

3

이동형 구내방사선촬영기로 촬영한 치근단 방사선촬영과 파노라마방사선촬영의 흡수선량과 유효선량 평가

단국대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실

한원정

ABSTRACT

A absorbed and effective dose from the full-mouth periapical radiography using portable dental x-ray machine and panoramic radiography

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Dankook University
Wonjeong Han

Purpose : The purpose of this study was to measure the absorbed dose and to calculate the effective dose for full-mouth periapical radiography using the portable dental x-ray machine and panoramic radiography

Material and Method : Thermoluminescent chips were placed at 25 sites throughout the layers of the head and neck of a tissue-equivalent human skull phantom. The man phantom was exposed with the portable dental x-ray machine and panoramic unit. During full-mouth periapical radiography the exposure setting was 60 kVp, 2 mA and 0.15 ~ 0.25 seconds, while during panoramic radiography the selected exposure setting was 72 kVp, 8 mA and 18 seconds. Absorbed dose measurements were obtained and equivalent doses to individual organs were summed using ICRP 103 to calculate of effective dose.

Result : In the full-mouth periapical radiography, the highest absorbed dose was recorded at the mandible body follow with submandibular glands and cheek. Using panoramic unit, the highest absorbed dose was parotid glands and the following was back of neck and submandibular glands. The effective dose in full-mouth periapical radiography using portable dental x-ray machine was 46 μ Sv. In panoramic radiography, the effective dose was 38 μ Sv.

Conclusion : It was recommended to panoramic radiography for general check in the head and neck area because that the effect dose in the panoramic radiography was lower than the dose in the full-mouth periapical radiography using portable dental x-ray machine.

Key words : Thermoluminescent dosimetry, Radiography; Dental; Digital, Radiography; Panoramic

I. 서론

치근단 방사선촬영은 상의 왜곡이 적고 해상도와 선예도가 우수하며 방사선 노출이 비교적 적은 진단영상

법으로 치과영역에서 많이 이용되고 있다. 구내 디지털 센서를 이용하는 디지털 치근단 방사선촬영은 필름을 이용하여 촬영하는 경우보다 환자의 방사선 노출을 감소시킬 수 있다¹⁾.

1990년 국제방사선방호위원회(ICRP, International Commission on Radiological Protection)에서는 방사선 위해(radiation detriment) 개념을 공지하였다. 방사선 위해란 방사선을 조사받은 군에서 발생하는 모든 장애를 의미하며, 방사선의 확률적 효과가 고려된 유효선량(effective dose)으로 표시한다.

인체의 조직 및 기관이 방사선에 노출되었을 때, 같은 흡수선량이라 하더라도 방사선의 종류에 따라서 인체가 받는 영향의 정도가 다를 수 있다. 이를 고려한 것이 등가선량(equivalent dose)이며 방사선에 노출된 조직 및 기관의 평균 흡수선량(absorbed dose)에 방사선 가중계수(radiation weighted factor)를 곱하여 구하고 단위는 Sv(sievert)이다. 인체 전신이 방사선에 노출된 경우와 특정 부위만 노출된 경우에서 방사선이 미치는 효과에 차이가 있을 수 있다. 유효선량은 인체의 일부만 방사선에 노출되었어도 인체 전신에 대한 효과가 어느 정도인지 나타내주는 선량이며, 단위는 Sv를 사용한다. 즉, 방사선에 노출된 각 조직 및 기관의 등가선량(equivalent dose)과 조직 가중계수(tissue weighted factor)의 곱을 모두 합하여 구하게 된다. 그러므로 유효선량은 신체 일부에 노출된 방사선으로 전신에 노출되어 야기되는 방사선 위해 정도를 측정할 수 있으며, 다른 촬영법간의 방사선 위해 정도를 비교할 수 있다²⁾. 조직 가중계수는 전체 방사선 위험도에 대한 조직 또는 기관의 상대적인 기여도를 나타내며, 1990년 국제방사선방호위원회는 방사선에 감수성이 있는 12개 조직 및 기관과 10개 기타조직(remainder)의 조직 가중계수를 공지하였다. 2007년에는 뇌, 신장, 타액선이 추가된 15개 조직 및 기관과 14개 기타조직에 대한 조직 가중계수를 개정 공지하였다³⁾.

