



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

치의학석사학위논문

5세 소아의 파노라마방사선
검사 시 조사 유효선량 측정에
대한 연구

2016년 2월

서울대학교 대학원

치 의 학 과

박 보 라

초 록

5세 소아에서 파노라마방사선 촬영 시 조사되는 유효선량을 두 가지 방법(Dosimetric method와 Monte-Carlo method)으로 측정하여 비교하고, Monte-Carlo 계산시 입력항목들을 변화 시켜 유효선량에 미치는 영향을 연구하였다. 두가지 방법으로 열발광선량계(Thermoluminescence dosimeter, TLD)와 PCXMC(PC-based Monte-Carlo program)를 이용하였다. 파노라마방사선 촬영결과 TLD를 통한 유효선량 측정은 4.647 μ S 값을 가졌고 장기별로는 갑상선이 가장 높은 유효선량 값을 보였다. PCXMC를 통한 유효선량 측정은 4.657 μ S 값을 가졌고, 장기별로는 적색 골수에서 가장 높은 유효선량 값을 보였다. 또한, PCXMC의 입력항목에 따른 회귀분석 결과 Oblique angle과 Zref가 유효선량과 통계적으로 유의미한 음의 상관관계를 가졌고, X-ray tube voltage, Filtration, FRD. Xref는 유의미한 양의 상관관계를 가졌다.

주요어 : TLD, PCXMC, dosimetry, panoramic radiography, effective dose

학 번 : 2011-22442

목 차

제 1 장 서론

제 2 장 문헌고찰

제 3 장 연구 방법

1. 선량계(Dosimetric method)를 이용한 유효선량 측정
 - 1.1. Monte-Carlo method를 이용한 유효선량 측정 및 기본값 설정
2. PCXMC 입력항목에 따른 유효선량의 영향

제 4 장 연구 결과

1. 선량계(Dosimetric method)를 이용한 유효선량 측정 결과
 - 1.1. Monte-Carlo method를 이용한 유효선량 측정 및 기본값 설정 결과
2. PCXMC 입력항목에 따른 유효선량의 측정 결과

제 5 장 고찰

제 6장 결론

참고문헌

Abstract

표 목차

- [표 1] TLD chip의 위치
- [표 2] Fraction과 조직가중계수
- [표 3] PCXMC의 입력항목과 의미
- [표 4] 입력항목과 기준값
- [표 5] 장기 위치별 TLD chip의 흡수선량
- [표 6] TLD를 이용해 측정한 유효선량
- [표 7] Zref의 변화에 따른 유효선량
- [표 8] PCXMC를 이용해 측정한 유효선량
- [표 9] Projection변화에 따른 유효선량
- [표 10] 입력항목에 따른 회귀 분석 결과
- [표 11] Oblique angle 변화에 따른 유효선량
- [표 12] X-ray tube voltage 변화에 따른 유효선량
- [표 13] X-ray beam width 변화에 따른 유효선량
- [표 14] Filtration 변화에 따른 유효선량
- [표 15] FRD 변화에 따른 유효선량
- [표 16] Xref 변화에 따른 유효선량
- [표 17] Yref 변화에 따른 유효선량
- [표 18] Zref 변화에 따른 유효선량

그림 목차

- [그림 1] 5세 소아 Rando phantom
- [그림 2] 파노라마 조사 실험
- [그림 3] TLD를 이용해 측정한 유효선량 그래프
- [그림 4] TLD와 PCXMC의 유효선량 비교 그래프
- [그림 5] Projection변화에 따른 유효선량 그래프
- [그림 6] Projection에 따른 장기별 흡수선량
- [그림 7] Oblique angle 변화에 따른 유효선량 그래프
- [그림 8] Oblique angle에 따른 장기별 흡수선량
- [그림 9] X-ray tube voltage 변화에 따른 유효선량 그래프
- [그림 10] X-ray tube voltage에 따른 장기별 흡수선량
- [그림 11] X-ray beam width 변화에 따른 유효선량 그래프
- [그림 12] X-ray beam width에 따른 장기별 흡수선량
- [그림 13] Filtration 변화에 따른 유효선량 그래프
- [그림 14] Filtration에 따른 장기별 흡수선량
- [그림 15] FRD 변화에 따른 유효선량 그래프
- [그림 16] FRD에 따른 장기별 흡수선량
- [그림 17] Xref 변화에 따른 유효선량 그래프
- [그림 18] Xref 따른 장기별 흡수선량
- [그림 19] Yref 변화에 따른 유효선량 그래프
- [그림 20] Yref에 따른 장기별 흡수선량
- [그림 21] Zref 변화에 따른 유효선량 그래프
- [그림 22] Zref에 따른 장기별 흡수선량

제 1장 서 론

소아는 방사선에 대한 감수성이 성인보다 매우 높고, 방사선 노출의 영향을 오래 받기 때문에 방사선 노출선량 관리가 더욱 중요하다.¹ 일반 엑스선 촬영에 의해 소아 백혈병과 유방암의 위험이 증가될 수 있고 암이 발생하기 충분한 여명이 남아있어 소아에서 보다 적극적인 피폭 선량 감소 노력이 필요하다.²

인체 연조직과 유사한 방사선 감쇠 정도를 갖는 8개의 절단면으로 구성된 5세 소아의 Rando phantom(ATOM® dosimetry phantom, model 705-D, CIRS, Norfolk, VA, USA)을 이용하여 파노라마방사선 촬영시 조사되는 유효선량을 두 가지 방법(Dosimetric method와 Monte-Carlo method)으로 측정하여 비교하고, Monte-Carlo 계산시 입력항목들을 변화 시켜 유효선량에 미치는 영향을 연구하였다.

제 2장 문헌고찰

방사선 노출량 및 선량을 나타내는 다양한 단위가 있다. 방사선 노출량과 선량을 측정하는 것을 선량측정법이라고 하며 선량은 관심위치에서 단위 부피당 흡수되는 양을 나타낸다. 흡수선량은 흡수체의 gram당 흡수된 에너지를 측정하는 단위로 환자나 실험동물에 조사된 방사선의 양을 나타내는 데 주로 사용한다. 1Gy는 흡수체 kilogram당 1 Jule의 에너지가 흡수된 경우이며, 100rad에 해당한다. 방사선의 흡수량은 방사선 노출량에 의해서도 좌우되나 흡수체의 구성성분에 따라서도 좌우된다. 등가선량은 흡수선량이 같더라도 방사선 종류에 따라 생물학적 효과가 다르기 때문에 생물학적 효과를 나타내기 위해 사용된다. 등가선량은 흡수선량에 방사선가중계수를 곱한 것으로 Sv단위를 사용한다. 유효선량은 사람에게 미치는 방사선의 위험도를 평가하기 위해 사용되는 단위로 조직마다 방사선 감수성이 달라 등가선량에 조직가중계수를 곱해 계산한다.³

방사선 노출량 관리를 위해 외부피폭에 의한 선량 측정을 위한 다양한 방법이 개발되어 왔다. 방사선의 노출량이나 선량을 측정하는 것을 선량측정법이라 하고 이 때 사용되는 기구가 선량계(dosimeter)이다. 전통적으로 가스충전감시기(Gas-filled detector), 포켓선량계(Pocket dosimeter), 열발광선량계(Thermoluminescence dosimeter, TLD), 반도체 선량계(Solid state dosimeter) 등 직접 방사선 조사량을 측정하는 방법이 이용되어 왔다.⁴

이 중 열발광선량계(Thermoluminescence dosimeter, TLD)는 대부분의 결정체가 방사선에 노출되면 에너지를 흡수하고 열을 가하면 가시광선 형태의 에너지를 방출하는 원리를 이용하여 측정하는 방법이다. 방출되는 빛은 결정체가 흡수한 에너지와 비례하므로 방출되는 빛을 측정하여

방사선량을 측정할 수 있다. 주로 사용되는 결정체는 lithium fluoride(LiF)이다. TLD는 크기 조절이 가능하고 넓은 범위의 조사량의 측정이 가능하며 취급이 간단한 장점이 있다. 그러나 TLD는 열처리 (annealing)시 기존 선량이 제거되어 기록의 영구보존이 불가능하고, 정확한 선량측정을 위해서 보정계수를 사용해야 하며 조사 후 퇴행 (Fading)현상이 일어나는 단점이 있다.⁵

최근 컴퓨터의 발전에 따라 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 표준화된 모델을 근거로 방사선 유효선량을 계산하는 방법이 각광을 받고 있다. 가상시뮬레이션 프로그램인 PCXMC(PC-based Monte Carlo program)은 방사선 유효선량을 계산하는 대표적인 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램이다. 선량계를 이용한 장기선량측정이 환자 검사에 직접 측정 할 수 없고 팬텀을 사용하여 실험방법이 복잡하고 시간이 많이 걸리며 International Committee for Radioactivity Prevention(ICRP)-103에서 권고하는 조직가중인자 항목에 대한 측정이 어렵다. 이에 PCXMC 프로그램을 이용하면 선량계로 측정하기 어려운 다양한 조건에서의 장기별 유효선량과 총 유효선량을 측정할 수 있다는 장점이 있다.^{1,6}

제 3 장 연구 및 방법

1. 선량계(Dosimetric method)를 이용한 유효선량 측정

인체 연조직과 유사한 방사선 감쇠 정도를 갖는 8개의 절단면으로 구성된 5세 소아의 Rando phantom(ATOM® dosimetry phantom, model 705-D, CIRS, Norfolk, VA, USA)을 이용하였다. 이 팬텀은 그림 1과 같이 횡단면으로 25mm간격으로 절단되어 있으며, 110cm, 19kg의 소아의 인체조직과 유사한 방사선 감쇠 정도를 가져 치료 방사선 조사에서 전체 몸의 유효선량을 측정할 수 있도록 만들어 졌다.

