

# Cone beam형 전산화단층촬영에 의한 흡수선량

경희대학교 치의학전문대학원 구강악안면방사선학교실 및 구강생물학연구소  
이의태 · 김규태 · 최용석 · 황의환

## Radiation absorbed doses of cone beam computed tomography

Eui-Tae Lee, Gyu-Tae Kim, Yong-Suk Choi, Eui-Hwan Hwang

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry and Institute of Oral Biology, Kyung Hee University

### ABSTRACT

**Purpose** : To measure the absorbed doses of cone beam computed tomography (CBCT), which is recently being more frequently used, and to compare them with those of panoramic radiography.

**Materials and Methods** : To measure the absorbed doses of CBCT (PSR-9000N™, Asahi Roentgen Ind. Co., Japan), we placed TLD chips on the skin regions above the parotid and thyroid glands, and on the dorsum of tongue in a dental head phantom. We used two image acquisition modes of the Dental and Panoramic modes of CBCT, which differed in the field of view. Also, panoramic radiographs (Auto IIN, Asahi Roentgen Ind. Co., Japan) were taken to compare with the absorbed doses of CBCT.

**Result** : In the Dental mode of CBCT, the absorbed doses of the parotid gland, dorsum of tongue, and thyroid gland were 3.53, 3.13, and 0.36 mGy, respectively. In the Panoramic mode of CBCT, they were 9.57, 9.15, and 0.85 mGy, respectively. The panoramic mode showed higher absorbed doses than those of the Dental mode. In the panoramic radiography, the absorbed doses of the parotid gland, dorsum of tongue, and thyroid gland were 1.21, 1.19, and 0.16 mGy, respectively. And they were about 1/3 of the Dental mode and 1/9 of the Panoramic mode of CBCT.

**Conclusion** : Absorbed doses of CBCT are higher than those of panoramic radiography, and dependent upon the field of view. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2007; 37 : 87-92)

**KEY WORDS** : Tomography, Cone Beam Computed; Radiography, Panoramic; Radiation Dosage

## 서 론

환자에 대한 영상의학적 검사를 시행할 경우, 술자는 이를 통해 얻게 되는 진단정보와 방사선에 노출됨으로써 발생할 수 있는 환자의 신체적 장애에 대해 비판적이고 정확한 검토를 하여야 하는데, 진단목적의 방사선 노출은 가시적인 신체 변화를 유발시키는 경우가 거의 없으며, 신체적 장애가 발생되더라도 회복 가능한 변화이므로 영상의학적 검사 시 방사선 방어에 대한 고려를 소홀이 하는 경향이 있다.<sup>1,2</sup> 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.<sup>1</sup>

최근 영상의학적 검사 장비의 발전에 따라 이를 이용한 진단정보에 대한 요구와 필요성이 증대되고 있으며, 이에 따라 방사선 노출에 따른 신체적 장애의 발생 위험도 증가되고 있다.<sup>3,4</sup> 특히, 전산화단층영상은 해부학적 구조가 복잡한 구강악안면영역에 대한 단면 영상과 삼차원적인 진단정보를 제공함으로써 치과 임상 of 다양한 영역으로 그 이용이 확대되고 있으며,<sup>5-15</sup> 더욱이 임플란트 시술의 증가로 인해 전산화단층영상의 이용이 급속히 증가되고 있다.<sup>16</sup> 그러나 전산화단층촬영은 파노라마방사선사진 등과 같은 일반 방사선촬영에 비해 환자에 대한 흡수선량이 높은 것으로 보고되고 있다.<sup>17-19</sup>

이와 같이 치과 임상에서도 전산화단층영상의 중요성이 부각되고 있는데, 특히 최근에 영상의학의 발전으로 새로운 영상화 기법들이 임상에 적용되면서 도입된 cone beam형 전산화단층촬영장치는 일반 전산화단층촬영장치에 비

접수일 : 2007년 3월 23일; 심사일 : 2007년 3월 24일; 채택일 : 2007년 5월 3일  
Correspondence to : Prof. Eui-Hwan Hwang  
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Kyung Hee University #1 Hoigi-dong, Dongdaemun-gu, Seoul 130-701, Korea  
Tel) 82-2-958-9408, Fax) 82-2-965-1256, E-mail) hehan@khu.ac.kr