최근 임플란트 시술 및 근관치료 과정에서 치근단 방사선촬영시 이동형 구내방사선촬영기(portable or hand-held dental x-ray machine)가 사용되고 있다. 이동형 구내방사선촬영기는 개발 초기에는 촬

영실 설치가 불가능한 전쟁지역이나 신원 파악이 필요한 재해지역에서 이용되었다^{4, 5)}. 그 이후에는 환자가 움직일 수 없는 수술장 그리고 거동이 불편한 노인이나 장애인의 재택 치료 시 이용되고 있다^{6, 7)}. 우리나라의 경우에는 무게가 비교적 가볍고 카메라처럼 술자가 들고 촬영할 수 있기에 일반 치과진료실에서도 사용이 증가되고 있으며, 국내 업체에서도 여러 종류의 제품을 개발하여 출시하고 있다⁸⁾.

전 세계적으로 의료영상검사로 인한 방사선 노출이 계속 증가하고 있으며, 이는 검사 자체가 증가할 뿐만 아니라 새로운 진단영상장비의 개발로 인한 이용률의 증가에 기인한다⁹⁾. 치과영역에서의 이동형 구내방사선촬영기도 편리성과 효율성이라는 임상환경에서의 장점 때문에 많이 보급되어 사용되고 있지만, 구체적이고 객관적인 방사선 노출정도에 대한 자료가 충분치 않기에 본 연구에서는 1종의 이동형 구내 방사선사진촬영기로 14매의 전악 치근단 방사선촬영시 두경부 주요기관에 환자의 흡수선량과 유효선량을 구하고 이를 파노라마 방사선사진촬영과 비교하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구재료

촬영대상은 선량측정용 두경부 마네킨인 ART - 남성 팬텀(Radiology Support Devices, Inc., Long Beach, USA)을 이용하였다. 팬텀은 인조 두개골에 연조직과 방사선 감쇄계수가 유사한 재료로 외형이 만들어졌고, 각 2.5cm 두께를 갖는 10개 절단면으로 구성되었으며 각 절단면에는 TLD chip을 위치시킬 수 있는 구멍(hole)들이 있다(Fig. 1).

선량은 1/8"x1/8"x0.035"의 LiF TLD(Thermoluminescent dosimeter, 열형광 선량계) chip (Harshaw Chemical Co., USA)과 TLD reader

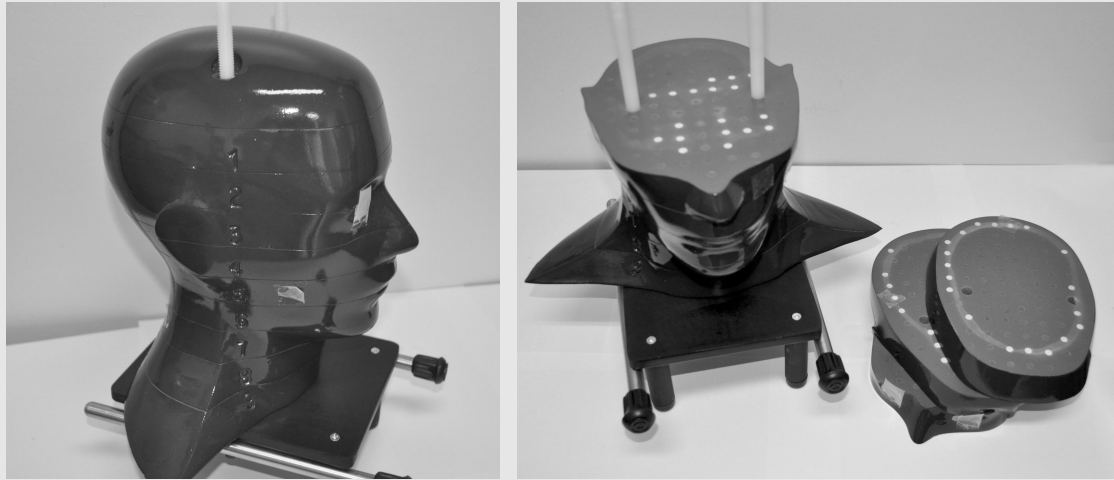


Fig. 1. ART - man phantom consisted of ten 2.5 cm horizontal sections which numbered from 1 to 9.

