

최근 개발된 cone beam computed tomography의 흡수선량 및 유효선량 평가

단국대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실
이종녕 · 한원정 · 김은경

Absorbed and effective dose from newly developed cone beam computed tomography in Korea

Jong-Nyeong Lee, Won-Jeong Han, Eun-Kyung Kim
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Dankook University

ABSTRACT

Purpose : Cone beam computed tomography (CBCT) provides a lower dose and cost alternative to conventional CT, promising to revolutionize the practice of oral and maxillofacial radiology. The purpose of this study was to evaluate the absorbed and effective doses of Implagraphy and VCT (Vatech Co., Hwasung, Korea) and compare them with those of panoramic radiography.

Materials and Methods : Thermoluminescent dosimeter (TLD) chips were placed at 27 sites throughout the layers of Female ART Head and Neck Phantom for dosimetry. Implagraphy, VCT units, and Planmeca Proline XC panoramic unit were used for radiation exposures. Radiation weighted doses and effective doses were measured and calculated using 1990 and 2005 ICRP tissue weighting factors.

Results : Effective doses in Sv (ICRP 2005, ICRP 1990) were 90.19, 61.62 for Implagraphy at maxillary molar area, 123.20, 90.02 for Implagraphy at mandibular molar area, 183.55, 139.26 for VCT and 40.92, 27.16 for panoramic radiography.

Conclusion : Effective doses for VCT and Implagraphy were only about 2.2 to 4.5 times greater than those for panoramic radiography. VCT and Implagraphy, CBCT machines recently developed in Korea, showed moderately low effective doses. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2007; 37 : 93-102)

KEY WORDS : Dosimetry; Tomography, Cone Beam Computed; Radiography, Panoramic

서 론

CT는 1972년 Dr. Hounsfield¹에 의해 개발되었고 컴퓨터의 기술 발전과 함께 임상에 응용되기 시작하면서 정확한 영상진단이 구현되었다. 기본원리는 원형의 gantry 안에 위치한 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 개발되었다. 최근에는 검출기를 여러 층으로 배열한 다중검출기 CT (multi-detector CT, MDCT)가 실용화되어 진단과 치료에 이용되고 있다.

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 Cho²와 Engelbrecht³가 CBCT 영상 구현의 가능성

접수일 : 2007년 3월 6일; 심사일 : 2007년 3월 7일; 채택일 : 2007년 4월 25일
Correspondence to : Prof. Eun-Kyung Kim
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Dankook University, San 7-1, Shinbu-dong, Cheonan, Choongnam, Korea
Tel) 82-41-550-1922, Fax) 82-41-556-7127, E-mail) ekkim@dku.edu

을 보여주었고, Rob⁴는 초고속 촬영을 위하여 28조의 X선 관구와 영상증배관을 이용하여 심장의 3차원 영상을 얻는 장치를 개발하였다. 1986년 Toyofuku 등⁵은 1조의 X선 관구와 9인치의 영상증배관을 사용하는 fluoroscopic CT를 개발하였고 1999년 Arai 등⁶은 고해상도의 화상을 얻기 위해 4인치의 영상증배관을 사용한 국소확대형 CT장치(Ortho-CT)를 개발하였다. 2001년 Toyofuku는 작은 직경의 영상증배관을 사용하여 악궁 전체에 걸쳐 이동하면서 촬영이 가능한 PSR 9000N을 개발하였다.

CBCT는 기존 CT보다 상대적으로 낮은 선량과 가격⁷때문에 구강악안면 방사선영역에서 일대 변화를 예고하고 있다. 그의 활용 분야는 근관치료학,⁸ 악안면 수술,⁹ 치주학,¹⁰ 보존수복,¹¹ 교정학¹²영역으로 확대 사용되고 있고 특히 교정학 영역에서 안면발달, 교합발달과 악안면 기형¹³의 치료에 대한 이차원적인 영상을 통한 치료는 한계를 보여 이를 해결하기 위해 삼차원적 영상 구현이 가능한 CBCT의 수요가 증가하게 되었다.

일반적 치과진료에서 매복치의 위치, 하악 매복 지치와 하악 관과의 위치관계, 치근단 병소와 치근관계, 상악 구치부와 상악동 관계,¹⁴ 외상치아의 진단 등을 진단할 때 3차원적 영상진단이 필요한 경우가 많으며 최근에는 치과 개원가에서 임플란트 시술이 일반화, 대중화되어 술 전 경, 연조직의 상세한 분석과 골의 질과 양의 평가가 치료결과를 좌우한다고 인식되어 진단과 치료계획을 수립하는데 삼차원적 진단의 필요성이 더욱 더 요구되었다.¹⁵

일반 CT에 비해 CBCT의 장점은 대축방향에 대한 해상도가 좋고(등방성 복셀), 촬영시간이 짧고, 아티팩트가 잘 나타나지 않으며, 1회전 촬영으로 이차원적영상과 삼차원적 영상이 가능하고 피폭량이 적으며, 치열의 3차원적 모델 획득, 해부학적 구조물과 동등한 이미지 획득이 가능(1:1 크기)하다는 점이다. 그러나 단점으로 산란선이 많고, 낮은 농도 분해능으로 인해 연조직 식별이 곤란하며, 촬영영역이 좁다.