**Table 1.** Exposure factors of cone beam CT and panoramic unit

Expoure mode	TL chip location	Kvp	mAs	Rotation time (expoure time)	mA	Voxel size	FOV height	Mean photon energy by SPEC78 [keV]
PSR 9000N	Skin-parotid	80	133	13.3 sec	10.0	0.1	4 cm	23.6
CBCT (dental mode)	Skin-thyroid	80	133	13.3 sec	10.0	0.1	4 cm	23.6
	Intraoral-tongue	80	133	13.3 sec	10.0	0.1	4 cm	23.6
PSR 9000N	Skin-parotid	90	300	30 sec	10.0	0.15	4 cm	27.6
CBCT (panorama mode)	Skin-thyroid	90	300	30 sec	10.0	0.15	4 cm	27.6
	Intraoral-tongue	90	300	30 sec	10.0	0.15	4 cm	27.6
CE II (panormamic unit)	Skin-parotid	84	144	12 sec	12.0		10 cm	25.1
	Skin-thyroid	84	144	12 sec	12.0		10 cm	25.1
	Intraoral-tongue	84	144	12 sec	12.0		10 cm	25.1

해 상대적으로 적은 조사선량과 낮은 에너지준위의 방사선을 이용하여 삼차원의 체적정보에 대한 영상화가 가능하고, 악골과 치아에 대한 진단능이 매우 우수하다.<sup>7-15,20</sup> 따라서 각기 다른 방사선 노출조건과 촬영범위를 가지며, 검출기의 종류도 다양한 cone beam형 전산화단층촬영장치가 개발되어 실제 임상에 적용되고 있으나, 이들 cone beam형 전산화단층촬영에 의한 흡수선량에 관한 연구는 매우 드물다.<sup>21-24</sup> 또한 낮은 에너지준위의 방사선과 비교적 적은 양의 조사선량으로 악안면영역의 영상의학적 검사를 시행한 경우에도 태아에 영향을 미칠 수 있으며, 그 이외의 잠재적인 위험성이 존재하는 것으로 보고되고 있다.<sup>20,21,25</sup>

이에 본 연구에서는 최근 치과 임상에서 이용이 급속히 증가하고 있는 cone beam형 전산화단층촬영에 의한 흡수선량을 측정하고, 이를 파노라마방사선촬영에 의한 흡수선량과 비교함으로써 환자와 술자에 대한 방사선 방어에 도움을 주고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구재료

cone beam형 전산화단층촬영장치로는 PSR-9000N™ Dental CT system (Asahi Roentgen Ind. Co., Japan)을, 파노라마방사선촬영장치로는 Auto IIN (Asahi Roentgen Ind. Co., Japan)을 사용하였다. 또한 흡수선량의 측정을 위해 dental head phantom (Flukebiomedical Co., USA)을 이용하였는데, 본 실험에 이용된 dental head phantom은 인체와 유사한 조직분포를 가지고 있어 정확한 흡수선량의 측정이 가능한 장비로서, i-CAT cone beam CT (Imaging Sciences International, Inc., USA)를 이용한 영상화 과정을 통해 실제 인체와 유사한 조직분포를 가지고 있음을 확인하였다.

### 2. 연구방법

#### 1) 촬영조건

cone beam형 전산화단층촬영 시에는 각기 다른 촬영범

위를 갖는 dental mode와 panoramic mode를 사용하였으며, 파노라마방사선촬영 시에는 안와저에서 하악하연, 그리고 양측 측두하악관절이 촬영범위 내에 들어가도록 하였다. 또한 cone beam형 전산화단층촬영 시 촬영조건은 dental mode에서는 관전압 80 kVp, 관전류 10 mA, 노출시간 13.3 초이었고, panoramic mode에서는 관전압 90 kVp, 관전류 10 mA, 노출시간 30초이었다. 또한 파노라마방사선촬영 시 촬영조건은 관전압 84 kVp, 관전류 12 mA, 노출시간은 12 초이었다 (Table 1).

#### 2) 흡수선량의 측정

흡수선량의 측정을 위해 dental head phantom의 우측 이하선 부위와 갑상선 부위의 표면, 그리고 구강 내 혀의 배면에 열발광선량계를 위치시킨 후, cone beam형 전산화단층촬영장치인 PSR-9000N Dental CT system과 파노라마방사선촬영장치인 Auto IIN에 dental head phantom을 고정시킨 후 촬영을 시행하였으며, 촬영 후 각각의 촬영조건에 따라 얻어진 흡수선량을 정량적으로 측정하고, 이를 비교하였다.

