보였다. 이것은 기종 간의 차이와 흡수선량 조사부위 차이에 따른 것으로 여겨진다.

배경 (background) 방사선에 의한 연간 평균 유효선량을 기준으로 보면 Implagraphy1은 4.1%, Implagraphy3는 16.6%, DCT Pro는 11.9%의 노출에 해당되었다.

촬영 장비마다 동일 조건, 동일 위치에서 흡수선량을 3회 측정하여 평균값을 구하였으나 Cranex 3+는 10회 연속 촬영 후 흡수선량을 3회 측정하였고, 여기에서 1회 조사한 평균값을 구하였다. 흡수선량이 낮은 파노라마방사선장비는 TLD rod (GR-200 소자)의 선형 응답을 보이는 선량 범위에서 흡수선량을 측정하기 위해 10회 연속촬영을 하였다.

Cone beam CT 촬영시 매우 낮은 흡수선량에도 불구하고 약안면부위의 해부학적 구조에 대한 고해상도의 영상을 제공할 수 있는 것은 촬영장치의 기계적 요인과 새로운 수학적 계산법의 개발 및 향상된 컴퓨터의 성능에 의한

것이라고 할 수 있다.³¹ 그러나 상대적으로 낮은 조사선량은 영상신호의 잡음을 증가시켜 영상의 질을 저하시킬 수 있으므로,³² cone beam CT 촬영시에는 양질의 영상을 얻을 수 있는 노출조건 설정 등이 매우 중요할 것으로 생각된다. Cone beam CT는 상대적으로 낮은 장비가격, 저선량, 고해상도와 높은 공간분해능 등의 장점을 가지며, 또한 개발되어지는 영상 모듈로 구강악안면영역의 진료에서의 사용빈도는 앞으로 계속 증가할 것으로 예측된다.

참 고 문 헌

- White SC, Pharoah MJ. Oral radiology; principles and interpretation. 5th ed. St. Louis: Mosby-Year Book Inc; 2004. p. 47-68.
- ICRP Publication 60. Radiation protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Pergamon Press; 1990. p. 68.
- White SC. Assessment of radiation risk from dental radiography. Dentomaxillofac Radiol 1992; 21 : 118-26.
- Mah JK, Danforth RA, Bumann A, Hatcher D. Radiation absorbed in maxillofacial imaging with a new dental computed tomography device. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2003; 96 : 508-13.
- Hounsfield G. Computerized transverse axial scanning (tomography) Part I. Description of system. Br J Radiol 1973; 46 : 1016-22.
- Hu H, He HD, Foley WD, Fox SH. Four multidetector-row helical CT: image quality and volume coverage speed. Radiology 2000; 215 : 55-62.
- Cho PS, Johnson RH, Griffin TW. Cone-beam CT for radiotherapy applications. Phys Med Biol 1995; 40 : 1863-83.
- Engelbrecht JS, Duvenage J, Willemsse CA, Lotter MG, Goedhals L. Computed tomography imaging with radiotherapy simulator. Br J Radiol 1995; 68 : 49-52.
- Rob RA. High-speed three-dimensional computed tomography and multi-dimensional display on the heart, lungs, and circulation. In: Fullerton GD, Zagzebski JA. Medical physics of CT and ultrasound. AAPM monograph No 6. New York: The American Institute of Physics; 1980. p. 656-702.
- Toyofuku F, Konishi K, Kanda S. Fluoroscopic computed tomography. An attempt at 3-D imaging of the teeth and jaw bones. Oral Radiol 1986; 2 : 9-13.
- Arai Y, Tammsalo E, Iwai K, Hashimoto K, Shinoda K. Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. Dentomaxillofac Radiol 1999; 28 : 245-8.
- Baba R, Konno Y, Ueda K, Ikeda S. Comparison of flat-panel detector and image-intensifier detector for cone-beam CT. Comput Med Imaging Graph 2002; 26 : 153-8.
- Baba R, Ueda K, Okabe M. Using a flat-panel detector in high resolution cone beam CT for dental imaging. Dentomaxillofac Radiol 2004; 33 : 285-90.
- Sukovic P. Cone beam computed tomography in craniofacial imaging. Orthod Craniofac Res 2003; 6(Suppl. 1) : 31-6.
- Ziegler CM, Woertche R, Brief J, Hassfeld S. Clinical indications for digital volume tomography in oral and maxillofacial surgery. Dentomaxillofac Radiol 2002; 31 : 126-30.
- Pinsky HM, Dydal S, Pinsky RW, Misch KA, Sarment DP. Accuracy of three-dimensional measurements using cone-beam CT. Dentomaxillofac Radiol 2002; 31 : 126-30.