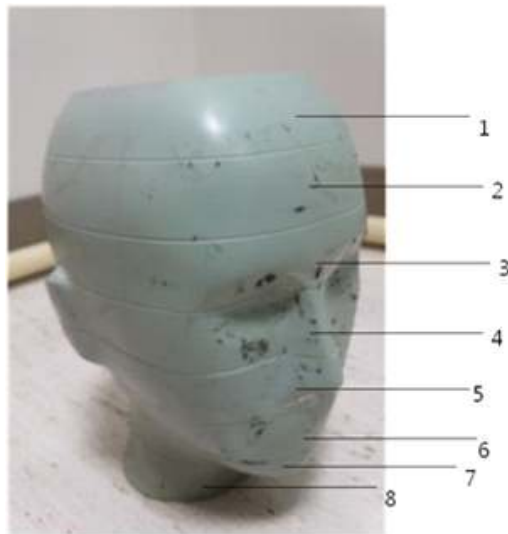


그림 1 5세 소아 Rando phantom

방사선 노출은 Orthopantomograph OP100(GE Healthcare, Finland)의 소아 촬영 파노라마를 기준으로 6.6 kV, 8.0 mA, 16.8 s 의 조건으로 3회 반복하여 촬영하였다.



그림 2 파노라마 조사 실험

Dosimetric method 중 열형광선량계(Thermoluminescence dosimeter, TLD)를 이용하였다. 열형광선량계로 가로 1/8인치, 세로 1/8인치, 두께 0.03인치의 LiF TLD-100 chip(Harshaw Co.,USA)을 사용하였고 모든 TLD chip은 결정 내에 남아 있을 수 있는 에너지를 모두 방출시키기 위해 REMTECH Co,LTD(Seoul, Korea)에 의뢰하여 실험 전 300℃에서 소성(annealing)한 후 각 chip의 오차범위와 상태를 측정하였다. 실험 전 3개의 chip을 각각 비닐에 넣어 서로 접촉하지 않도록 하여 Rando phantom에 표1와 같이 위치 시켰다.

방사선 노출 후 각각의 chip을 TLD reader(Harshaw Co., USA)로 측정한 후 측정된 전하량(nC)을 Calibration curve를 이용하여 mR 단위의 노출량으로 변환시켰다. 이 때 매 소성 후 같은 조건에서 따로 보관한 3개의 TLD chip으로 배경방사선 양을 구하여 각 측정치에서 빼 주었다. 그리고 이 값은 노출량이므로 흡수선량으로 바꿔주기 위해 correlation

factor를 곱해 흡수선량(μG)로 환산하였다.⁷

	Organ	s l i c e number	Location number	TLD chip ID
1	Calvarium anterior	2	1	H3, H7, H8
2	Calvarium left	2	2	G4, G11, G12
3	Calvarium right	2	3	F6, F12, G3
4	Midbrain	3	6	D2, E2, E3
5	Midbrain	3	7	E11, F2, F5
6	Pituitary	4	12	K3, K6, K12
7	Right orbit	4	15	B3, B4, B9
8	Right lens of eye	4	15	B3, B4, B9 (7과 동일)
9	Left lens of eye	4	16	C6, C7, C11
10	Right maxillary sinus	4	15	B3, B4, B9 (7과 동일)
11	Left nasal airway	4	12	K3, K6, K12 (6과 동일)
12	Right parotid	6	19	AS1, AS4, AS7
13	Left parotid	6	17	P6, Q1, R1
14	Left back of neck	6	20	AS10, J3, J8
15	Right ramus	6	19	AS1, AS4, AS7(12와 동일)
16	Left ramus	6	17	P6, Q1, R1 (13과 동일)
17	Right submandibular gland	6	19	AS1, AS4, AS7(12와 동일)
18	Left submandibular gland	6	17	P6, Q1, R1 (13과 동일)
19	Center sublingual gland	6	18	O4, O7, O8
20	Center C spine	8	21	N2, O1, O3
21	Thyroid superior-left	8	22	M7, N1, H10
22	Thyroid-left	8	22	M7, N1, H10(21과 동일)
23	Thyroid-right	8	23	M1, M6, H9
24	Esophagus	8	21번 위	A6, L2, L3
<p>비고</p> <p>Phantom 상의 한계로 아래의 장기는 서로 같은 위치에 적용함</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Right orbit=Right lens of eye=Right maxillary sinus 1. Pituitary=Left nasal airway 2. Right parotid=Right ramus=Right submandibular gland 3. Left parotid=Left ramus=Left submandibular gland 4. Thyroid left=Thyroid superior left 				

표 1 TLD chip의 위치

각 TLD chip에서 구한 흡수선량을 장기별로 분류하고 표2의 조직가중 계수를 곱해 유효선량(μS)로 변환하였다.^{8,9}

	Fraction(%)	weighting factor
bone marrow		0.12
mandible	1.1	
calvaria	11.6	
cervical spine	2.7	
Thyroid	100	0.04
skin	5	0.01
bone surface		0.01
mandible	1.3	
calvaria	11.8	
cervical spine	3.4	
brain	100	0.01
esophagus	10	0.04
salivary gland		0.01
parotid	100	
submandibular	100	
sublingual	100	
remainder		0.12
lymphatic nodes	5	
muscle	5	
extrathoracic region	100	
oral mucosa	100	

표 2 Fraction과 조직가중계수^{8,9}

적색 골수의 등가선량 계산에는 두개관(calvarium), 하악(mandible), 경추(cervical spine)를 사용하였고 골수의 분포는 하악이 1.1%, 두개관이 11.6%, 경추가 2.7%로, 전체 골수 중 15.4%가 분포하고 있다고 보고 계산하였다.¹⁰

골-근육 감쇠계수= $-0.0618 \times kV(p) \times 2/3 + 6.9406$ 를 이용하여 계산하였고 66kV에서 4.2214값을 사용하였다.¹¹ 머리 목 부위의 피부표면은 Ludlow et al의 논문을 따라 전체의 5%로 두고 계산하였다. 근육, 림프노드역시 %, 식도는 10%, 나머지는 100%로 두었다.

유효선량의 계산은 $E = \sum W_T + H_T$ 로 E는 조직에 따라 다른 방사선의 위험도를 표현한 가중계수(W_T)와 흡수선량과 등가선량(H_T)의 곱한 값으로 총 유효선량은 모든 조직의 유효선량을 합하여 구하였다.

조직가중계수는 국제방사선방어위원회(ICRP, International Commission on Radiological Protection)에서 정한 14개의 조직과 14개의 기타조직을 사용하였다. 이 중 자궁은 여자에게만, 전립선은 남자에게만 있기 때문에 기타조직은 13개로 두고 계산하였다.¹⁰

1.1. Monte-Carlo method를 이용한 유효선량 측정 및 기본값 설정

PCXMC(PC-based Monte-Carlo Program) 2.0프로그램의 5세 소아의 평균치로 설정된 가상의 수학적 팬텀을 사용하였고 이 가상의 소아 팬텀은 19kg, 109.1cm로 설정되었다.¹²

PCXMC의 입력항목은 Projection, Oblique angle, Patient height, Patient weight, Patient age, X-ray tube voltage, Filtration, FRD, X-ray beam width, X-ray beam height, Xref, Yref, Zref, Input dose value 등이 있고 이들이 의미하는 바는 아래 표 3과 같다.¹³

촬영조건에서의 관전류, 관전압, 고유여과 두께, 각도를 입력하였고 Input dose value는 DAP를 사용하여 계산하였다. 그 외의 입력항목은 실제 측정에 의해 표4와 같이 설정하였다.

입력항목	의미
Projection	팬텀에 조사되는 x-ray beam의 방향
Oblique angle	X-ray beam을 비추는 각도
Patient height	신장 (0은 입력한 연령에서의 표준 신장,cm)
Patient weight	체중 (0은 입력한 연령에서의 표준 체중,kg)
Patient age	0,1,5,10,15,30 중에 입력(5세 소아: 5)
X-ray tube voltage	실험에서 사용한 장비의 voltage 값 입력(kV)
Filtration	장비에 사용된 필터의 두께 (mm)
FRD	Focus-Reference point Distance 측정값(cm)
X-ray beam width	초점에서 FRD거리에 이르는 x-ray beam의 너비 (cm)
X-ray beam height	초점에서 FRD거리에 이르는 x-ray beam의 높이 (cm)
Xref	팬텀 내부의 임의의 기준점 (+: 팬텀의 왼쪽)
Yref	팬텀 내부의 임의의 기준점 (+: 팬텀의 등쪽)
Zref	팬텀 내부의 임의의 기준점 (+: 팬텀의 위쪽)
Input dose value	DAP를 사용함 (mGy*cm ²)

표 3 PCXMC의 입력항목과 의미

입력항목	기준값	입력항목	기준값
Projection	235	X-ray beam width	0.203475
Oblique angle	-8	X-ray beam height	9.048649
Patient age	5	Xref	0
X-ray voltage	66	Yref	-3
Filtration	2.5	Zref	49.5~59.5
FRD	31	Input dose	52.11

표 4 입력항목과 기준값

팬텀 내의 임의의 기준점의 Z축 값인 Zref값을 변화시켜 Dosimetric

method를 이용해 구한 유효선량과 유사한 설정값을 찾아 이를 PCXMC를 이용한 시뮬레이션의 기준값으로 두었다.