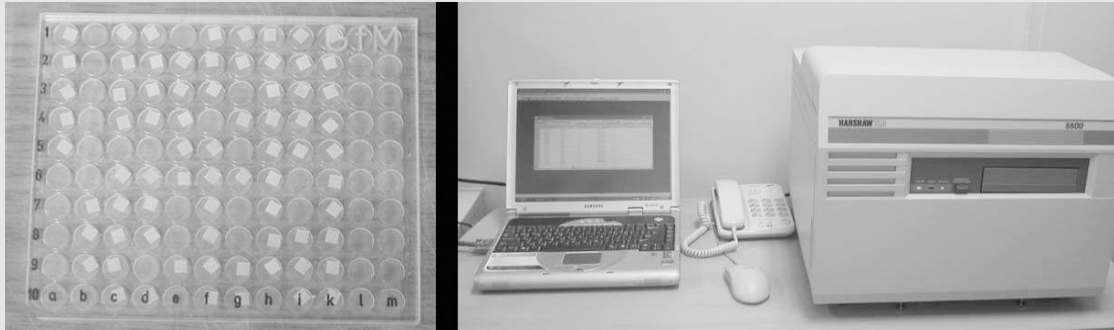


Fig. 2. TLD chips and Harshaw TLD reader system



Fig. 3. Portable dental x-ray machine



Fig. 4. Panorama machine and phantom located in the panoramic unit.

(model 5500 reader, Harshaw Chemical Co., USA)를 이용하여 측정하였다(Fig. 2).

전악 치근단 방사선촬영에 사용된 이동형 구내방사선촬영기(AnyRay-P, Vatec CO., Korea)의 관전압은 60kVp, 관전류는 2mA, 초점(focal spot) 크기는 0.8mm, 관구(cone) 모양은 원형, 관구 직경은 70mm, FSD(focal spot - skin distance)는 110mm이다(Fig. 3).

사용된 파노라마방사선촬영기는(Proline EC, Planmeca Co., Helsinki, Finland) 관전압 60~80kVp, 관전류 4~12mA, 초점 크기 0.5X0.5mm 이다(Fig. 4).

2. 연구방법

1) 선량 측정 전 준비

방사선량 측정기관(Iljin Radiation Engineering Co., Ltd., Korea)에서 방사선 교정과정을 거쳐 각 소자의 ECC(Error correction code) 값을 통상적인 방법으로 구한 후 그 오차범위가 5% 미만인 TLD chip을 방사선량 측정에 이용하였다.

두경부 팬텀의 25부위에 소성된 TLD chip을 각각 위치시킨 후 촬영하였다. 25부위는 방사선 감수성이 있는 조직 및 기관이다(Table 1)¹⁰⁾.

이 부위들 중에서 좌·우 안구렌즈 부위, 뺨 부위 그

Table 1. Locations of TLD chips in phantom

Phantom location	TLD ID	Phantom level
Calvarium posterior	1	1
Calvarium anterior	2	2
Calvarium right	3	2
Calvarium left	4	2
Midbrain	5	2
Pituitary	6	3
Right orbit	7	3
Left orbit	8	3
Right lens of eye	9	3
Left lens of eye	10	3
Right cheek	11	5
Left cheek	12	5
Right parotid gland	13	6
Left parotid gland	14	6
Right ramus	15	6
Left ramus	16	6
Center cervical spine	17	6
Right mandible body	18	6
Left mandible body	19	6
Right back of neck	20	7
Left back of neck	21	7
Right submandibular gland	22	7
Left submandibular gland	23	7
Midline thyroid	24	9
Esophagus	25	9

리고 뒷목 부위는 팬텀의 외형 표면에 테이프를 이용하여 TLD chip을 고정시켰고, 나머지 부위는 팬텀 절단면의 해당 구멍에 TLD holder를 이용하여 chip을 위치시켰으며, TLD holder에는 chip을 하나 위치시킬 수 있게 제작되었다.

2) 전악 치근단 및 파노라마방사선촬영

이동형 구내방사선촬영기로 14매의 전악 치근단 방사선촬영을 시행하였다. 촬영은 관전압 60kVp, 관전류 2mA, 관구에서 피부까지의 거리 2cm, 노출시간 0.15 ~ 0.25초로 구내 CCD센서를 사용하는 조건으로 하였다(Table 2).