- maxillofac Radiol 2006; 35 : 410-6.
17. Rigolone M, Pasqualini D, Bianchi L, Berutti E, Bianchi SD. Vestibular surgical access to the palatine root of the superior first molar: "low-dose cone-beam" CT analysis of the pathway and its anatomic variations. *J Endod* 2003; 29 : 773-5.
 18. Nakagawa Y, Kobayashi K, Ishii H, Mishima A, Ishii H, Asada K, et al. Preoperative application of limited cone beam computerized tomography as an assessment tool before minor oral surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2002; 31 : 322-6.
 19. Sato S, Arai Y, Shinoda K, Ito K. Clinical application of a new cone beam computerized tomography system to assess multiple two dimensional images for the preoperative treatment planning of maxillary implants: case reports. *Quintessence Int* 2004; 35 : 525-8.
 20. Hatcher DC, Dial C, Mayorga C. Cone beam CT for pre-surgical assessment of implant sites. *J Calif Dent Assoc* 2003; 31 : 825-33.
 21. Maki K, Inou N, Takanishi A, Miller AJ. Computer-assisted simulations in orthodontic diagnosis and the application of a new cone beam X-ray computed tomography. *Orthod Craniofac Res* 2003; 6(Suppl. 1) : 95-101.
 22. Hamada Y, Kondoh T, Noguchi K, Iino M, Isono H, Ishii H, et al. Application of limited cone beam computed tomography to clinical assessment of alveolar bone grafting: a preliminary report. *Cleft Palate Craniofac J* 2005; 42 : 128-37.
 23. Scaf G, Lurie AG, Mosier KM, Kantor ML, Ramsby GR, Freedman ML. Dosimetry and cost of imaging osseointegrated implants with film-based and computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1997; 83 : 41-8.
 24. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL. Dosimetry of two extraoral direct digital imaging devices: NewTom cone beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit. *Dentomaxillofac Radiol* 2003; 32 : 229-34.
 25. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL, Howerton WB. Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Meuray, NewTom 3G and i-CAT. *Dentomaxillofac Radiol* 2006; 35 : 219-26.
 26. Lee JN, Han WJ, Kim EK. Absorbed and effective dose from newly developed cone beam computed tomography in Korea. *Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2007; 37: 93-102.
 27. X-ray Mass Attenuation Coefficients Table 4. NIST <http://www.physics.nist.gov/PhysRefData/contents.html>
 28. Draft document "2005 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection". ICRP <http://www.icrp.org>.
 29. International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission of Radiological Protection, ICRP Publication 60. *Ann ICRP* 1990; 21 : 1-201.
 30. Cho JY, Han WJ, Kim EK. Absorbed and effective dose from periapical radiography by portable intraoral x-ray machine. *Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2007; 37: 149-56.
 31. Lee ET, Kim GT, Choi YS, Hwang EH. Radiation absorbed dose of cone beam computed tomography. *Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2007; 37: 87-92.
 32. Cohnen M, Kemper J, Mobes O, Pawelzik J, Modder M. Radiation dose in dental radiology. *Eur Radiol* 2002; 12 : 634-7.