현재 시판되고 있는 CBCT 촬영기는 NewTom 3G (QR, Verona, Italy), I-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, USA), CB Mercuray (Hitachi Medical Systems, Japan), Accui-tomo (J. Morita, Japan), Implagraphy (Vatech Co., Korea), VCT (Vatech Co., Korea) 등이 있고, 이들은 디지털 구내, 파노라마 영상 뿐 아니라 다평면 영상, 삼차원 영상 등을 제공한다. 이때 획득된 영상은 환자의 자세, 조사시간, 해상도, 방사선 조사량 등의 변수에 의해 영상의 차이가 있으며 또한 촬영기마다 유효선량도 다르게 나타난다. 촬영기에 따른 방사선 조사량에 대한 선학들의 연구에 의하면 CBCT인 NewTom과 digital panorama (Orthophos Plus DS)의 유효선량(ICRP1990 기준) 비교에서 NewTom의 유효선량은 일반 CT보다 적고 film tomography보다 높다고 보고하였고, 파노라마 촬영과 비교하면

약 3-7배 높다고 보고하였다.¹⁶ 또한 2006년 연구¹⁷에서 3개의 CBCT 촬영기의 유효선량을 비교한 결과 파노라마 촬영을 기준으로 했을 때 NewTom 3G는 4-7배, I-CAT는 11-15배, CB Mercuray는 42-74배 높게 나타났고, 일반 CT는 상악을 스캔한 경우 224배, 상하악을 다 스캔한 경우 336배 높은 수치를 보인다고 보고하였다.

새로 개발된 CBCT 촬영기는 보다 향상된 영상의 진단능과 함께, 촬영시 환자에게 조사되는 X선 피폭량을 최소화하는 것이 중요하고 이것은 술자나 환자, 촬영기 제조업체에게 관심의 대상이다. 국내에서 개발되어 2005년 10월에 시판되기 시작한 Implagraphy와 2006년 3월에 출시된 VCT에 대해서 촬영시 인체에 흡수되는 선량이나 유효선량에 대한 연구는 보고된 바 없다.

이에 본 연구에서는 최근에 출시되어 아직 평가되지 않은, 국내 제작된 CBCT인 Implagraphy, VCT의 구강악안면 영역의 주요 부위의 흡수선량과 유효선량을 평가하고, 일반 파노라마촬영시의 흡수선량, 유효선량과 비교해 보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구재료

방사선 선량측정을 위해 인체 골조직, 연조직의 방사선 감쇄계수와 유사한 물질로 ICRU-44 표준에 맞추어 제작된 2.5 cm 두께, 10개 절단면으로 구성된 Female ART Head and Neck Phantom (Radiology Support Devices, Inc., Long Beach, USA)과 1/8" × 1/8" × 0.035"의 열발광선량계(TLD-100 Li F chip, Harshaw Chemical Co., USA), Harshaw TLD 4000 reader (Harshaw Chemical Company, USA)를 이용하였다.

CBCT 방사선촬영장치는 국내에서 개발, 제작된 Implagraphy (Vatech Co., Hwasung, Korea), VCT (Vatech Co., Hwasung, Korea) 촬영기와 일반 파노라마촬영장치로 Planmeca Proline XC (Planmeca Co., Helsinki, Finland) 촬영기를 사용하였다.

2. 연구방법

1) 선량 측정과 유효선량 계산

TLD chip은 방사선에 노출시키기 전 잔존하는 에너지를 방출하기 위해 chip container에 넣어 섭씨 400도에서 1시간 소성(annealing)한 후 실온에서 식힌 후 다시 섭씨 100도에서 2시간 소성하였다. 본 실험에 사용하고자 하는 TLD를 calibration 하기 위해 동일 선량의 방사선에 조사한 후 TLD reader로 각 TLD chip의 전하량(nC)을 측정하여 전하량으로부터 mR으로의 변환을 위한 calibration factor를 결정하였다.^{18,19} 이때 조사된 선량은 Solidose 400

Table 1. Dosimeter location

Organ/tissue	Phantom level
Thyroid gland	9
Salivary gland	
Parotid gland (right, left)	5
Submandibular gland (right, left)	6
Bone marrow	
3rd molar (right, left)	6
2nd premolar (right, left)	6
Mandibular symphysis	7
2nd cervical vertebra (right, left)	6
6th cervical vertebra (right, left)	9
Lateral calvarium (right, left)	2
Posterior calvarium (right, left)	2
Oesophagus	9
Skin	
Philtrum	6
Occipital	2
Vertex	0
Preauricular (right, left)	4
Posterior neck	8
Chin	7
Brain (pituitary gland)	3

with R100 dose detector (RTI Electronics, Inc., Towaco, USA)로 측정하였고, 전 실험과정을 통해 각 chip의 동일성을 유지하였다. 매번 촬영 전에 TLD chip을 소성하여 초기 화시킨 후, phantom의 27개 부위에 위치시켜 촬영하였다. 촬영 후 TLD reader로 전하량을 측정하였고 측정된 전하량(nC)은 앞서 결정된 calibration factor를 이용하여 노출선량(mR)으로 변환시켰다. 변환된 노출선량(mR)에 correction factor 8.69를 곱하여 흡수선량(μGy)로 환산하였다.¹⁸⁻²⁰

TLD는 6개 기관/조직 27개 부위에 위치시켰고 부위는 갑상선 1개, 타액선 4개, 골수 13개, 식도 1개, 피부 7개, 뇌 1개를 phantom의 각 level에 위치시켰다(Table 1). 배경 방사선의 양을 측정하기 위해 매 소성 후 동일 조건에서 따로 보관된 5개의 TLD chip으로 배경 방사선 값을 측정한 후 개개의 측정치에서 빼 주어 보상하였다.¹⁸⁻²⁰