파노라마방사선촬영은 FCR(Fuji computed radiography)을 이용하여 성인 남성 촬영시 통상적인 조건인 관전압 72kVp, 관전류 8mA, 노출시간 18초로 시행하였다(Table 2).

팬텀의 위치 변동없이 전악 치근단 방사선촬영은 3회, 파노라마방사선촬영은 5회 시행하였다. 촬영횟수는 참고문헌들을 참조하여 정하였다^{10, 12, 15}.

3) 흡수선량 측정과 유효선량 계산

방사선에 노출된 25부위의 TLD chip에서 각 부위의 흡수선량(μ Gy)을 구한 후, 해당 조직 및 기관의 평균 흡수선량을 구하였다. 이때 배경 방사선을 고려하기 위하여 10개의 TLD chips을 정하고 선량 계산시

배경방사선량을 감해주었다.

골수의 평균 흡수선량은 하악골, 두개골, 경추부위에서 각각 구한 후 합하였다. 하악골부위는 좌·우 하악지와 좌·우 하악체에서 측정된 흡수선량의 평균값으로 계산하였고 두개골부위는 전·후·좌·우 두개골에서 측정된 흡수선량의 평균값으로 계산하였다. 경추부위는 경추에서 측정된 흡수선량으로 하였다.

골표면의 평균 흡수선량은 골수의 평균 흡수선량에 4.64를 곱하여 구하였다¹¹.

피부의 평균 흡수선량은 좌·우 뺨, 좌·우 안구렌즈 그리고 좌·우 뒷목에서 측정된 흡수선량의 평균값으로 계산하였다. 타액선의 평균 흡수선량은 좌·우 이하선과 좌·우 악하선에서 측정된 흡수선량의 평균값으로 하였다. 뇌의 평균 흡수선량은 중간 뇌부위와 뇌하수체에서 측정된 흡수선량의 평균값으로 구하였다. 기타조직(remainder)에 lymphatic nodes, muscle, extrathoracic airway, oral mucosa를 포함시켰으며, 흡수선량을 각각 구하였다¹⁰.

구해진 각 조직 및 기관의 평균 흡수선량에 전체 조직에 대한 방사선 조사된 조직의 비율을 곱하여 등가선량(μ Sv)을 구하였다(Table 3)¹⁰.

조사된 두경부 골수의 비율은 하악골부위는 전체 골수의 1.3%, 두개골부위의 골수는 11.8%, 경추부위의 골수는 3.4%로 계산하여 등가선량을 구하였다. 조사된 식도의 비율은 전체 식도의 10%로 계산하였고, 조

Table 2. Exposure parameters for full-mouth periapical and panoramic radiography

	Full mouth periapical radiography	Panoramic radiography
Image receptor	CCD sensor	image plate (FCR)
kVp	60	72
mA	2	8
exposure time(seconds)	0.15 ~0.25	18
하악전치부, 견치부	0.15	
상악전치, 견치부, 하악구치부	0.2	
상악대구치부	0.25	

Table 3. Estimated percentage of tissue irradiated and TLDs used to calculated mean dose to a tissue or organ

	Fraction irradiated(%)	TLD ID
Bone marrow	16.5	
Mandible	1.3	15,16,18,19
Calvarium	11.8	1~4
Cervical spine	3.4	17
Bone surface*	16.5	
Mandible	1.3	15,16,18,19
Calvarium	11.8	1~4
Cervical spine	3.4	17
Brain	100.0	5,6
Esophagus	10.0	25
Salivary gland	100.0	
Parotid	100.0	13,14
Submandible	100.0	22,23
Skin	5.0	9~12,20,21
Thyroid	100.0	24
Remainder		
Extrathoracic region	100.0	7,8,13~19,22,23,25
Lymphatic nodes	5.0	13~19,22,23,25
Muscle	5.0	13~19,22,23,25
Oral mucosa	100.0	13~19,22,23

Table 4. Tissue-weighting factors for calculation of effective dose - ICRP 2007 recommendation

Tissue/organ	2007 W _T
Bone marrow	0.12
Breast	0.12
Colon	0.12
Lung	0.12
Stomach	0.12
Bladder	0.04
Esophagus	0.04
Gonads	0.08
Liver	0.04
Thyroid	0.04
Bone surface	0.01
Brain	0.01
Salivary glands	0.01
Skin	0.01
Remainder tissues*	0.12

* Adrenals, *extrathoracic region*, gall bladder, heart, kidneys, *lymphatic nodes*, muscle, oral mucosa, pancreas, prostate, small intestine, spleen, thymus and uterus/cervix. Italicized text represents remainder tissues used for calculation of maxillofacial dose.