2. PCXMC 입력항목에 따른 유효선량의 영향

앞서 설정한 기준값에서 PCXMC의 각 입력항목을 변화시켜 총 유효선량과 각 장기별 흡수선량이 어떻게 변하는지 알아보았다. 변화량은 각 입력항목의 기준값의 $\pm 20\sim 25\%$ 정도로 설정하였다.

- (1) Projection은 기준값 235° 를 기준으로 $\pm 50^\circ$ 를 변화시켜 185° , 210° , 235° , 260° , 285° 에 대하여 측정하였다.
- (2) Oblique angle은 기준값 -8° 를 기준으로 $\pm 2^\circ$ 를 변화시켜 -6° , -7° , -8° , -9° , -10° 에 대하여 측정하였다.
- (3) X-ray tube voltage는 기준값 66kV 를 기준으로 $\pm 16\text{kV}$ 를 변화시켜 50kV , 58kV , 66kV , 76kV , 84kV 에 대하여 측정하였다.
- (4) X-ray beam width는 기준값 0.203475cm 를 기준으로 $\pm 0.4\text{cm}$ 변화시켜 0.16cm , 0.18cm , 0.203475cm , 0.22cm , 0.24cm 에서 측정하였다.
- (5) Filtration은 기준값 2.5mmAl 를 기준으로 $\pm 0.4\text{mmAl}$ 변화시켜 2.1mmAl , 2.3mmAl , 2.5mmAl , 2.7mmAl , 2.9mmAl 로 측정하였다.
- (6) FRD는 기준값 31cm 를 기준으로 $\pm 6\text{cm}$ 을 변화시켜 25cm , 28cm , 31cm , 34cm , 37cm 에서 측정하였다.
- (7) Xref는 기준값 0cm 를 기준으로 $\pm 5\text{cm}$ 를 변화시켜 -5cm , -2.5cm , 0cm , 2.5cm , 5cm 에서 측정하였다.
- (8) Yref는 기준값 -3cm 를 기준으로 $\pm 5\text{cm}$ 를 변화시켜 -8cm , -5.5cm , -3cm , -0.5cm , 2cm 에서 측정하였다.
- (9) Zref는 기준값 54.5cm 를 기준으로 $\pm 5\text{cm}$ 를 변화시켜 49.5cm , 52cm , 54.5cm , 57cm , 59.5cm 에서 측정하였다.

제 4 장 연구 결과

1. Dosimetric method를 이용한 유효선량 측정 결과

Organ	1번	2번	3번	평균(μGy)	표준편차
Calvarium anterior	94.48	128.1	115.3	112.6	16.97
Calvarium left	54.26	58.75	87.68	66.90	18.14
Calvarium right	121.6	74.11	121	105.6	27.25
Midbrain	89.15	59.24	136.5	94.96	38.96
Midbrain	111.7	81.77	87.21	93.56	15.94
Pituitary	300.6	301.9	344.5	315.7	24.98
Right orbit	92.14	125.8	122.2	113.4	18.48
Right lens of eye	92.14	125.8	122.2	113.4	18.48
Left lens of eye	137.8	58.94	125	107.2	42.32
Right maxillary sinus	92.14	125.8	122.2	113.4	18.48
Left nasal airway	300.6	301.9	344.5	315.7	24.98
Right parotid	246.9	209.9	202	219.6	23.97
Left parotid	168	178.1	176.2	174.1	5.367
Left back of neck	253.5	239.9	217	236.8	18.45
Right ramus	246.9	209.9	202	219.6	23.97
Left ramus	168	178.1	176.2	174.1	5.367
Right submandibular gland	246.9	209.9	202	219.6	23.97
Left submandibular gland	168	178.1	176.2	174.1	5.367
Center sublingual gland	80.17	96.15	112	96.11	15.92
Center C spine	192.6	125.4	84.53	134.2	54.57
Thyroid superior-left	80.52	113.5	84.86	92.96	17.92
Thyroid-left	80.52	113.5	84.86	92.96	17.92
Thyroid-right	120.6	87.68	196.3	134.9	55.70
Esophagus	192.6	125.4	84.53	134.2	54.57

표 5 장기 위치별 TLD chip의 흡수선량

각 장기의 위치에 3개씩 위치시킨 TLD chip에서 얻은 흡수선량은 표 5와 같다. 이 값을 표 2의 비율을 적용시키고 조직가중계수를 곱하여 표 6과 같이 각 장기별 유효선량과 총 유효선량을 구하였다. 각 장기별 유효선량이 총 유효선량에 어느 정도 영향을 미치는지 그림 3을 통해 알 수 있다. 갑상선에 1.4257 μ S로 가장 많은 영향이 있고 기타조직, 적색골수, 뇌 등의 순으로 유효선량이 컸다.

	흡수선량(uGy)	가중계수	유효선량(μ Sv)
골표면	5.266	0.01	0.2223
뇌	56.021	0.01	0.5602
타액선	54.423	0.01	0.5442
식도	4.4726	0.04	1.789
갑상선	35.642	0.04	1.4257
적색골수	4.9324	0.12	0.5919
피부	3.9467	0.01	0.0395
기타조직	9.0322	0.12	1.0838
total			4.6465

표 6 TLD를 이용해 측정한 유효선량



그림 3 TLD를 이용해 측정한 유효선량 그래프

1.1. Monte-Carlo method를 이용한 유효선량 측정 및 기본값 설정 결과

Zref 값을 제외한 나머지 입력항목의 기준값은 표 4와 같이 정하였고 Zref를 변화시켜 얻은 값은 표 7과 같다. 이에 TLD를 이용해 얻은 유효선량과 거의 같은 4.657 μ S의 유효선량을 가지는 54.5cm를 Zref의 기준값으로 정하였다.

Zref	49.5	52	54	54.5	55	57	59.5
유효선량(μ S)	9.302	6.531	4.831	4.657	4.543	4.225	2.986

표 7 Zref의 변화에 따른 유효선량

이 기준값에서 PCXMC를 이용해 측정한 유효선량은 표 8과 같고 이를 TLD를 이용해 측정한 값과 비교를 위해 그래프로 나타내보면 그림 4와 같다. PCXMC는 뇌와 적색골수에서 유효선량이 높게 나타났고 TLD는 갑상선과 타액선에서 높은 유효선량을 가지는 것으로 측정되었다.

	총 유효선량	뇌	적색골수	타액선	식도	갑상선	피부
유효선량(μ S)	4.657	1.234	1.964	0.131	0.0102	0.0811	0.1429

표 8 PCXMC를 이용해 측정한 유효선량

2. PCXMC 입력항목에 따른 유효선량의 측정 결과

(1) Projection

PCXMC의 입력항목 중 Projection의 입력값을 변화시켜 표 9와 같은 결과를 얻었다. Projection의 변화에 따른 총 유효선량은 그림 5와 같은 그래프를 가지고, projection각도가 유효선량과 양의 상관관계를 가지는지 선형 회귀분석결과 $P > 0.05$ 로 통계적으로 유의미한 결과를 가지지 않았다. Projection 각도 변화에 따른 장기별 흡수선량의 그래프로 나타내

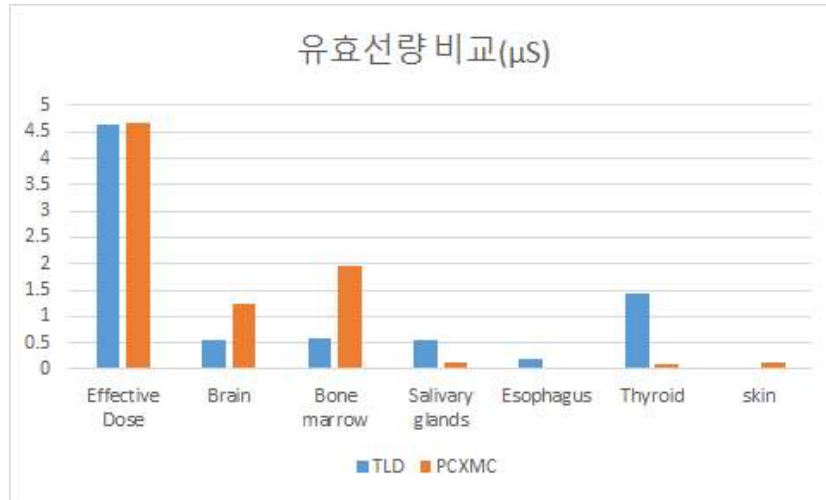


그림 4 TLD와 PCXMC의 유효선량 비교 그래프
 면 그림 5와 같고 285°일 때 거의 모든 장기에서 가장 높은 흡수선량을 가진다는 것을 알 수 있다.