#### 3) 열발광선량계 판독

본 연구에 이용된 열발광선량계 판독장비는 Harshaw3500 (ThermoElectron Corporation, USA)이다. 선량계는 GR-200 열발광소자로서, LiF:Mg, Cu, P로 제작된 열발광물질이며, 직경 1 mm, 길이 6 mm의 막대형태로 제작되었다. 측정 가능한 선량범위는 10 μGy-1 Gy이며, 5 keV 이상의 에너지를 갖는 광자를 측정할 수 있는 장비이다.

#### 4) 판독조건 및 측정방법

GR-200 열발광소자의 열발광선량계 판독은 135°C에서 10초간 예열한 후, 10°C/sec의 가열속도로 240°C까지 가열하고 10초간 유지하여 획득한 열발광곡선 (glow curve)의 열발광 강도를 적분하여 실시하였으며, 판독장비는 한국원자력연구소의 표준 Cs-137 감마선장에서 공기커마 조건으로 조사시켜 교정을 완료하였다.

## 결 과

### 1. 보정 전 흡수선량

cone beam형 전산화단층촬영에 의한 이하선, 혀의 배면 및 갑상선에 대한 흡수선량은 dental mode에서 3.53 mGy, 3.13 mGy, 0.36 mGy, panoramic mode에서는 9.57 mGy, 9.15 mGy, 0.85 mGy로, 방사선조사야가 확대됨에 따라 이하선, 갑상선 및 구강 내 혀의 배면 부위 모두에서 흡수선량이 증가되었다. 파노라마방사선촬영에 의한 이하선, 혀의 배면 및 갑상선의 흡수선량은 1.23 mGy, 1.11 mGy, 0.16 mGy로 측정되었다. 그러나 %CV에서는 3개의 측정결과의 산포가

큰 것으로 나타나고 있는데, 이는 각 소자의 소자보정계수(Element Correction Factor: ECF)가 적용되지 않았기 때문이다. (Table 2).

### 2. 보정 후 흡수선량

소자보정계수는 일반적으로 0.7-1.4의 범위를 가지며, 이를 반영하면 보다 균질한 결과를 산출할 수 있는데, 본 연구에서 사용된 판독기기는 공기커마에서 Cs-137 방사선장 조건으로 교정되었기 때문에 흡수체와 방사선에 대한 보정이 필요하다. 따라서 미국표준연구소(National Institute of Science and Technology: NIST)에서는 방사선에너지와 물

**Table 2.** Absorbed doses in the dental head phantom to various tissues for each technique

Expoure mode	Location	Absorbed dose (mGy)			Average	%CV
		1	2	3		
CBCT (dental mode)	Skin-parotid	4.565	2.774	3.263	3.534	26.195
	Skin-thyroid	0.352	0.384	0.359	0.365	4.574
	Intraoral-tongue	3.167	3.049	3.191	3.136	2.424
CBCT (panoramic mode)	Skin-parotid	10.196	9.565	8.933	9.565	6.602
	Skin-thyroid	0.828	0.841	0.869	0.846	2.479
	Intraoral-tongue	10.354	9.585	7.497	9.145	16.165
CE II (panoramic unit)	Skin-parotid	1.168	1.288	1.255	1.237	5.011
	Skin-thyroid	0.132	0.146	0.199	0.159	22.227
	Intraoral-tongue	1.048	1.184	1.105	1.112	6.140

**Table 3.** Absorbed doses after correction from primary data

Exposure mode	Location	ECF			1st corrected absorbed dose (mGy)			Mean energy	Correction factor
		1	2	3	1	2	3		
PSR 9000N CBCT (dental mode)	Skin-parotid	1.432	0.878	0.972	3.188	3.160	3.358	23.6	
	Skin-thyroid	0.759	0.989	0.968	0.464	0.388	0.371	23.6	
	Intraoral-tongue	0.873	0.862	0.996	3.627	3.538	3.205	23.6	
PSR 9000N CBCT (panorama mode)	Skin-parotid	1.038	0.938	0.973	9.827	10.196	9.181	27.6	1.031
	Skin-thyroid	1.005	0.996	0.932	0.824	0.844	0.933	27.6	
	Intraoral-tongue	1.293	1.057	0.965	8.009	9.071	7.772	27.6	
CE II (panormamic unit)	Skin-parotid	1.012	1.175	0.996	1.154	1.096	1.260	25.1	
	Skin-thyroid	0.990	1.175	1.231	0.133	0.124	0.162	25.1	
	Intraoral-tongue	0.956	0.955	0.990	1.096	1.240	1.116	25.1	