이와 같이 환산된 흡수선량을 각 부위 별로 평균을 내어, 촬영 시 방사선에 조사되는 조직의 percentage(Table 2)를 곱하여 방사선 가중선량(H_T ; μSv 단위로 표시)을 계산하였고, 유효선량(effective dose; μSv 단위로 표시)은 각 조직/장기의 방사선 가중선량(H_T)에 조직 가중계수(tissue weighting factors)를 곱한 값의 총합으로 계산하였다.¹⁷

$$E = \sum W_T \times H_T$$

W_T : 조직가중 계수(조직 또는 기관의 전체적인 위험도에 대한 상대적 기여도)(Table 3)

H_T : 방사선 가중선량(Radiation weighted dose)

방사선 가중선량을 계산할 때 CBCT나 파노라마 촬영시

Table 2. Estimated percentage of tissue irradiated¹⁷

Organ/tissue	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
Brain (pituitary) †	100
Remainder	
Brain † †	100
Adipose	5
Connective tissue	5
Lymphatic nodes	5
Muscle	5
Extrathoracic airway	5

*: Bone surface dose = bone marrow dose \times 4.64

†: ICRP 2005, † †: ICRP 1990

Table 3. Tissue weighting factor-ICRP 1990 and 2005 draft recommendation^{17,22}

Organ/tissue	1990 W_T	2005 W_T
Gonads	0.20	0.05
Bone marrow (red)	0.12	0.12
Colon	0.12	0.12
Lung	0.12	0.12
Stomach	0.12	0.12
Bladder	0.05	0.05
Breast	0.05	0.12
Liver	0.05	0.05
Oesophagus	0.05	0.05
Thyroid	0.05	0.05
Skin	0.01	0.01
Bone surface	0.01	0.01
Brain	remainder	0.01
Kidney	remainder	0.01
Salivary glands	—	0.01
Remainder	0.05*	0.10 †

*: Adrenals, brain, upper large intestine, small intestine, kidney, muscle, pancreas, spleen, thymus, uterus

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

방사선에 조사되는 조직의 percentage는 갑상선, 타액선, 뇌(뇌하수체) 부위는 100%, 식도는 10%, 피부는 5%가 조사된다고 간주하였고, remainder에서 지방조직, 결합조직, 림프선, 근육조직, 외흉부 기도(extrathoracic airway) 부위 모두 각 5%가 조사된다고 간주하였다(Table 2).¹⁷

하악과 두개골, 경추의 골수부위는 인체 전체 골수의 16.5% (1.3% 하악, 11.8% 두개골, 3.4% 경추), 하악과 두개골, 경추의 골 표면은 인체의 전 골표면의 16.5% (1.3% 하악, 11.8% 두개골, 3.4% 경추), 두경부의 피부는 인체의 전 피부의 5%로 계산하였다. 치밀골의 흡수선량은 평균 골수선량 (marrow dose)에 경, 연조직에 대한 비율요소 (노출을 흡수선량으로 전환하기 위한 요소)인 4.64를 곱하여 계산하였다.^{17,21}

유효선량은 1990년, 2005년의 ICRP guideline인 tissue weighting factor (Table 3)를 둘 다 사용하여 산출하였다. 1990W_T는 12개 조직 혹은 기관 중에서 골수, 식도, 갑상선, 골 표면, 피부를 실험에 포함하였고 remainder tissues (10개) 중 뇌, 근육만 사용하였다. 개정된 2005W_T에서는 1990W_T에 포함되지 않았던 타액선과 remainder였던 뇌와 신장이 15개 조직/기관에 추가되었고 remainder tissues는 14개로 그 중에서 지방조직, 결합조직, 림프선, 근육조직, 외흉부 기도 (extrathoracic airway) 부위를 포함시켜 계산하였다.¹⁷

2) 방사선 영상 촬영과 방법

촬영조건으로 Implagraphy 촬영기는 통상 가장 많이 사용하는 Field of View (FOV) 8×5 cm로 상, 하악 구치부를 성인 여성의 촬영 조건 85 kVp, 5 mA, 15s의 촬영 조건으로 각각 촬영하였다 (Fig. 1). VCT 촬영기는 FOV 20×15 cm로 역시 성인 여성의 촬영 조건 95 kVp, 8 mA, 15s로 상하악을 동시에 촬영하였고 (Fig. 2), 파노라마 Planmeca XC proline 촬영은 성인 여성의 촬영 조건 70 kV, 7 mA, 18s로 phantom을 촬영하였다 (Fig. 3). 촬영장치마다 동일 조건, 동

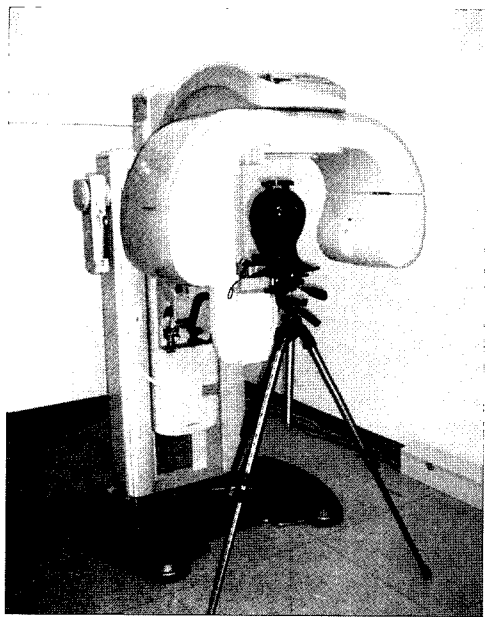


Fig. 1. Phantom with TLD chip located at 27 anatomic location was radiographed with Implagraphy.