사된 피부의 비율은 5%로 계산하여 등가선량을 구하였다¹²⁾. 갑상선, 타액선, 뇌는 조사된 비율을 100%로 계산하여 구하였다. 기타조직에 대한 등가선량도 구하였다²⁾.

유효선량(μSv)은 구해진 각 조직 및 기관의 등가선량에 해당 조직 가중계수를 곱하고 그 합으로 하였다.

조직 가중계수는 전체적인 방사선 위험도에 대한 조

직 및 기관의 상대적인 기여도를 나타내며, 국제방사선방호위원회(ICRP) 2007년 권고안에 따른 15개 조직 및 기관과 14개의 기타조직의 계수를 이용하였다 (Table 4).

본 연구에서는 치근단 방사선촬영시 방사선에 직접 노출되지 않는 8개 조직 및 기관인 유선, 결장, 폐, 위, 방광, 생식선, 간, 신장과 9개의 기타조직은 제외

Table 5. Absorbed dose to tissues/organs in head and neck from full mouth periapical radiography using the portable dental x-ray machine and panoramic radiography (μGy)

Tissues/Organs	Full mouth periapical radiography	Panoramic radiography
Bone marrow		
calvarium posterior	3	12
calvarium anterior	18	12
calvarium right	5	71
calvarium left	4	33
mandible body right	1,984	99
mandible body left	1,685	93
ramus right	613	372
ramus left	1,192	281
center cervical spine	267	212
Brain		
midbrain	7	12
pituitary	53	10
Esophagus	58	18
Eye		
orbit right	66	26
orbit left	54	28
lens of eye right	143	5
lens of eye left	102	12
Salivary gland		
parotid right	288	2,129
parotid left	393	4,000
submandible right	1,392	478
submandible left	2,080	344
Skin		
cheek right	1,053	84
cheek left	1,011	109
back of neck right	22	388
back of neck left	20	460
Thyroid	257	43

하고 유효선량을 구하였다.

Ⅲ. 결과

1. 흡수선량

이동형 구내방사선촬영기를 사용한 14매 전악 치근단 방사선촬영에서는 좌·우 하악체의 평균 흡수선량이 1,835 μ Gy로 가장 높았고 좌·우 악하선이 1,736 μ Gy로 두 번째로 높았으며 그 다음은 좌·우 뺨으로 1,032 μ Gy이었다. 두개골의 평균 흡수선량은 8 μ Gy로 가장 낮았다.

파노라마방사선촬영에서는 좌·우 이하선의 평균 흡수선량이 3.065 μ Gy로 가장 높았으며, 그 다음은 좌·우 뒷목의 424 μ Gy, 세 번째는 좌·우 악하선이

411 μ Gy였다. 가장 낮은 평균 흡수선량은 뇌로 11 μ Gy였다(Table 5).

2. 유효선량

각 조직 및 기관의 평균 흡수선량에 전체 조직에 대한 방사선 조사된 조직의 비율을 곱한 등가선량은 두 촬영 모두 타액선에서 가장 높았고 식도에서 가장 낮았다.

두 촬영 간의 등가선량을 비교해보면, 타액선을 제외한 모든 조직 및 기관에서 14매 전악 치근단 방사선 촬영에서 더 높았으며 특히, 갑상선은 약 6배 높았다(Table 6).

유효선량은 이동형 구내방사선촬영기를 사용한 14매 전악 치근단 방사선촬영이 46 μ Sv, 파노라마방사선촬영이 38 μ Sv로 전악 치근단 방사선촬영에서 더 높았다(Table 7).