Exposure mode	Location	2nd corrected absorbed dose (mGy)			Average	%CV
		1	2	3		
PSR 9000N CBCT (dental mode)	Skin-parotid	3.286	3.257	3.460	3.334	3.304
	Skin-thyroid	0.478	0.400	0.382	0.420	12.121
	Intraoral-tongue	3.738	3.646	3.303	3.562	6.437
PSR 9000N CBCT (panorama mode)	Skin-parotid	10.127	10.507	9.461	10.032	5.280
	Skin-thyroid	0.849	0.870	0.961	0.893	6.691
	Intraoral-tongue	8.253	9.348	8.009	8.537	8.350
CE II (panormamic unit)	Skin-parotid	1.190	1.129	1.298	1.206	7.082
	Skin-thyroid	0.132	0.146	0.199	0.159	11.234
	Intraoral-tongue	1.130	1.277	1.150	1.186	6.764

질 종류에 따라 질량에너지흡수계수 테이블을 제공하고 있으며, 이 테이블을 이용하여 방사선원은 X-ray, 물질은 물에 대하여 보정계수(correction factor)를 산출하고 방사선 평균에너지는 Spec87 프로그램을 이용하여 관전압을 입력변수로 하여 흡수선량을 산출한다.

본 연구에서도 소자보정계수와 보정계수를 구한 후 흡수선량을 산출한 결과, cone beam형 전산화단층촬영의 경우 dental mode와 panoramic mode에서는 방사선조사야가 확대됨에 따라 이하선에서는 3.3 mGy, 10.03 mGy, 구강 내 혀에서는 3.56 mGy, 8.54 mGy, 갑상선에서는 0.42 mGy, 0.89 mGy로 흡수선량의 증가가 나타났다. cone beam형 전산화단층촬영과 파노라마방사선촬영에서 각 부위별 흡수선량은 이하선, 구강 내 혀, 갑상선 순으로 낮게 나타났으며, 평균 비율은 10:9:2이었다. 또한 cone beam형 전산화단층촬영에 의한 흡수선량은 파노라마방사선촬영에 비해 dental mode에서는 약 3배, panoramic mode에서는 약 9배의 높은 흡수선량이 측정되었다. 또한 cone beam형 전산화단층촬영과 파노라마방사선촬영 모두 이하선, 혀의 배면, 갑상선의 순으로 흡수선량이 높게 나타났다(Table 3).

## 고 찰

본 연구에서는 실제 인체와 유사한 조직분포와 흡수계수를 갖는 dental head phantom을 이용하여 cone beam형 전산화단층촬영으로 인한 흡수선량을 측정된 결과, 비록 연구방법 등에서는 차이가 있었지만 Velders 등,<sup>26</sup> Christiansen 등<sup>27</sup>의 연구결과에서 제시되었던 일반 전산화단층촬영에 의한 흡수선량에 비하여 매우 낮은 흡수선량을 보였다. 이와 같이 cone beam형 전산화단층촬영시 매우 낮은 흡수선량에도 불구하고 악안면부위의 해부학적 구조에 대한 고해상력의 영상을 제공할 수 있는 것은 촬영장치의 기계적 요인과 새로운 수학적 계산법의 개발 및 향상된 컴퓨터의 성능에 의한 것이라고 할 수 있다. 그러나 상대적으로 낮은 조사선량은 영상신호의 잡음을 증가시켜 영상의 질을 저하시킬 수 있으므로,<sup>28</sup> cone beam형 전산화단층촬영시에는 양질의 영상을 얻을 수 있는 노출조건의 설정 등이 매우 중요할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 cone beam형 전산화단층촬영에 의한 dental head phantom의 각 부위별 흡수선량도 측정하였는데, 이하선과 구강 내 혀에서는 흡수선량이 높게 나타났고, 갑상선에서는 상대적으로 흡수선량이 낮았다. 이는 이하선과 구강 내 혀의 경우에는 이 부위들이 직접적인 방사선조사야에 포함되었기 때문인 것으로 판단된다. 다양한 방사선조사야를 가지는 여러 형태의 cone beam형 전산화단층촬영장치에 대한 연구<sup>9,21-24,28</sup>에서 방사선조사야가 확대됨에 따라 두경부의 여러 부위에서도 흡수선량이 증가되는 것으로 보고되고 있는데, 본 연구에서도 흡수선량 측정