Projection(°)	185	210	235	260	285
유효선량(μS)	4.656	4.641	4.657	4.681	5.891

표 9 Projection변화에 따른 유효선량

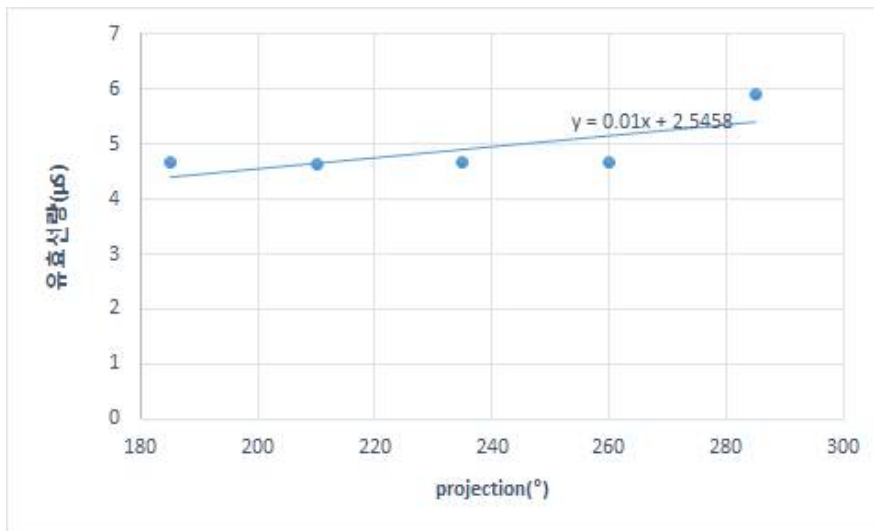


그림 5 Projection변화에 따른 유효선량 그래프

	상관계수	R-Square	Adjusted R-Square	F-Value	P-Value
projection angle	0.010	0.518	0.358	0.170	0.170
oblique angle	-0.022*	0.978	0.971	0.001	0.001
X-ray tube voltage	0.073*	0.999	0.998	0.000	0.000
X-ray beam width	0.147	0.518	0.357	0.171	0.171
filtration	0.743*	0.997	0.997	0.000	0.000
FRD	0.005*	0.979	0.971	0.001	0.001
Xref	0.009*	0.922	0.896	0.009	0.009
Yref	-0.002	0.006	-0.325	0.901	0.901
Zref	-0.598*	0.923	0.898	0.009	0.009

표 10 입력항목에 따른 회귀 분석 결과(*: P<0.05)

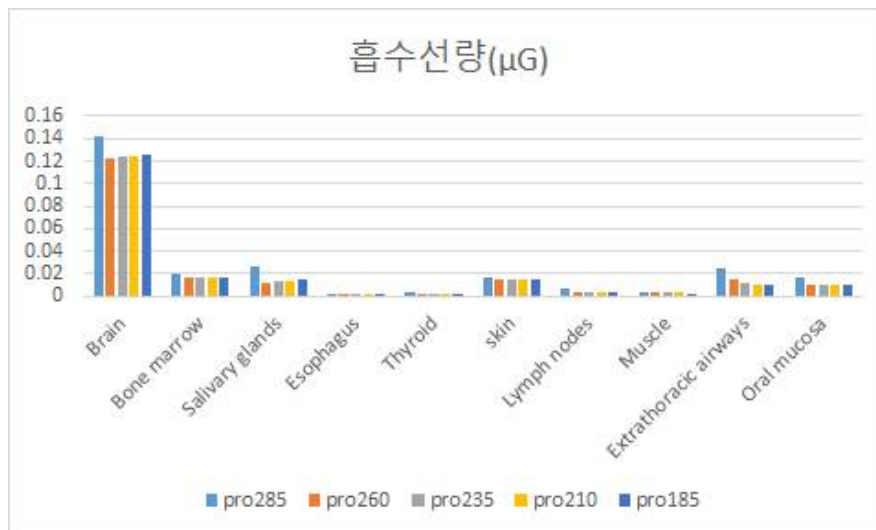


그림 6 Projection에 따른 장기별 흡수선량

(2) Oblique angle

PCXMC의 입력항목 중 Oblique angle의 입력값을 변화시켜 얻은 결과는 표 11과 같다. Oblique angle의 변화에 따른 총 유효선량은 그림 7과 같은 그래프를 가진다. 표 10의 회귀분석결과를 보면 Oblique angle은 유효선량과 음의 상관관계를 가지고 P<0.05로 통계적으로 유의미하게

나타났다. 이는 Oblique angle이 커질수록 유효선량이 작아짐을 의미한다. 그림 8의 그래프를 보면 oblique angle이 작아질수록 타액선의 흡수선량이 특히 증가하는 것을 알 수 있다.

Oblique angle(°)	-6	-7	-8	-9	-10
유효선량(μS)	4.625	4.638	4.657	4.684	4.712

표 11 Oblique angle 변화에 따른 유효선량

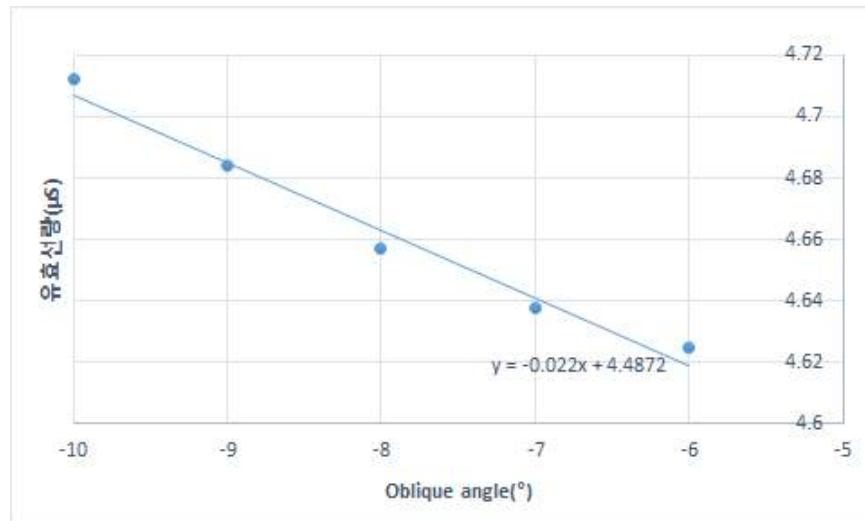


그림 7 Oblique angle 변화에 따른 유효선량 그래프

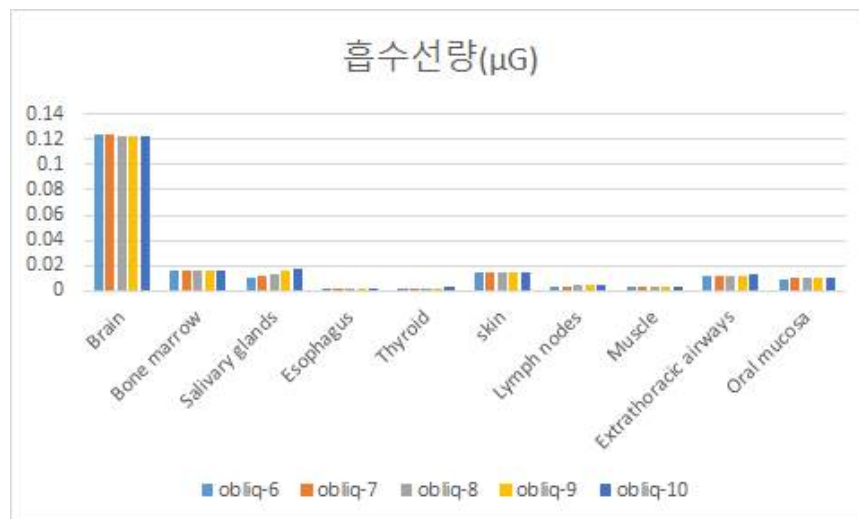


그림 8 Oblique angle에 따른 장기별 흡수선량

(3) X-ray tube voltage

PCXMC의 입력항목 중 X-ray tube voltage의 입력값을 변화시켜 얻은 결과는 표 12와 같다. X-ray tube voltage의 변화에 따른 총 유효선량은 그림 9와 같은 그래프를 가진다. 표 10의 회귀분석결과를 보면 X-ray tube voltage는 유효선량과 양의 상관관계를 가지고 $P < 0.05$ 로 통계적으로 유의미하게 나타났다. 이는 X-ray tube voltage가 커질수록 유효선량이 커짐을 의미한다. 그림 10의 장기별 흡수선량 그래프를 보면 X-ray tube voltage가 작아질수록 타액선의 흡수선량이 특히 증가하는 것을 알 수 있다.