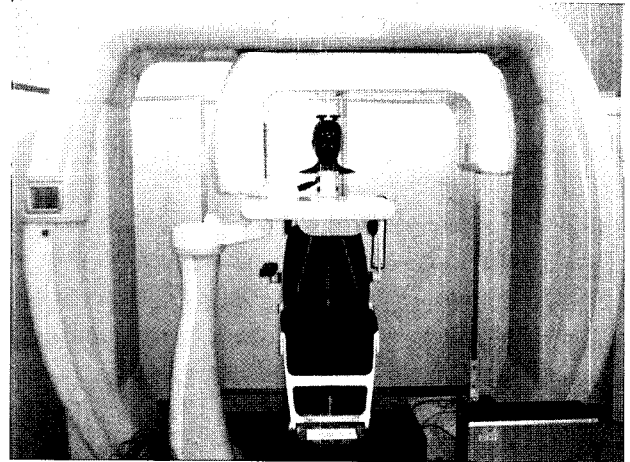


Fig. 2. Phantom with TLD chip located at 27 anatomic location was radiographed with VCT.



Fig. 3. Phantom with TLD chip located at 27 anatomic location was radiographed with Planmeca Proline XC.

일 위치에서 3회씩 연속 노출하여 측정하였고, 각 촬영을 3회씩 반복하여 앞에 기술한 방법으로 흡수선량 및 유효선량 (ICRP 1990, ICRP 2005)을 측정, 계산하여 Implagraphy 상악 구치부 촬영, Implagraphy 하악 구치부 촬영, VCT 상하악 동시촬영, Planmeca 촬영기로 촬영한 경우를 비교하였다.

결 과

1. 각 촬영시 부위별 평균 흡수선량

상악 우측 구치부를 중심으로 Implagraphy로 촬영한 경

Table 4. Mean absorbed dose from Implagraphy, VCT and panoramic radiography (μGy)

Organ/tissue	Implagraphy (maxilla)	Implagraphy (mandible)	VCT	Panoramic radiography
Thyroid gland	825.65	1289.85	1242.32	332.54
Salivary gland				
Parotid gland (right)	2644.37	2844.76	2787.02	1298.67
Submandibular gland (right)	1808.17	2969.44	2165.34	340.91
Parotid gland (left)	1772.50	1761.71	3881.45	2118.18
Submandibular gland (left)	2274.62	3402.87	2884.67	994.77
Bone marrow				
3rd molar (right)	2517.78	3482.15	2421.55	130.28
3rd molar (left)	1750.77	2849.80	2547.96	98.23
2nd premolar (right)	1837.96	2815.01	2035.84	81.84
2nd premolar (left)	1575.99	2557.78	2215.81	273.91
Mandibular symphysis	2301.34	3400.85	2853.88	638.68
2nd cervical vertebra (right)	959.87	1920.18	3466.20	232.19
2nd cervical vertebra (left)	989.60	1805.03	2973.87	149.40
6th cervical vertebra (right)	666.46	573.86	699.56	174.46
6th cervical vertebra (left)	248.44	318.92	712.16	843.86
Lateral calvarium (right)	200.48	200.88	2054.49	224.07
Lateral calvarium (left)	166.02	248.87	2131.66	224.93
Posterior calvarium (right)	349.27	383.81	2316.14	285.79
Posterior calvarium (left)	213.38	156.24	1533.83	167.99
Oesophagus	975.61	994.78	1793.80	638.67
Skin				
Philtrum	3273.12	3306.46	4225.93	245.18
Occipital	582.58	326.46	2109.13	193.05
Vertex	338.25	392.17	702.68	305.70
Preauricular (right)	887.95	379.59	3288.88	233.31
Preauricular (left)	644.55	447.78	3039.32	452.85
Posterior neck	498.51	1402.02	2033.97	768.10
Chin	1050.03	3787.11	3381.91	174.45
Brain (pituitary gland)	604.26	339.18	2120.79	28.92

Table 5. Radiation weighted dose and effective dose for Implagraphy (maxilla) (μSv)

Tissue/Organ	Weighting factor		H_T dose		E dose	
	ICRP 1990	ICRP 2005	ICRP 1990	ICRP 2005	ICRP 1990	ICRP 2005
Bone marrow	0.12	0.12	77.72	77.72	9.33	9.33
Oesophagus	0.05	0.05	97.56	97.56	4.88	4.88
Thyroid	0.05	0.05	825.65	825.65	41.28	41.28
Skin	0.01	0.01	49.25	49.25	0.49	0.49
Bone surface	0.01	0.01	360.60	360.60	3.61	3.61
Brain	remainder	0.01		604.26		6.04
Salivary glands	—	0.01	2124.92	2124.92		21.25
Remainder	0.05	0.1				
Brain			604.26		3.02	
Adipose tissue				106.25		0.76
Connective tissue				106.25		0.76
Lymphatic nodes				106.25		0.76
Muscle			38.40	38.40	0.19	0.27
Extrathoracic airway				106.25		0.76
Effective dose (total)					62.61	90.19

 H_T dose: radiation weighted dose (μSv)E dose: effective dose (μSv)

우 인중부 피부에 3273.12 μGy , 우측 이하선부에 2644.37 μGy , 우측 하악 제3대구치부에 2517.78 μGy 의 순으로 평균 흡수선량이 높게 나타났다.