부위에서 dental mode보다는 방사선조사야가 넓은 panoramic mode에서 약 3배 정도의 흡수선량의 증가를 보였다. 이러한 결과는 진단학적 목적에 맞게 방사선조사야 설정이 이루어져야 하고, 방사선조사야가 증가됨에 따른 체적소의 증가에 의한 해상력과 공간분해능의 저하를 고려한다면 본 연구에 사용된 cone beam형 전산화단층촬영장치인 PSR-9000N<sup>TM</sup> Dental CT system에서 제공하는 작은 관찰영역을 가지면서 높은 해상력을 보이는 국소형 전산화단층촬영장치가 치아 및 악골의 검사에는 적합하다고 하겠다. 그러나 악골의 성장과 변형에 대한 평가나 광범위한 악골 질환과 연조직의 검사에는 한계가 있다.<sup>10,14,21</sup>

본 연구에 사용된 cone beam형 전산화단층촬영장치인 PSR-9000N<sup>TM</sup> Dental CT system의 panoramic mode의 경우 영상증배관과 방사선발생장치가 악궁을 따라 연속적으로 회전과 이동을 하면서 얻어진 자료를 재구성하여 악골 전체를 영상화한다. 그러나 이러한 촬영방식은 노출시간이 증가되어 방사선조사선량이 증가함에 따라 흡수선량의 증가를 피할 수 없을 뿐만 아니라, 촬영된 다른 cone beam형 전산화단층촬영장치에 비해서도 상대적으로 높은 흡수선량을 보였다.<sup>21,22</sup> 본 연구에서 이하선과 구강 내 혀에 비하여 갑상선에서 흡수선량이 낮게 측정되었는데, 이는 갑상선이 방사선조사야에 직접 포함되지 않았기 때문인 것으로 사료된다. 방사선조사야에 직접적으로 포함되지 않은 장기의 방사선 노출은 방사선촬영 중에 발생된 산란선에 의해 발생된다. 따라서 악안면영역에 대한 전산화단층촬영과정 중 영상의 범위를 결정하기 위한 예비 촬영시 방사선조사야를 정확히 결정하는 것이 갑상선 등에 대한 직접적인 방사선노출과 산란선에 대한 영향을 감소시키는데 있어 매우 중요하다.<sup>23</sup> 또한 관찰영역에 포함되지 않고 영상의 질에 직접적인 영향이 없다면 환자에게 갑상선보호대를 착용시키는 것도 흡수선량을 감소시킬 수 있는 방법이다.<sup>23,29</sup>

본 연구에서는 조직에 대한 방사선감수성인 조직가중계수와 방사선가중계수를 적용한 당량선량에 따른 유효선량을 계산하지 않고 열발광선량계 소자로부터 얻어진 측정값을 소자보정계수와 그에 따라 보정된 흡수선량을 서로 비교하였다. 이는 본 실험에서 사용된 dental head phantom이 비록 인체와 유사한 조직분포와 흡수계수를 가지고 있으나, 장기의 실제 해부학적 위치에 소자를 매식할 수 없고, phantom의 표면에 위치시켜 촬영하였기 때문에 유효선량에 대한 비교보다는 직접적인 흡수선량에 대한 비교를 시행하였다. 선학들의 연구에서는 ICRP<sub>60</sub> 권고안에 따라 조직가중계수를 갑상선에서는 0.05, 피부에서는 0.01, 타액선에 대해서는 기타 장기로 분류하여 0.025의 조직가중계수를 적용하였다. 최근에 제시된 ICRP<sub>2005 draft</sub><sup>30</sup>에서는 타액선에 대해서는 0.01의 증가된 가중치를 적용하였다. 타액선의 방사선감수성에 대해, Auclair 등<sup>31</sup>은 실질 타액선조직

자체보다 주변의 임파선조직이 보다 낮은 방사선조사선량에도 유해성이 발생될 수 있는 조직이라고 하였다. 본 연구에서는 PSR-9000N™ Dental CT system과 파노라마방사선촬영장치 모두에서 이하선, 구강 내 혀, 그리고 갑상선의 순으로 흡수선량이 낮았다.