X-ray tube voltage(kV)	50	58	66	74	82
유효선량(μ S)	3.414	4.065	4.657	5.221	5.769

표 12 X-ray tube voltage 변화에 따른 유효선량

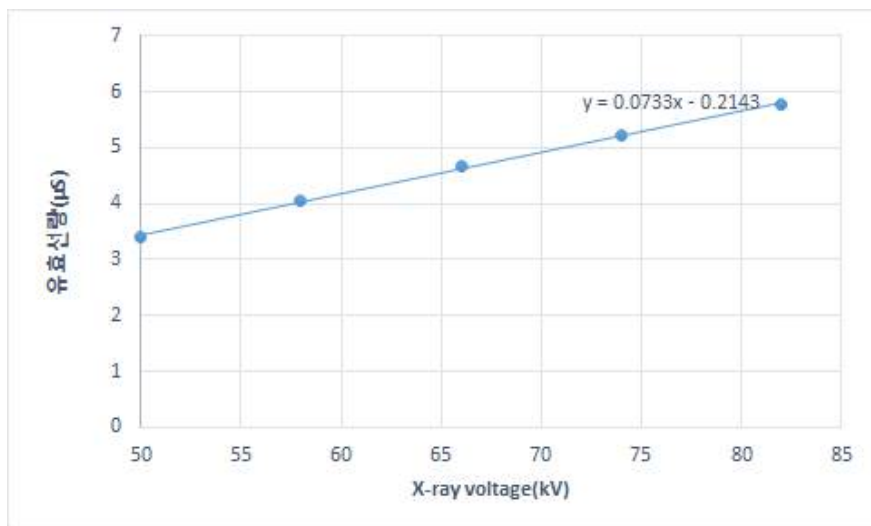


그림 9 X-ray tube voltage 변화에 따른 유효선량 그래프

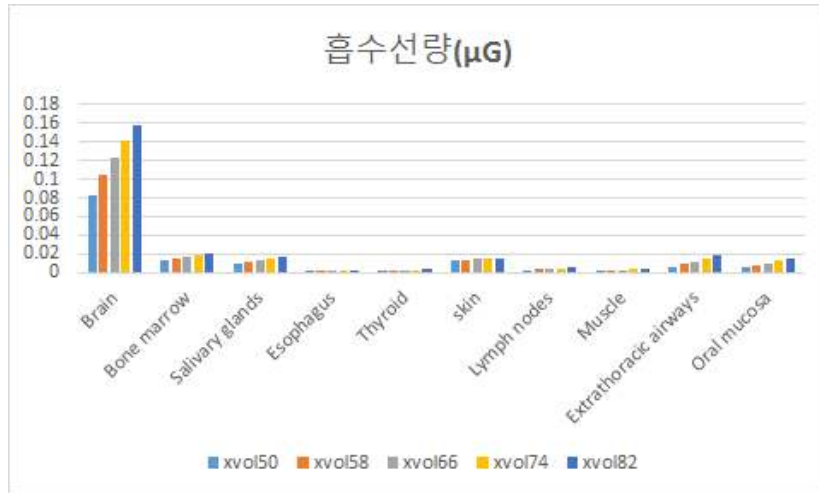


그림 10 X-ray tube voltage에 따른 장기별 흡수선량

(4) X-ray beam width

PCXMC의 입력항목 중 X-ray beam width의 입력값을 변화시켜 얻은 결과는 표 13과 같다. X-ray beam width의 변화에 따른 총 유효선량은 그림 11과 같은 그래프를 가진다. 표 10의 회귀분석결과를 보면 X-ray beam width와 유효선량이 통계적으로 유의미한 상관관계를 가지지 않았다. X-ray beam width의 변화가 장기별 흡수선량에 큰 영향을 미치지 않았다(그림 12).

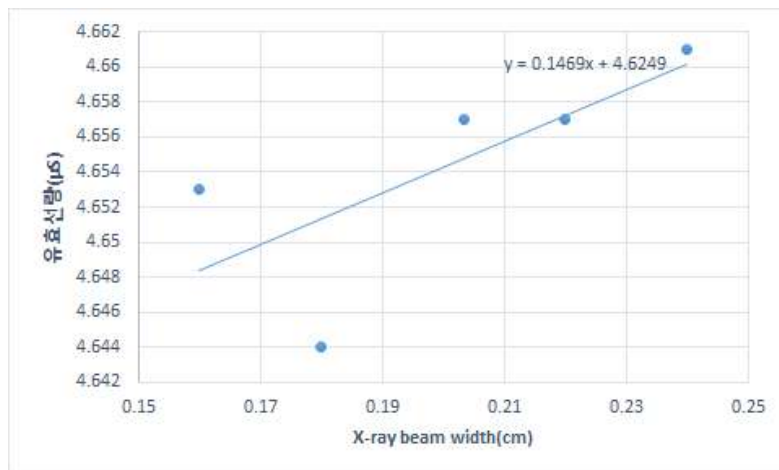


그림 11 X-ray beam width 변화에 따른 유효선량 그래프

X-ray beam width(cm)	0.16	0.18	0.203475	0.22	0.24
유효선량(μS)	4.653	4.644	4.657	4.657	4.661

표 13 X-ray beam width 변화에 따른 유효선량

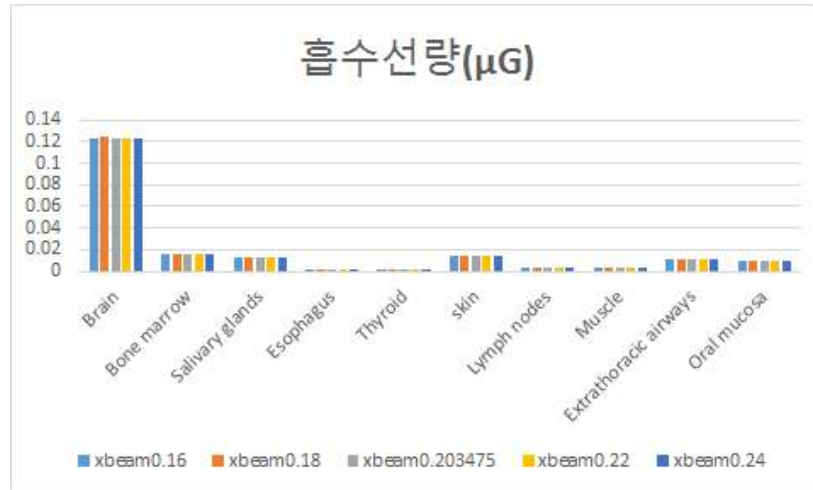


그림 12 X-ray beam width에 따른 장기별 흡수선량

(5) Filtration

PCXMC의 입력항목 중 Filtration의 입력값을 변화시켜 얻은 결과는 표 14와 같다. Filtration의 변화에 따른 총 유효선량은 그림 13과 같은 그래프를 가진다. 표 10의 회귀분석결과를 보면 Filtration은 유효선량과 양의 상관관계를 가지고 이때, $P < 0.05$ 로 통계적으로 유의미하게 나타났다. 이는 Filtration이 커질수록 유효선량이 커짐을 의미한다. 그림 14의 장기별 흡수선량 그래프를 통해 Filtration이 커질수록 뇌의 흡수선량이 특히 증가하는 것을 알 수 있다.

Filtration(mmAl)	1.9	2.2	2.5	2.8	3.1
유효선량(μS)	4.172	4.429	4.657	4.869	5.067

표 14 Filtration 변화에 따른 유효선량

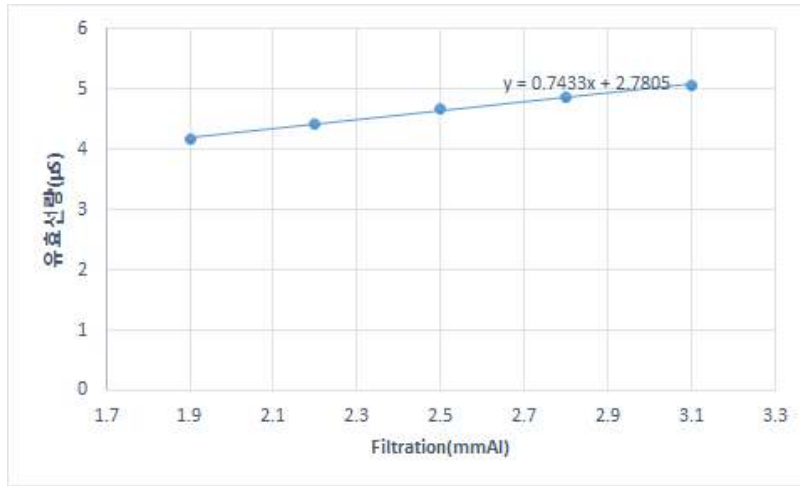


그림 13 Filtration 변화에 따른 유효선량 그래프

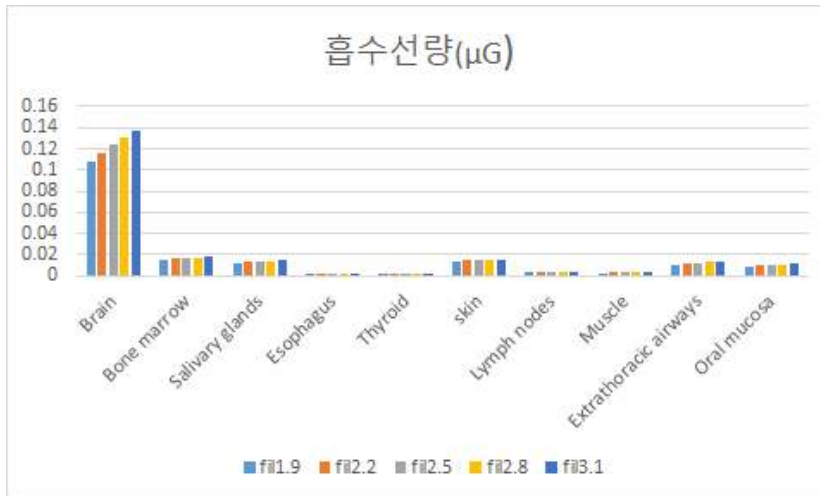


그림 14 Filtration에 따른 장기별 흡수선량

(6) FRD

PCXMC의 입력항목 중 FRD의 입력값을 변화시켜 얻은 결과는 표 15와 같다. FRD의 변화에 따른 총 유효선량은 그림 15와 같은 그래프를 가진다. 표 10의 회귀분석결과를 보면 FRD는 유효선량과 양의 상관관계를 가지고 이때, $P < 0.05$ 로 통계적으로 유의미하게 나타났다. 이는 FRD가 커질수록 유효선량이 커짐을 의미한다. 그림 16의 장기별 흡수선량

그래프를 통해 FRD가 커질수록 타액선의 흡수선량이 특히 증가하는 것을 알 수 있다.