하악 우측 구치부를 중심으로 Implagraphy로 촬영한 경우 턱 피부에 3787.11 μGy , 우측 제3대구치부에 3482.15 μGy , 좌측 악하선부에 3402.87 μGy , 하악 결합부 골수부에서 3400.85 μGy 의 순으로 평균 흡수선량이 높게 나타났다.

상, 하악 부위를 동시에 촬영하는 VCT의 경우 인중부 피부에 4225.93 μGy , 좌측 이하선부에 3881.45 μGy , 우측 제2경추 골수부에서 3466.20 μGy 의 순으로 평균 흡수선량이 높게 나타났다.

상, 하악 부위를 동시에 촬영하는 파노라마 촬영의 경우 좌측 이하선부에 2118.18 μGy , 우측 이하선부에 1298.67 μGy , 좌측 악하선부에서 994.77 μGy 의 순으로 평균 흡수선량이 높게 나타났다 (Table 4).

2. 각 촬영시 방사선가중선량 및 유효선량 비교

상악 우측 구치부를 중심으로 Implagraphy로 촬영한 경우 타액선부의 방사선 가중선량이 2124.92 μSv 로 가장 높았으며, ICRP 1990년 기준으로 계산한 유효선량은 62.61 μSv , ICRP 2005년 기준으로 계산한 유효선량은 90.19 μSv

Table 6. Radiation weighted dose and effective dose for Implagraphy (mandible) (μSv)

Tissue/Organ	Weighting factor		H_T dose		E dose	
	ICRP 1990	ICRP 2005	ICRP 1990	ICRP 2005	ICRP 1990	ICRP 2005
Bone marrow	0.12	0.12	107.73	107.73	12.93	12.93
Oesophagus	0.05	0.05	99.48	99.48	4.97	4.97
Thyroid	0.05	0.05	1289.85	1289.85	64.49	64.49
Skin	0.01	0.01	64.88	64.88	0.65	0.65
Bone surface	0.01	0.01	499.85	499.85	5.00	5.00
Brain	remainder	0.01		339.18		3.39
Salivary glands	-	0.01	2744.70	2744.70		27.45
Remainder	0.05	0.1				
Brain			339.18		1.70	
Adipose tissue				137.23		0.98
Connective tissue				137.23		0.98
Lymphatic nodes				137.23		0.98
Muscle			56.13	56.13	0.28	0.40
Extrathoracic airway				137.23		0.98
Effective dose (total)					90.02	123.20

H_T dose: radiation weighted dose (μSv)

E dose: effective dose (μSv)

Table 7. Radiation weighted dose and effective dose for VCT (μSv)

Tissue/Organ	Weighting factor		H_T dose		E dose	
	ICRP 1990	ICRP 2005	ICRP 1990	ICRP 2005	ICRP 1990	ICRP 2005
Bone marrow	0.12	0.12	335.20	335.20	40.22	40.22
Oesophagus	0.05	0.05	179.38	179.38	8.97	8.97
Thyroid	0.05	0.05	1242.32	1242.32	62.12	62.12
Skin	0.01	0.01	130.64	130.64	1.31	1.31
Bone surface	0.01	0.01	1555.34	1555.34	15.55	15.55
Brain	remainder	0.01		2120.79		21.21
Salivary glands	-	0.01	2929.62	2929.62		29.30
Remainder	0.05	0.1				
Brain			2120.79		10.60	
Adipose tissue				146.48		1.05
Connective tissue				146.48		1.05
Lymphatic nodes				146.48		1.05
Muscle			96.46	96.46	0.48	0.69
Extrathoracic airway				146.48		1.05
Effective dose (total)					139.26	183.55

H_T dose: radiation weighted dose (μSv)

E dose: effective dose (μSv)

이었다(Table 5).

하악 우측 구치부를 중심으로 Implagraphy로 촬영한 경우 역시 타액선부의 방사선 가중선량이 2744.70 μSv 로 가장 높았으며, ICRP 1990년 기준으로 계산한 유효선량은 90.02 μSv , ICRP 2005년 기준으로 계산한 유효선량은 123.20 μSv 이었다(Table 6).

상, 하악 부위를 동시에 촬영하는 VCT의 경우 역시 타액선부의 방사선 가중선량이 2929.62 μSv 로 가장 높았으며, ICRP 1990년 기준으로 계산한 유효선량은 139.26 μSv , ICRP 2005년 기준으로 계산한 유효선량은 183.55 μSv 이었다(Table 7).

상, 하악 부위를 동시에 촬영하는 파노라마 촬영의 경우도 타액선부의 방사선 가중선량이 1188.13 μSv 로 가장 높았으며, ICRP 1990년 기준으로 계산한 유효선량은 27.16 μSv , ICRP 2005년 기준으로 계산한 유효선량은 40.92 μSv 이었다(Table 8).