Ludlow 등<sup>21,22</sup>은 ICRP<sub>60</sub>의 기준에 따라 Orthophos Plus DS 파노라마방사선촬영장치에 대한 값을 1로 정하고 여러 가지의 cone beam형 전산화단층촬영장치에 대한 유효선량을 상대적으로 계산하였는데, 방사선조사야의 변화에 따라 CB Mercuray (Hitachi Medical Systems, Japan)에서는 26-132의 값을, NewTom 3G (QR, Italy)는 6-7의 값을, i-CAT (Imaging Sciences International, USA)은 11-21의 값을 갖는다고 보고하였다. 본 연구에서도 PSR-9000N™ Dental CT system의 dental mode에서는 파노라마방사선 촬영장치의 약 3배, panoramic mode에서는 약 9배의 흡수선량이 측정되었다. Ludlow 등<sup>21,22</sup>의 연구에서는 보다 넓은 영역의 관찰이 가능한 장비들을 서로 비교하였으나, 본 연구에서 사용된 장비는 국소 영역에 대한 검사 장비로서, 선학들의 연구와 직접적인 비교는 곤란하였지만 파노라마방사선촬영에 비하여 높은 흡수선량을 보였다. 일반 전산화단층촬영장치에서의 유효선량은 파노라마방사선촬영에 비하여 224-336배의 값을 보여 상당히 높게 나온 반면,<sup>19,21,32</sup> cone beam형 전산화단층촬영장치는 악안면영역의 영상획득시 유효선량이 낮은 특징을 보였다.

본 연구에서 사용된 열형광소자와 이의 판독장비는 공기 커마에서 Cs-137 방사선장 조건으로 교정되었기 때문에 흡수체와 방사선에 대한 보정이 필요하다. Table 2의 % CV에서 3개의 소자의 측정결과에서 산포가 큰 경우가 나타났다. 이는 각 소자의 소자보정계수(Element Correction Factor: ECF)가 적용되지 않았기 때문이다. 이에 소자보정계수는 미국표준연구소(National Institute of Science and Technology: NIST)의 방사선에너지와 물질 종류에 따른 질량에너지흡수계수 테이블을 이용하여 선원은 X-ray, 물질은 물에 대하여 보정계수를 산출한 후 흡수선량을 측정하여 오차를 최소화하려고 노력하였다. 그럼에도 불구하고 phantom이 갖는 해부학 구조의 재현성이나 소자의 위치가 방사선의 조사방향과 연관이 있다는 점을 고려하면 다소간의 실험 오차가 존재할 것으로 판단된다.

현재 임상적용이 확대되고 있는 cone beam형 전산화단층촬영장치 중 하나인 PSR-9000N™ Dental CT system의 흡수선량을 조사하고 이를 파노라마촬영장치와 비교한 결과, 방사선조사야가 확대됨에 따른 흡수선량의 증가가 있었고, 각 부위별로도 직접 또는 간접적인 영향에 의한 흡수선량의 증가가 있었으며, 파노라마방사선촬영에 비해 높은 흡수선량이 측정되어 실제 임상에서는 이에 대한 고려가 반드시 필요하다. 또한 다양한 종류의 cone beam형 전산화단층촬영장치는 각각의 고유한 영상학적 특징과 다양

한 노출조건을 가지고 있고, 따라서 환자에 대한 흡수선량과 유효선량의 차이를 보일 수 있으므로 향후 이에 대한 지속적인 연구가 필요하리라 사료된다.