FRD(cm)	25	28	31	34	37
유효선량(μ S)	4.628	4.636	4.657	4.675	4.684

표 15 FRD 변화에 따른 유효선량

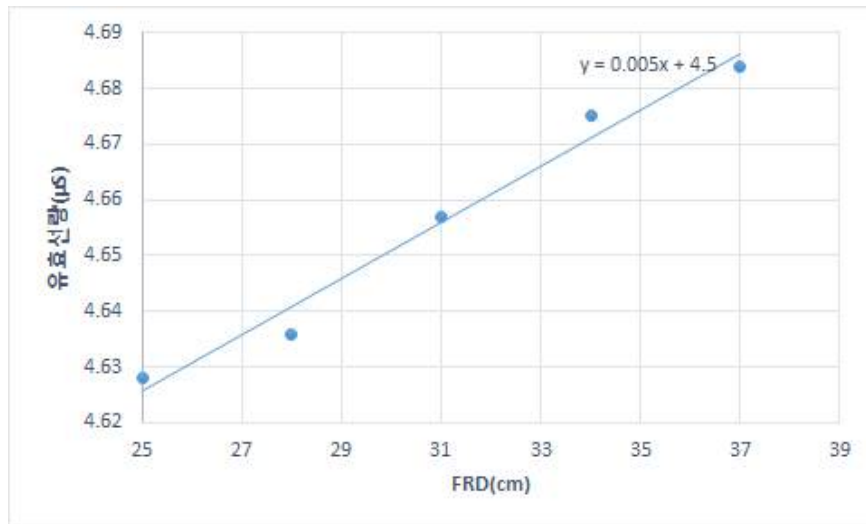


그림 15 FRD 변화에 따른 유효선량 그래프

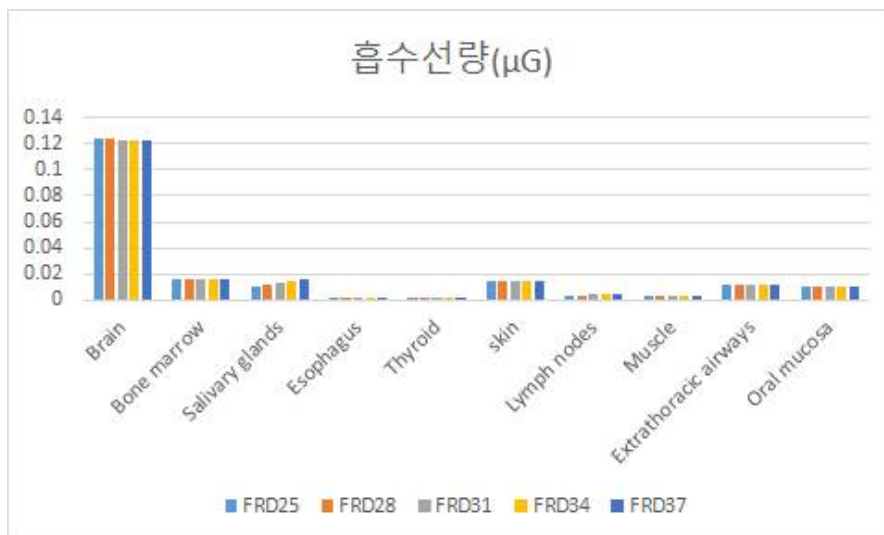


그림 16 FRD에 따른 장기별 흡수선량

(7) Xref

PCXMC의 입력항목 중 Xref의 입력값을 변화시켜 얻은 결과는 표 16과 같다. Xref의 변화에 따른 총 유효선량은 그림 17과 같은 그래프를 가진다. 표 10의 회귀분석결과를 보면 Xref는 유효선량과 양의 상관관계를 가지고 이때, $P < 0.05$ 로 통계적으로 유의미하게 나타났다. 이는 Xref가 커질수록 유효선량이 커짐을 의미한다. 그림 18의 장기별 흡수선량 그래프를 통해 Xref가 커질수록 뇌의 흡수선량은 증가 후 감소하고, 적색골수, 타액선, 피부는 감소 후 증가, 식도는 꾸준히 증가하는 것을 알 수 있다.

Xref	-5	-2.5	0	2.5	5
유효선량(μ S)	4.609	4.646	4.657	4.698	4.696

표 16 Xref 변화에 따른 유효선량

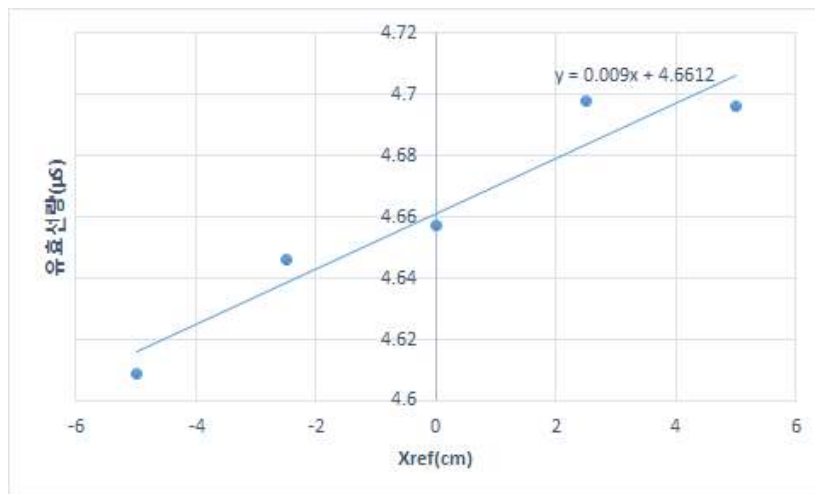


그림 17 Xref 변화에 따른 유효선량 그래프

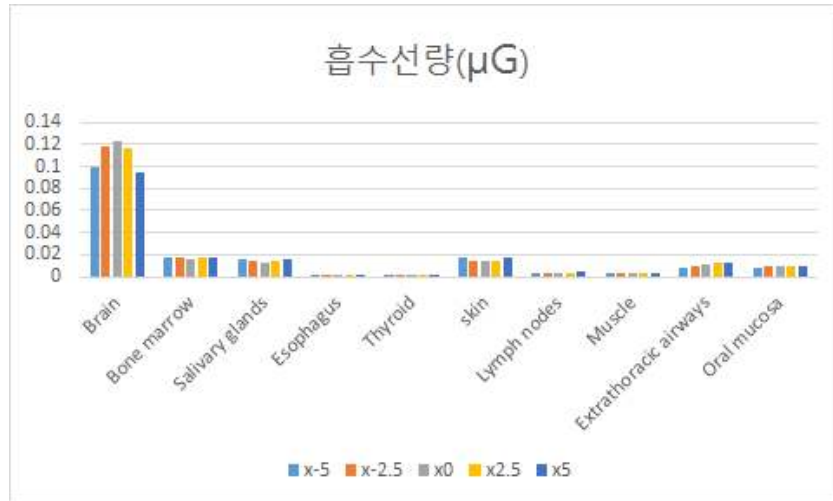


그림 18 Xref 따른 장기별 흡수선량

(8) Yref

PCXMC의 입력항목 중 Yref의 입력값을 변화시켜 얻은 결과는 표 17과 같다. Yref의 변화에 따른 총 유효선량은 그림 19와 같은 그래프를 가진다. 표 10의 회귀분석결과에서 Yref와 유효선량이 통계적으로 유의미한 상관관계를 가지지 않았다. Yref가 증가할 때 뇌의 흡수선량이 크게 증가하고 적색골수, 피부, 기도, 구강점막은 감소하였다(그림 12).