네 가지 촬영의 유효선량을 타액선을 포함하여 산출한 ICRP 2005년 기준으로 계산한 유효선량으로 비교해 보았을 때(Table 9), VCT촬영의 경우 183.55 μSv 로 가장 높아 파노라마 촬영의 약 4.5배 정도 되었으며, 그 다음은 하악을 Implagraphy로 촬영한 경우 파노라마 촬영의 약 3배, 상악을 Implagraphy로 촬영한 경우 파노라마 촬영의 약

Table 8. Radiation weighted dose and effective dose for panoramic radiography (μSv)

Tissue/Organ	Weighting factor		H_T dose		E dose	
	ICRP 1990	ICRP 2005	ICRP 1990	ICRP 2005	ICRP 1990	ICRP 2005
Bone marrow	0.12	0.12	41.71	41.71	5.01	5.01
Oesophagus	0.05	0.05	63.87	63.87	3.19	3.19
Thyroid	0.05	0.05	332.54	332.54	16.63	16.63
Skin	0.01	0.01	15.01	15.01	0.15	0.15
Bone surface	0.01	0.01	193.54	193.54	1.94	1.94
Brain	remainder	0.01		28.92		0.29
Salivary glands	-	0.01	1188.13	1188.13		11.88
Remainder	0.05	0.1				
Brain			28.92		0.14	
Adipose tissue				59.41		0.42
Connective tissue				59.41		0.42
Lymphatic nodes				59.41		0.42
Muscle			20.39	20.39	0.10	0.15
Extrathoracic airway				59.41		0.42
Effective dose (total)					27.16	40.92

H_T dose: radiation weighted dose (μSv)

E dose: effective dose (μSv)

Table 9. Effective dose (ICRP 2005) for Implagraphy, VCT and panoramic radiography

Tissue/Organ	Implagraphy (maxilla)		Implagraphy (mandible)		VCT		Panoramic radiography	
	H_T dose	E dose	H_T dose	E dose	H_T dose	E dose	H_T dose	E dose
Bone marrow	77.72	9.33	107.73	12.93	335.20	40.22	41.71	5.01
Oesophagus	97.56	4.88	99.48	4.97	179.38	8.97	63.87	3.19
Thyroid	825.65	41.28	1289.85	64.49	1242.32	62.12	332.54	16.63
Skin	49.25	0.49	64.88	0.65	130.64	1.31	15.01	0.15
Bone surface	360.60	3.61	499.85	5.00	1555.34	15.55	193.54	1.94
Brain	604.26	6.04	339.18	3.39	2120.79	21.21	28.92	0.29
Salivary glands	2124.92	21.25	2744.70	27.45	2929.62	29.30	1188.13	11.88
Remainder								
Adipose tissue	106.25	0.76	137.23	0.98	146.48	1.05	59.41	0.42
Connective tissue	106.25	0.76	137.23	0.98	146.48	1.05	59.41	0.42
Lymphatic nodes	106.25	0.76	137.23	0.98	146.48	1.05	59.41	0.42
Muscle	38.40	0.27	56.13	0.40	96.46	0.69	20.39	0.15
Extrathoracic airway	106.25	0.76	137.23	0.98	146.48	1.05	59.41	0.42
Effective dose (total)		90.19		123.20		183.55		40.92

H_T dose: radiation weighted dose (μSv)

dose: effective dose (μSv)

2.2배의 순으로 나타났다.

고 찰

본 연구에서 국내에서 출시된 CBCT인 Implagraphy와 VCT로 촬영시 환자가 받는 유효선량을 일반 파노라마촬영시의 유효선량과 비교한 결과 VCT는 ICRP 2005 기준으로 했을 때 183.55 μSv 로 파노라마촬영시의 유효선량 40.92 μSv 의 약 4.5배, Implagraphy로 상악 구치부를 촬영한 경우는 90.19 μSv 로 파노라마촬영시의 유효선량의 약 2.2배, Implagraphy로 하악 구치부를 촬영한 경우는 123.20 μSv 로 파노라마촬영시의 유효선량의 약 3배 높은 유효선량이 관찰되었다. Ludlow 등¹⁷은 12인치 FOV에서 NewTom 3G가 59 μSv , I-CAT은 193 μSv , CB Mercuray는 558 μSv 의 유효선량으로 디지털 파노라마촬영(OrthoPhos Plus DS)의 13.3 μSv 과 비교했을 때 NewTom 3G는 3.3배, I-CAT은 15배, CB Mercuray는 42배 높다고 보고한 바 있다. 유효선량의 절대적인 값으로 보면 15×20 cm의 넓은 FOV를 보여 주는 VCT는 I-CAT과 유사한 유효선량을 보였고, 파노라마촬영시의 유효선량과 비교한 결과는 4.5배로 상당히 낮게 나타나 NewTom 3G와 유사한 것으로 나타났다. 본 연구에서 파노라마촬영시의 유효선량은 40.92 μSv 로, 과거 선학들의 유효선량 연구^{16,23,24}에서 보고된 파노라마촬영의 유효선량인 4.7-26 μSv 보다 상당히 높게 나타났다. 이는 본 연구에서 사용된 일반 파노라마 촬영기가 아날로그 방식의 Planmeca Proline XC로 수 중의 파노라마기기 중에서 가장 높은 유효선량을 보인 EC Proline²⁴과 동일 회사제품이었으며, 촬영조건이 68 kVp, 6 mA로 이전 연구에서 주었던 64 kVp, 7 mA의 조건보다 다소 높았고, 본 연구에서 사용된 phantom이 female phantom으로 두경부 크기가 상당히 작아 파노라마나 CBCT 촬영시 두경부의 중요 부위에 더 많은 선량이 흡수된 것 때문으로 생각되었다.