Table 6. Equivalent dose to tissues/organs in head and neck from full-mouth periapical radiography using the portable dental x-ray machine and panoramic radiography (μ Sv)

Tissues/Organs	Full mouth periapical radiography	Panoramic radiography
Bone marrow	28	14
Bone surface	129	64
Brain	30	11
Esophagus	6	2
Salivary glands	1,038	1,738
Skin	20	9
Thyroid	257	43
Remainder tissues/organs		
Lymphatic nodes	50	40
Extrathoracic region	839	673
Muscle	50	40
Oral mucosa	1,203	974

Table 7. Effective dose from radiographic examination for full-mouth periapical images using portable dental x-ray machine and panoramic image (μ Sv)

	Full mouth periapical radiography	Panoramic radiography
Effective dose	46	38

IV. 고찰

이동형 구내방사선촬영기는 1993년 미국에서 처음 제작되어 군에서 주로 사용되었고 FDA에서 군용으로 승인받았다¹³⁾. 국내에서는 2000년대부터 임플란트 술식과 연관되어 치과에 보급되기 시작하였다. 본 연구에서 사용된 이동형 구내방사선촬영기는 저자가 속해있는 요양기관에서 사용되고 있는 국내 제품이다.

국내에서 시판되고 있는 대부분의 이동형 구내방사선촬영기는 술자가 직접 들고 촬영할 수 있으며 가볍고 장비의 이동성이 매우 우수하다. 그러나 고정형 구내방사선촬영기보다 더 많은 누설 및 산란선량이 발생되어 술자의 방사선 노출 가능성을 증가시키게 되므로 촬영기의 국내 제조허가를 엄격하게 해야 할 필요가 있다¹⁴⁾. 한편, 3종의 이동형 구내방사선촬영기를 사용한 치근단 방사선촬영과 고정형 구내방사선촬영기를 이용한 치근단 방사선촬영에서 환자의 유효선량은 두 촬영간 크게 차이가 나지 않았다⁵⁾. 그러나 시판되고 있는 여러 기종의 이동형 구내방사선촬영기들의 환자 선량에 대한 자료가 충분하지 않은 상태에서 임상적으로 널리 사용되고 있기에 이에 대한 자료가 제시되어야 한다.

이동형 구내방사선촬영기로 디지털 센서를 이용하여 전악 치근단 방사선촬영을 한 경우, 흡수선량이 하악체가 가장 많았으며 악하선, 뺨 피부 순이고 이는 이전의 고정형 구내방사선촬영기를 이용한 연구들과 유사한 결과이다^{11, 16, 17)}. 조 등의 연구¹⁵⁾에서는 3종의 이동형 구내방사선촬영기 모두 뺨 피부에서 가장 높은 흡수선량이 측정되었고 하악체, 악하선에서도 비교적 높은 흡수선량을 보였다. image plate를 사용한 파노라마방사선촬영에서는 이하선에서 흡수선량이 가장 높았으며, 그 다음이 뒷목 피부, 악하선, 하악체 순이다. 두 촬영 모두 방사선이 직접적으로 조사되는 조직이나 기관에서 높은 흡수선량을 보였다.

조직 및 기관의 일부가 조사되었지만, 전체적인 분

포를 고려하여 두 촬영의 선량을 비교한 결과, 두 촬영 모두 타액선에서 등가선량이 가장 높았다. 타액선은 2007년 ICRP 103권고안에 새롭게 포함된 기관이며, 두경부영역이 방사선 노출 되었을때 중요한 표적 기관으로 작용함을 알 수 있다. 그러므로 타액선을 포함시키지 않은 1990년 ICRP 60권고안보다 포함시킨 ICRP 103권고안에서 유효선량이 높게 나타난다^{18, 19)}. 이동형 구내방사선촬영기로 전악 치근단 방사선촬영에서 갑상선의 등가선량이 파노라마방사선촬영의 약 6배 높았다. 그러므로 치근단 방사선촬영시 일차방사선에 대한 갑상선 노출을 최소화시킬 수 있는 방법인 갑상선 보호대를 적극적으로 사용해야 한다.

본 연구 결과 유효선량은 이동형 구내방사선촬영기를 이용한 전악 치근단 방사선촬영이 파노라마 촬영보다 더 높았다. Ludlow 등의 연구¹⁸⁾에서도 18매 전악 치근단 방사선촬영이 파노라마방사선촬영보다 약 6배 까지 높았다. Danforth 등의 연구에서²⁰⁾ 보고된 파노라마방사선촬영의 유효선량(3.85 μ Sv)과 비교해 보면, 본 연구의 파노라마방사선촬영의 유효선량(38 μ Sv)이 훨씬 높았다. 이유는 촬영조건이 Planmeca proline EC는 72kVp, 8mA였고, Danforth 연구의 PM2002proline CC는 60kVp, 4mA로 촬영조건이 차이가 있었으며, 유효선량 계산시 본 연구에서는 ICRP 103권고안의 조직 가중계수를 적용하였기에 유효선량이 더 높았다.