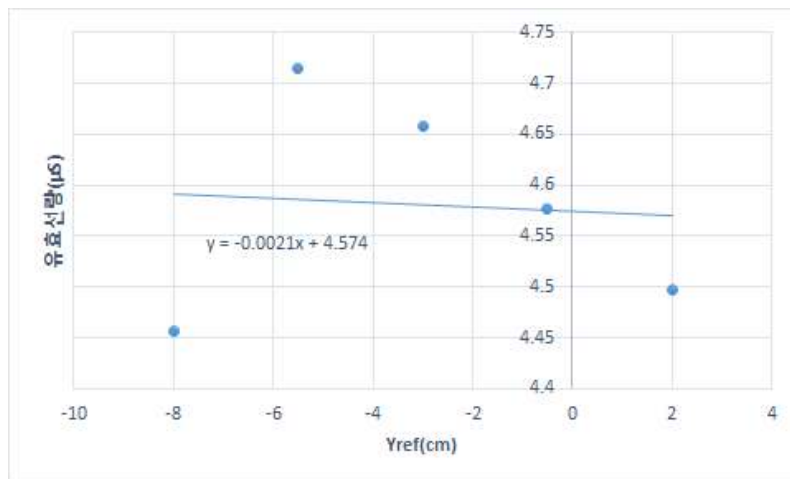


그림 19 Yref 변화에 따른 유효선량 그래프

Yref(cm)	-8	-5.5	-3	-0.5	2
유효선량(μS)	4.456	4.714	4.657	4.577	4.498

표 17 Yref 변화에 따른 유효선량

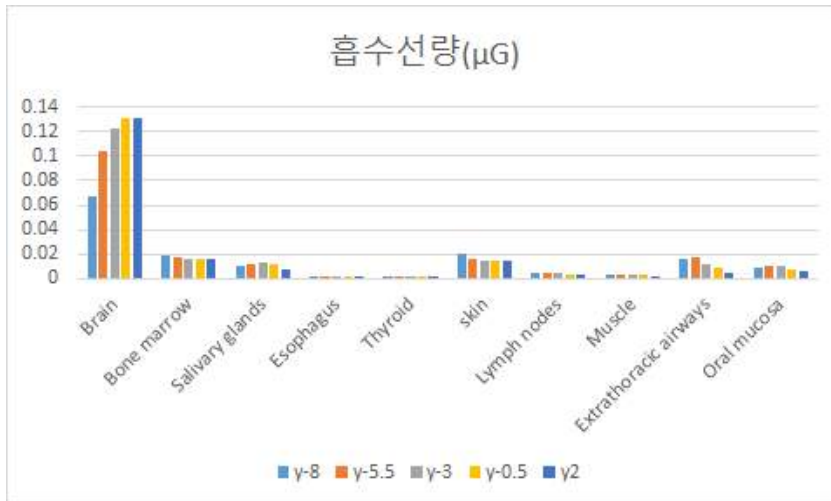


그림 20 Yref에 따른 장기별 흡수선량

(9) Zref

PCXMC의 입력항목 중 Zref의 입력값을 변화시켜 얻은 결과는 표 18과 같다. Zref의 변화에 따른 총 유효선량은 그림 21과 같은 그래프를 가진다. 표 10의 회귀분석결과를 보면 Zref는 유효선량과 음의 상관관계를 가지고 이때, $P < 0.05$ 로 통계적으로 유의미하게 나타났다. 이는 Zref가 커질수록 유효선량이 감소함을 의미한다. 그림 22의 장기별 흡수선량 그래프를 통해 Zref가 커질수록 뇌의 흡수선량은 증가 후 감소하고, 타액선, 림프절, 갑상선, 근육, 식도, 구강점막에서 크게 감소하는 것을 알 수 있다.

Zref(cm)	49.5	52	54.5	57	59.5
유효선량(μS)	9.302	6.531	4.657	4.225	2.986

표 18 Zref 변화에 따른 유효선량

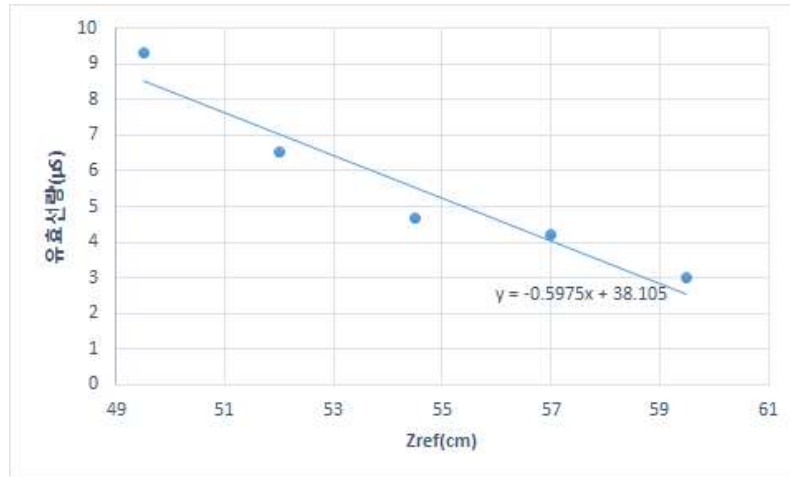


그림 21 Zref 변화에 따른 유효선량 그래프

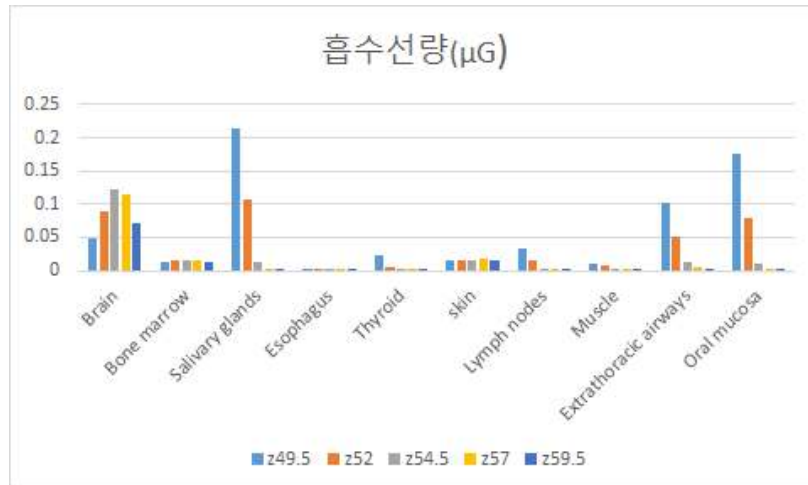


그림 22 Zref에 따른 장기별 흡수선량

제 5 장 고 찰

파노라마방사선 촬영 시 수반되는 방사선 피폭은 방사선 방어 측면에서 매우 중요하다. 최소의 방사선으로 환자의 정보를 최대한 획득하여 치료를 위한 정보를 제공할 수 있도록 해야 한다. 특히, 환자가 어릴수록 방사선에 대한 민감도가 높고 위험도가 크므로 소아방사선촬영에서 더욱 피폭을 최소화하려는 노력이 필요하다.¹⁴ 기존의 연구에 따르면 성인에서 파노라마 촬영의 유효선량은 $3.85\mu\text{S}\sim 30\mu\text{S}$ 으로 보고되었다.¹⁵⁻²¹

이번 실험에서 TLD를 이용한 유효선량 측정결과 $4.647\mu\text{S}$, PCXMC를 이용한 측정결과는 $4.657\mu\text{S}$ 이다. 총 유효선량은 두 가지 방법에서 비슷하게 나왔지만 조직별 유효선량은 차이가 있었다. PCXMC를 이용한 유효선량 측정결과가 적색골수에서 가장 높게 나타난 것은 조직가중계수의 영향이 크다. 조직가중계수가 0.12로 가장 큰 적색골수는 적은 흡수선량에도 큰 유효선량을 나타낼 수 있다. TLD를 이용한 유효선량 측정결과는 조직가중계수가 두 번째로 큰 0.4인 식도와 갑상선에서 매우 높게 나왔다. 조직별 유효선량은 편차가 있지만 PCXMC를 이용하여 총 유효선량을 측정하는 것이 유용하다.

PCXMC를 이용해 다양한 조건에서 파노라마의 유효선량 측정해 본 결과 Projection angle, X-ray beam width, Yre는 유효선량과 유의미한 상관관계를 가지지 않았다. Projecion angle은 280로 아주 컸을 때 모든 장기에서 유효선량의 증가를 보였지만 그 이하에서는 영향을 주지 않았다. 또한, X-ray beam width도 유효선량에 큰 영향이 없었다. 이러한 원인은 Input dose의 변화 없이 Projection angle, X-ray beam width에만 변화를 주어서 그런 것이라 분석된다. 일정한 선량으로 돌아가는 파노라마는 Projection angle이 증가하면 Input dose도 증가하게 된다. 하지만

Projection angle, X-ray beam width 등에만 변화를 주면 적은 선량을 많은 범위에서 주는 효과를 내기 때문에 유효선량이 크게 변하지 않았다. Yref는 임의의 기준점을 잡는 것으로 Yref가 증가할수록 등쪽에 가까워진다. Yref가 -로 클수록 안면부에 가깝기 때문에 뇌의 흡수선량은 줄어들고, 피부, 식도, 구강점막 등의 흡수선량은 증가하였다. 이러한 영향이 상쇄되어 총유효선량은 크게 변하지 않았고, 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다.

Oblique angle은 통계적으로 유의미한 음의 상관관계를 보였는데 이는 입력값이 -라 Oblique angle이 커질수록 유효선량이 증가한다는 것을 의미한다. 특히, Oblique angle이 커질 때 타액선의 흡수선량이 크게 증가하였고 이로 인해 유의미한 유효선량 증가를 보였다.

X-ray tube voltage는 통계적으로 유의미한 양의 상관관계를 보였고 X-ray tube voltage가 증가할수록 모든 장기에서 흡수선량 증가를 보인다. 관전압이 증가되면 타겟과 충돌하는 전자의 에너지가 증가되어 더욱 많은 X선 광자가 발생된다. 특히 높은 에너지를 갖는 광자가 더 많이 증가하여 X선속의 평균에너지도 증가되고 투과력도 증가된다.³ 방사선 노출량을 줄이기 위해서는 X-ray tube voltage의 감소가 매우 중요하다.