또한 수 중의 CBCT 간의 유효선량의 차이에 관련 가능성이 있는 요소로 검출기의 민감도를 생각할 수 있다. NewTom이나 CB Mercuray는 영상증배관과 CCD 검출기를 이용하며, 본 연구에서 사용된 Implagraphy, VCT는 I-CAT과 유사한 amorphous silicon flat panel 검출기를 이용하는 기기이다. VCT가 I-CAT과 유사한 유효선량을 보인 것이 유사한 방식의 검출기를 사용한 것 때문으로도 생각할 수 있으나, 동일하게 영상증배관과 CCD 검출기를 이용하는 NewTom이나 CB Mercuray의 유효선량이 현저히 차이가 나는 것을 볼 때 그 외의 요소가 복합적으로 작용하는 것으로 생각된다. 그 외 고려사항으로 FOV의 크기, X선 관구 초점과 환자까지의 거리가 있는데, FOV는 Implagraphy의 경우 8×5 cm, VCT의 경우 20×15 cm로 통상적으로 사용하는 FOV로 설정하여 조사하였기 때문에 VCT 일회 촬영시 선량은 Implagraphy로 상악 구치부, 하악 구

치부 중심으로 일회 촬영시보다 많은 선량이 측정되었다. 그러나 FOV가 작은 Implagraphy로 상하악을 다 보고자 한다면 여러 번 촬영을 해야 하므로 전체적인 선량은 VCT로 한번 촬영하는 경우보다 많아지게 된다. 이와 같은 경우 VCT가 상대적으로 더 적은 선량을 보인다고 할 수 있는데, 이는 X선 관구의 초점과 환자까지의 거리가 Implagraphy의 경우 424 mm로 VCT의 750 mm보다 더 가까운 것도 한 요인인 것으로 생각된다.

유효선량을 산출할 때 2006년 Ludlow 등¹⁷의 연구에서와 같이 국제방사선방호위원회(ICRP)에서 1990년에 제시한 방법과 2005년에 수정 제시한 두 가지 방법을 다 활용하여 계산하였다. 여러 가지 촬영시 환자가 받는 흡수선량, 유효 선량에 관한 선학들의 많은 연구²⁵⁻³²는 대부분 1990년에 제시한 방법 또는 이를 약간 변형시킨 방법을 사용하였다. 1990년 제시된 조직가중계수는 Table 3에서 보는 바와 같이 12개 조직/기관의 가중계수와 remainder tissue로 10개 조직이 포함되어 있으며, 2005년 수정 제시된 조직가중계수에는 두경부 촬영에서 많은 선량에 조사되는 타액선을 포함하여 뇌, 신장이 추가되어 15개 조직/기관의 가중계수와 remainder tissue로 지방, 결합조직, 림프선, 근육, 외흉부기도 조직이 포함되었다. 수정 제시된 가중계수를 이용하여 유효선량을 산출한 연구는 2006년 Ludlow 등의 연구¹⁷가 유일하였으며, 그들은 remainder tissue인 지방, 결합조직, 림프선, 근육, 외흉부 기도 조직의 full FOV CBCT 검사시 조사되는 비율을 임의로 5%로 놓고 계산하였다. 본 연구에서도 그들의 연구 결과와 비교하기 위해 동일한 방법으로 계산하였다.

Frederiksen 등^{18,19}과 홍 등²⁵은 두경부 영역의 CT 촬영, 나선형 일반 단층촬영 등의 유효선량 평가에서 ICRP 1990년에 제시된 방법을 기준으로 유효선량 계산할 때 구강악안면 영역 촬영시 가장 많은 흡수선량을 보이는 타액선에 remainder 가중 계수의 절반인 0.025를 주고 계산하였다.

본 연구에서 ICRP 2005년 기준으로 조직/장기별 방사선가중선량을 보면 타액선이 가장 높았고, 조직 가중계수를 곱한 유효선량을 보면 Implagraphy, 파노라마 촬영의 경우 갑상선, 타액선 순으로 높았고, VCT는 갑상선, 골수, 타액선 순으로 높았다. 이는 2003년 Ludlow 등¹⁶이 NewTom과 디지털 파노라마 촬영을 비교시 타액선에 방사선 가중선량이 가장 높았던 결과와 일치하며, 갑상선과 골수부위의 방사선 가중선량은 타액선 부위보다는 낮으나 조직 가중계수가 높은 부위이므로 갑상선의 유효선량을 낮추기 위해 촬영시 갑상선 보호대 착용 등과 같은 주의가 요망된다 하겠다.

FOV는 환자가 받는 유효선량에 영향을 미치는 요소 중의 하나이다. Implagraphy는 FOV가 8×5 cm로 작아 implant를 위한 상/하악 전치부, 좌우 소구치부, 좌우 대구치부 등 악안면 일부만 평가할 수 있어, 임상에서 특정 부위

만 촬영이 가능하나 유효선량이 상하악을 동시에 촬영하는 FOV 20×15 cm인 VCT보다 낮음으로 방사선 방어 측면에서 좋은 효과를 얻을 수 있다고 사료된다. 그러나 전악의 정보가 필요한 경우, FOV가 작은 Implagraphy로 여러 번의 노출이 필요하여 환자가 받는 총 유효선량은 높아지므로 VCT를 사용하는 것이 추천되고, 부분적으로 적은 범위를 평가하고자 할 경우에는 VCT보다는 Implagraphy의 사용이 유리하다.