본 연구의 아쉬운 점은 TLD reader를 구비하고 있지 않기에 전문 방사선량측정업체에 의뢰하여 시행하였다. 방사선 노출 직후에 곧바로 선량을 측정할 수 없는 상황이었지만 최대한 빠른 시간내에 TLD chip을 우송하여 연구를 진행하였다.

V. 결론

치과영역에서 이동형 구내방사선촬영기를 사용한

전악 치근단 방사선촬영이 파노라마 촬영보다 유효선
량이 더 많으므로, 전반적인 치아 및 주변 조직에 대한

영상 진단이 필요할 경우에는 파노라마방사선촬영을
추천한다.

* Corresponding author : Wonjeong Han, DDS, PhD, Associate professor
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Dankook University, 119, Dandae-ro,
Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam, 330-714, Korea
e-mail: wjhan@dankook.ac.kr, Tel: 82-41-550-1922, Fax: 82-41-556-7127

* 이 연구는 2008년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음

참 고 문 헌

1. 대한구강악안면방사선학교수협의회. 영상치의학. 제4판. 나래출판사. p165. 2008.
2. White SC, Pharoah MJ. Oral radiology: principles and interpretation. 6th edition. Mosby. 2008
3. 2007년 국제방사선방호위원회 권고. ICRP 간행물 103. 대한방사선방어학회
4. Coy J, Vandre RH, Davidson WR. Use of the hand-held dental X-ray machine during joint operation, NATO exercise display determination-92. Mil Med 1997;162:575-577.
5. Varghese S, Kimmel A, Radmer T, Bradley TG, Bahcall J. In vitro evaluation of the XR-15 portable x-ray unit for forensic odontology. J Forensic Odontostomatol 2004;22:5-8.
6. Kenneth PH, Stanley SJ, Mackernzie AJ. Radiation safty for the NOMADTM portable X-ray system in a temporary morgue setting. J Forensic Sci 2008;53: 917-921.
7. DG Charlton. Portable dental equipment: dental units and x-ray equipment. Gen Dent 2009;57:336-341.
8. Kim EK. Effect of the amount of battery charge on tube voltage in different hand-held dental x-ray systems. Imaging Sci Dent 2012;42:1-4.
9. Lee W. Current status of medical radiation exposure and regulation efforts. J Korean Med Assoc 2011;54:1248-1252.
10. 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;35:219-226.
11. Avendanio B, Fredericksen 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;82:713-719.
12. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL. Dosimetry of two extraoral direct digital imaging device: NewTom cone beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit. Dentomaxillofac Radiol 2003;32:229-234.
13. Van Dis ML, Miles DA, Parks ET, Razmus TF. Information yield from a hand-held dental x-ray unit. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1993;7:381-385.
14. 김은경. 이동용 치과 X선 발생장치의 누설 및 산란선량에 관한 연구. 대한구강악안면방사선학회지 2007;37:65-68.
15. 조정연, 한원정, 김은경. 이동형 구내방사선촬영기로 촬영한 치근단 방사선사진의 흡수선량과 유효선량 평가. 대한구강악안면방사선학회지 2007;37:149-156.
16. 최순철, 최항문. 전악치근단방사선사진촬영, 파노라마방사선사진촬영 및 협각단층촬영시의 흡수선량. 대한구강악안면방사선학회지 1999;29:255-260.
17. Underhill TE, Chilvarquer I, Kimura K, Lanlais RP, McDavid D, Preece JW, Barnwell G. Radiobiologic risk estimation from dental radiology. Part I. absorbed doses to critical organs. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1988;66:111-120.

참 고 문 헌

18. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, White SC. Patient risk related to common dental radiographic examinations. The impact of 2007 international commission on radiological protection recommendations regarding dose calculation. *JADA* 2008;139:1237-1247.
19. Gavala S, Donta C, Tsiklakis K, Boziari A, Kamenopoulou V, Stamatakis HC. Radiation dose reduction in direct digital panoramic radiography. *Eur J Radiol* 2009;71:42-48.
20. Danforth RA, Clark DE. Effective dose from radiation absorbed during a panoramic examination with a new generation machine. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Otol Radiol Endod* 2000;89:236-243.