Filtration은 유효선량과 통계적으로 유의미한 양의 상관관계를 보였다. Filtration이 클수록 저에너지 X선을 제거하여 X선의 평균에너지가 증가되고 이를 경화(hardening)된다고 한다.³ Filtration이 커지면 X-선의 평균에너지 증가하고 이에 따라 유효선량이 증가한 것으로 분석된다.

FRD는 유효선량과 통계적으로 유의미한 양의 상관관계를 보였다. 이는 DAP가 일정하고 FRD가 커지면 더 많은 선량의 X-ray를 조사해야 하기 때문으로 분석된다. 특히 타액선이 민감하게 반응하였다.

Xref는 유효선량과 통계적으로 유의미한 양의 상관관계를 보였고, 장

기별 흡수선량은 0을 기준으로 대칭적인 형태를 보였지만 식도에서 흡수선량이 꾸준히 증가하였다. 기준점이 0에 있을 때 뇌의 흡수선량은 가장 컸지만 타액선, 적색골수, 피부 등은 흡수선량이 가장 적었다. 기준점이 정중앙에서 벗어나면 좌우 장기에 미치는 유효선량이 달라지는 것으로 분석되었다.

Zref는 유효선량과 통계적으로 유의미한 음의 상관관계를 보였고, 이는 Zref가 작을수록 타액선, 갑상선, 림프절 등 조직가중계수가 큰 장기의 흡수선량이 크게 증가하기 때문이다.

제 6 장 결 론

파노라마방사선 촬영결과 TLD를 통한 유효선량 측정은 4.647 μ S 값을 가졌고 장기별로는 갑상선이 가장 높은 유효선량 값을 보였다. PCXMC를 통한 유효선량 측정은 4.657 μ S 값을 가졌고, 장기별로는 적색골수에서 가장 높은 유효선량 값을 보였다. 또한, PCXMC의 입력항목에 따른 회귀분석 결과 Oblique angle과 Zref가 유효선량과 통계적으로 유의미한 양의 상관관계를 가졌고, X-ray tube voltage, Filtration, FRD, Xref는 유의미한 양의 상관관계를 가졌다.

PCXMC를 이용해 다양한 조건에서 파노라마의 유효선량 측정해 본 결과 파노라마 영상의 질을 유지할 수 있는 한에서 관전압을 줄이고, 여과를 증가시키고 기준점을 최대한 머리 위쪽 방향으로 잡는 것이 파노라마 조사 시 유효선량을 줄이는데 효과적이다.

참고 문헌

- 1) 김영은 외, Glass dosimeter와 PCXMC Program을 이용한 소아피폭 선량 측정 및 분석, 대한디지털의료영상학회, 2012; 14(2): 9-14.
- 2) 구현우, 소아 흉부촬영에서의 환자선량 권고량 마련을 위한 연구, 방사선 안전관리 용역연구개발과제, 식품의약품안전평가원, 한국의료영상 품질관리원, 2009.
- 3) 대한구강악안면방사선학교수협의회, 영상치의학, 4판, 서울, 나래출판사, 2008, 18-25.
- 4) Thilander-Klang A, Helmrot E. Methods of determining the effective dose in dental radiology. Radiat Prot Dosimetry 2010; 139 : 306-9
- 5) 최재호 외, DAP(Dose Area Product)를 이용한 TLD와 PLD의 선량 측정 비교, 한국콘텐츠학회, 2012; 12(3): 244-250.
- 6) Khelassi-Toutaoui N, Berkani Y, Tsapaki V, Touta oui A.E.K, Merad A, Frahi Amroun A, et al. Experimental evaluation of PCXMC and prepare codes used in conventional radiology. Radiat Prot Dosimetry 2008; 131 : 374-8
- 7) Johns HE, Cunningham VR. The physics of radiology, Springfield, Illinois, Charles C Thomas, 1969: 736
- 8) Valentin J. The 2007 recommendations of the International

Commission on Radiological Protection. Publication 93. Ann ICRP 2007; 37: 1-332.

9) Ludlow JB, Walker C. Assessment of phantom dosimetry and image quality of i-CAT FLX cone-beam computed tomography. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2013; 144: 802-17.

10) Underhill TE, Kimura K, Chilvarquer I, McDavid WD, Langlais RP, Preece JW, et al. Radiobiologic risk estimation from dental radiology: Part I. Absorbed doses to critical organs. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1988; 66: 111-20.

11) Physical aspects of irradiation. NBS handbook 85. Washington DC: US Government Printing Office; 1986.

12) Tapiovaara M, Siiakonen T. PCXMC-A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical X-ray examinations, Report STUK-A231(Helsinki: Radiation and Nuclear Safety Authority(STUK)); 2008.

13) Tapiovaara M, Suskonen T. PCXMC 2.0. User's Guide, STUK-TR 7(Helsinki); 2008.

14) 이준호 외, 소아(10세) 흉부 방사선촬영에서의 두경부 방사선 방어기구 개발 및 평가, 방사선방어학회, 2015; 40(2) :118-123

15) Mentis A, Gencoglu N. Canal length evaluation of curved canals by direct digital or conventional radiograph,. Oral Surg Oral Med

Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2002; 93 : 88-91.

16) Schulze R, Krummenauer F, Schalldach F, d'oedt B. Precision and accuracy of measurements in digital panoramic radiography, Dentomaxillofac Radiol, 2000; 29 : 52-6.

17) Dannewitz B, Hassfeld S, Eickholz P, Muhling J. Effect of dose reduction in digital fect of anoramic radiography on image quality, Dentomaxillofac Radiol, 2002; 31 : 50-5.

18) Dula K, Sanderink G, van der Stelt PF, Mini R, Buser D. Effects of dose reduction on the detectability of standardized radiolucent lesions in digital panoramic radiography, Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 1998; 86 : 227-33.

19) Molander B, Gröndahl HG, Ekestubbe A. Quality of film-based and digital panoramic radiography, Dentomaxillofac Radiol, 2004; 33 : 32-6.

20) Benediktsdottir IS, Hintze H, Petersen JK, Wenzel A. Accuracy of digital and film panoramic radiographs for assessment of position and morphology of mandibular third molars and prevalence of dental anomalies and pathologies, Dentomaxillofac Radiol 2003; 32 : 109-15.

- 21) Ramesh A, TyndaeshDA, Ludlow JB. Evaluation of a new digital panoramic sysisi: a comparison with film, Dentomaxillofac Radiol, 2001; 30 : 98-100.
- 22) 이근선 외, 직·간접디지털 파노라마방사선촬영시 흡수선량과 유효선량, 대한구강악안면방사선학회, 2010; 40: 9-14.
- 23) Williams JR, Montgomery A. Measurement of dose in panoramic dental radiology. The Br J Radiol 2000; 73 : 1002-6
- 24) Hayakawa Y, Kobayashi N, Kuroyanagi K, Nishizawa K. Paediatric absorbed doses from rotational panoramic radiography. Dentomaxillofac Radiol 2001; 30 ; 285-92
- 25) 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 2013; 32 ; 229-34
- 26) 최순철, 파노라마방사선촬영기종에 따른 흡수선량 차이, 대한구강악안면방사선학회, 2000; 30: 11-15.
- 27) 전재식, 오희필, 최철규, 오현진, 감마선분광분석 및 열형광검출법에 의한 자연방사선의 선량측정연구, 방사선방어학회, 1985; 10(2): 96-108.

28) Pradhan A S, Lee J I, Kim J L, Recent developments of optically stimulated luminescence materials and techniques for radiation dosimetry and clinical applications, *Journal of Medical Physics*, 2008; 33(3): 85-99.

29) Tapiovaara M, Lakkisto M, Servomaa A, A PC-Based Monte Carlo Program for calculating Patient Doses in Medical X-Ray Examinations, STUK-A139, Helsinki: Radiation and Nuclear Safety Agency, 1997; 28(16): 3-55.

30) Andreo P, Monte Carlo techniques in medical radiation physics, *Physics in Medicine and Biology*, 1991; 36: 861-920.

Abstract

**Pediatric absorbed doses from
rotational panoramic
radiography**

**-comparison of effective dose with PCXMC
and Dosimetric method-**

Bora, Park
School of Dentistry
The Graduate School
Seoul National University

Monte Carlo method and phantoms measurements are essential methods to estimate effective dose in rotational panoramic radiography. We compared effective doses determined using the PCXMC software with TLD phantom measurements of 5years old pediatric anthropomorphic phantom. Monte-Carlo calculation by changing the input items were investigated the effects of the effective dose.

TLD chips were calibrated, annealed and then placed in slot of phantom. The charge read out from TLD chips and converted to organ doses from which and effective dose was calculated. This value was compared to than obtained from PCXMC by using the same exposure and patient parameter.

Panoramic radiography result of effective doses measured by the TLD had a $4.647\mu\text{S}$ effective dose of thyroid gland, showed the highest effective dose values. Effective Dose measurement with PCXMC had a $4.657\mu\text{S}$, showed the highest effective dose values in the marrow. In addition, regression analysis, and the Zref Oblique angle of the entry of PCXMC had a correlation between the effective dose and statistically significant negative, X-ray tube voltage, Filtration, FRD. Xref had a significant positive correlation.

keywords : TLD, PCXMC, dosimetry, panoramic radiography, effective dose

Student Number : 2011-22442