환자가 받는 선량의 문제를 생각할 때 영상의 질을 함께 생각해야 한다. 본 연구에서 영상의 질에 대한 평가는 하지 않았다. 일반적으로 시판되고 있는 CBCT 중 CB Mercuray가 영상의 질이 우수한 것으로 알려져 있으나 Newtom이나 I-CAT에 비해 상당히 높은 선량이 측정되었다고 보고되었다.¹⁷ 술자와 환자의 이익을 위해 영상의 질 향상과 방사선 선량의 감소를 위해 CBCT의 개발자와 생산업체는 장치의 hardware와 software를 지속적으로 개선함이 필요하다고 하겠다.

본 연구에서 문제점으로 촬영할 때마다 phantom의 위치 변화로 인해 부위별 흡수선량의 오차가 발생할 수 있어 항상 동일한 위치에서 촬영할 수 있도록 주의하였다. 그러나 동일한 촬영을 반복하여 시행할 때 동일한 관전압, 관전류를 설정해 주었다 하더라도 실제 촬영 시 관전압, 관전류의 변화가 생기기 때문에 야기되는 선량의 오차는 피할 수 없었다. 또한 유효선량의 계산시 remainder 조직의 지방, 결합 조직, 림프선, 근육, 외흉부 기도 부위 선정에 어려움이 있어 2006년 Ludlow 등¹⁷이 임의로 선택하여 계산한 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, 비교하는 것이 바람직한 것으로 사료되었다.

참 고 문 헌

- Hounsfield G. Computerized transverse axial scanning (tomography) Part I. Description of system. Br J Radiol 1973; 46 : 1016-22.
- 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, Lötter MG, Goedhals L. Computed tomography imaging with radiotherapy simulator. Br J Radiol 1995; 68 : 649-52.
- 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, Tammissalo E, Iwai K, Hashimoto K, Shinoda K. Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. Dentomaxillofac Radiol 1999; 28 : 245-8.
- Pinsky HM, Dydal S, Pinsky RW, Misch KA, Sarment DP. Accuracy of three-dimensional measurements using cone-beam CT. Dentomaxillofac Radiol 2006; 35 : 410-6.
- 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.
- 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.
- 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.
- Hatcher DC, Dial C, Mayorga C. Cone beam CT for pre-surgical assessment of implant sites. J Calif Dent Assoc 2003; 31 : 825-33.
- 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.
- 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 : 322-6.
- Lee JH, Han WJ, Choi YH, Kim EK. Measurement of maxillary sinus volume and available alveolar bone height using computed tomography. Korean J Oral Maxillofac Radiol 2003; 33 : 35-41.
- Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. Eur Radiol 1998; 8 : 1558-64.
- 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.
- Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL, Howerton WB. Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT. Dentomaxillofac Radiol 2006; 35 : 219-26.
- Avendano B, Frederiksen NL, Benson BW, Sokolowski TW. Effective dose and risk assessment from detailed narrow beam radiography. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1996; 82 : 713-9.
- Frederiksen NL, Benson BW, Sokolowski TW. Effective dose and risk assessment from film tomography used for dental implant diagnostics. Dentomaxillofac Radiol 1994; 23 : 123-7.
- Frederiksen NL, Benson BW, Sokolowski TW. Effective dose and risk assessment from computed tomography of the maxillofacial complex. Dentomaxillofac Radiol 1995; 24 : 55-8.
- Johns HE, Cunningham JR. The physics of radiology. 4th ed. Springfield: Charles C. Thomas; 1983.
- 2005 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Draft for consultation. http://www.icrp.org/docs/2005_recs_CONSULTATION_Draft
- Gijbels F, Jacobs R, Bogaerts R, Debaveye D, Verlinden S, Sanderink G. Dosimetry of digital panoramic imaging. Part I: Patient exposure. Dentomaxillofac Radiol 2005; 34 : 145-9.

24. Gijbels F, Jacobs R, Debaveye D, Bogaerts R, Verlinden S, Sanderink G. Dosimetry of digital panoramic imaging. Part II: Occupational exposure. *Dentomaxillofac Radiol* 2005; 34 : 150-3.
25. Hong BH, Han WJ, Kim EK. Absorbed and effective dose from spiral and computed tomography for the dental implant planning. *Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2001; 31 : 165-73.
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.
27. Lecomber AR, Yoneyama Y, Lovelock DJ, Hosoi T, Adams AM. Comparison of patient dose from imaging protocols for dental implant planning using conventional radiography and computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 2001; 30 : 255-9.
28. Nilson L, Rohlin M, Thapper K. Exposure distribution, absorbed doses, and energy imparted for panoramic radiography using Orthopantomograph model OP 5. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1985; 59 : 212-9.
29. Kim AJ, Cho BH, Nah KS. Organ dose, effective dose and risk assessment from computed tomography to head and neck region. *Korean J Oral Maxillofac Radiol* 1995; 25 : 27-38.
30. Dula K, Mini R, van der Stelt PF, Lambrecht JT, Schneeberger P, Buser D. Hypothetical mortality risk associated with spiral computed tomography of maxilla and mandible. *Eur J Oral Sci* 1996; 104 : 503-10.
31. Ekestubbe A, Thilander A, Gröndahl GH. Absorbed doses and energy imparted from tomography for dental implant installation: Spiral tomography using the Scanora technique compared with hypocycloidal tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 1992; 21 : 65-9.
32. Ekestubbe A, Thilander A, Gröndahl K, Gröndahl GH. Absorbed doses from computed tomography for dental implant surgery: comparison with conventional tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 1993; 22 : 13-7.