### 참 고 문 헌

- White SC, Pharoah MJ. Oral radiology; principles and interpretation. 5th ed. St. Louis: Mosby-Year Book Inc; 2004. p. 25-68.
- 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.
- Evens RG, Mettler FA. National CT use and radiation exposure: United States 1983. AJR Am J Roentgenol 1985; 144 : 1077-81.
- Bahador B. Trends in diagnostic imaging to 2000. London: Financial Times Pharmaceuticals and Healthcare Publishing; 1996.
- Preda L, La Fianza A, Di Maggio EM, Dore R, Schifino MR, Campani R, et al. The use of spiral computed tomography in the localization of impacted maxillary canines. Dentomaxillofac Radiol 1997; 26 : 236-41.
- Ericson S, Bjerklin K. The dental follicle in normally and ectopically erupting maxillary canines: a computed tomography study. Angle Orthod 2001; 71 : 333-42.
- Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andresis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the conebeam technique: preliminary results. Eur Radiol 1998; 8 : 1558-64.
- 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 : 95-101.
- 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.
- 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.
- Ogawa T, Enciso R, Memon A, Mah JK, Clark GT. Evaluation of 3D airway imaging of obstructive sleep apnea with cone-beam computed tomography. Stud Health Technol Inform 2005; 111 : 365-8.
- Tsiklakis K, Syriopoulos K, Stamatakis HC. Radiographic examination of the temporomandibular joint using cone beam computed tomography. Dentomaxillofac Radiol 2004; 33 : 196-201.
- Jeffcoat M, Jeffcoat RL, Reddy MS, Berland L. Planning interactive implant treatment with 3-D computed tomography. J Am Dent Assoc 1991; 122 : 40-4.
- White SC, Heslop EW, Hollender LG, Mosier KM, Ruprecht A, Shroot MK. American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology, ad hoc Committee on Parameters of Care. Parameters of radiologic

- care: An official report of the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001; 91 : 498-511.
18. Tyndall DA, Brooks SL. Selection criteria for dental implant site imaging: a position paper of the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000; 89 : 630-7.
  19. 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.
  20. Farman AG. ALARA still applies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005; 100 : 395-7.
  21. 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.
  22. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL. Dosimetry of two extra-oral direct digital imaging devices: NewTom cone beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit. *Dentomaxillofac Radiol* 2003; 32 : 229-34.
  23. Tsiklakis K, Donta C, Gavala S, Karayianni K, Kamenopoulou V, Hourdakakis CJ. Dose reduction in maxillofacial imaging using low dose Cone Beam CT. *Eur J Radiol* 2005; 56 : 413-7.
  24. Schulze D, Heiland M, Thurmann H, Adam G. Radiation exposure during midfacial imaging using 4- and 16-slice computed tomography, cone beam computed tomography systems and conventional radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 2004; 33 : 83-6.
  25. Hujoel PP, Bollen AM, Noonan CJ, del Aguila MA. Antepartum dental radiography and infant low birth weight. *J Am Med Assoc* 2004; 291 : 1987-93.
  26. Velders XL, Van der Stelt PF. Absorbed dose to the parotid glands: spiral CT versus conventional tomographic examinations. In: Farman AG, Ruprecht A, Gibbs SI, Scarfe WC, editors. *Advances in maxillofacial imaging*. Amsterdam: Elsevier Science BV; 1997. p. 407-12.
  27. Christiansen EL, Moore RJ, Thompson JR, Hasso AN, Hinshaw Jr DB. Radiation dose in radiography, CT and arthrography of the temporomandibular joint. *AJR Am J Roengenol* 1987; 148 : 107-9.
  28. Cohnen M, Kemper J, Möbes O, Pawelzik J, Mödler M. Radiation dose in dental radiology. *Eur Radiol* 2002; 12 : 634-7. (check)
  29. Beaconsfield T, Nicholson R, Thorton A, Al-Kutoubi A. Would thyroid and breast shielding be beneficial in CT of the head? *Eur Radiol* 1998; 8 : 664-7.
  30. Draft document "2005 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection". ICRP <http://www.icrp.org> [Accessed 1 March 2006].
  31. Auclair PL, Ellis GL, Gnepp DR, Wenig BM, Janney CG. Salivary gland neoplasms: general considerations. In: Ellis GL, Auclair PL, Gnepp DR, editors. *Surgical pathology of the salivary glands*. Philadelphia: W.B. Saunders. S; 1991. p. 135-64.
  32. Ngan DC, Kharbanda OP, Geenty JP, Darendeliler MA. Comparison of radiation levels from computed tomography and conventional dental radiographs. *Aust Orthod J* 2003; 19 : 67-75.