

X-선 장치의 기술적 인자의 변화에 따른 선량 비교 평가

한동균¹ · 고신관¹ · 선종률² · 윤석환³ · 정재은⁴

¹을지대학교 보건과학대학 방사선학과 · ²대전보건대학 방사선과 · ³동남보건대학 방사선과 ·
⁴남부대학교 디지털경영정보학과

A Comparison of Dose in Changed Technique Factor Using X-ray Imaging System

Dong Kyoon Han¹ · Shin Gwan Ko¹ · Jong Ryul Seon² · Seok Hwan Yoon³ · Jae Eun Jung⁴

¹Department of Radilogical Science, Eulji University ·

²Department of Radiological Technology, Daejeon Health Science College ·

³Department of Radiological Technology, Dongnam Health Science College ·

⁴Department of Digital Management and Information, Nambu University

Abstract

With the recent development of diagnosis using radiation and increasing demand of the medical treatment, we need to minimize radiation exposure dose. So, This is the method which reduce patient dose by measuring surface dose of radiographic change factor and by comparing theoretical and actual dose, when we take an X-ray which is generally used. By changing the factor of kV, mAs, FSD, whose range is 60 to 120 kV, 20 to 100 mAs, 80 to 180 cm, we compared theoretical surface dose with actual surface dose calculated by the simple calculation program, Bit system, and NDD-M method As a result, when kV and mAs were higher, theoretical surface dose and actual surface dose were more increased. but the higher FSD was, the more decreased surface dose was. According to this, the error were measured about 0.1 to 0.2 mGy in low dose part and about 0.7 to 1.5 mGy in high dose part. Therefore, this shows that theoretical surface dose calculation method is more correct in low dose part than in high dose part. In conclusion, we will have to make constant efforts which can reduce patient and radiographer's exposure dose, studying methods which can predict patient's radiation exposure dose more exactly.

Key Words : Radiation exposure dose, Bit system, NDD-M method

I. 서론

이 논문은 2009년 9월 1일 접수하여 2009년 10월 30일 채택되었음.

Corresponding Author: 고신관

(461-713) 경기도 성남시 수정구 양지동 212번지

을지대학교 보건과학대학 방사선학과

Tel: 031)740-7245 Fax: 031)740-7351

E-mail: sgko@eulji.ac.kr

최근 의학 및 의용공학의 발전으로 방사선을 이용한 진단 기술의 발전과 건강에 대한 국민의 의료욕구가 증가함에 따라 건강검진 등 환자의 진료나 예방 뿐 아니라 병변의 조기 발견을 위해 진단방사선 검사횟수의 증

가로 인한 피폭 또한 증가되는 추세이다¹⁾. 따라서 의료기관에서 방사선을 이용한 방사선검사의 연평균 증가율은 8.5%로 나타나고 있으며²⁾ 이에 피검자에 대한 방사선피폭선량을 최소화하고 최적화하는 중요성이 더욱 대두되고 있다.

따라서 의료피폭이나 장치의 안전관리에 대한 관심이 증가됨에 따라 국제방사선방어 위원회(ICRP)에서는 선량제한을 체계화시킬 것을 권고하고 있으며 방사선 방호의 정당화와 피폭의 최적화에 관한 권고치를 제시하고 있으며, 국내에서도 진단방사선 발생장치의 안전관리법을 제정하고 있다³⁾. 인간이 받는 방사선의 양은 순수한 자연방사선에 비하여 인공방사선원에 의한 방사선 피폭이 급격히 증가하고 있는 현실에 비추어 방사선 피폭의 정당성을 최우선으로 하는 의료피폭은 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 피폭선량의 측정은 실제 피폭된 부위 전체에 대한 적분선량으로 측정되어야 하지만, 장기 또는 X선이 입사되는 면의 피부선량을 이용하여 측정하고 있다. 이러한 적분선량의 측정이 현실적으로 어려우므로 표면선량을 측정하여 기술적인 인자를 일정한 공식에 대입하여 선량을 계산하는 방법도 이용되고 있다.

이에 본 연구는 기술적인 인자인 관전압과 관전류, 거리의 변화에 따른 선량을 표면선량을 측정하고 이와 함께 이론적인 선량계산 방법을 이용하여 선량을 산출하여 실제선량과 비교 평가하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험장치 및 도구

X선 발생장치는 Hitachi사의 RH-6FC31A(focus: 1.2/0.6 mm, 3Phase)와 Shimadzu사의 P164DK-85(focus: 1.2/0.6 mm, 3Phase)를 사용하였다.

표면선량을 측정하기 위하여 PTW Freiburg사의 ionization chamber(Mod. 77335, 측정선량범위: 3mR-66 R)와 electrometer(Mod.Unidose E-PTW)를 사용하였고, 거리측정을 위해서 acryl phantom(30×30×1 cm, 최대 10 개)을 사용하였다.

2. 실험방법

기술적인 인자(kV, mAs, FSD)의 변화에 따른 표면선량의 수치를 ionization chamber를 이용하여 측정하였으며, 이 실험 데이터를 기초로 하여 실제 임상에서 사용

하는 부위별 조건에 따라 acryl phantom을 이용하여 각각의 표면선량을 측정하였다. 각각의 내용은 다음과 같다(Fig. 1).

1) kV 변화에 따른 표면선량 측정

SSD는 110 cm, chamber에서 표면까지의 거리는 Hidachi사와 Shimadzu사의 두 장치 모두 선행실험결과에 따라 10 cm로 하여 최대한 후방 산란선에 의한 증감이 없도록 하여 측정하였으며 그 측정치를 bit법과 NDD-M법을 이용하여 비교하였다. 이때, 조사야는 20×20 cm, 관전류는 20 mAs로 고정하였고, 60~120 kV범위에서 10 kV씩 변화를 주어 3회에 걸쳐 선량을 측정하였다.

2) mAs 변화에 따른 표면선량 측정

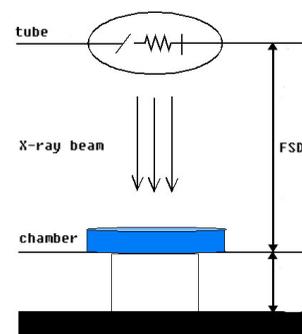
20~100 mAs 범위 내에서 10 mAs씩의 변화를 주어 측정하였으며, 관전압은 80 kV로 고정하였다. mAs값의 조정은 mA를 고정한 후, 조사시간을 변화시켜 조정하였으며, 그 외의 조건은 앞의 실험과 동일하게 하여 측정 하였다.

3) FSD 변화에 의한 표면선량 측정

관전압은 80 kV, 관전류는 20 mAs로 고정한 후 FSD(X-ray tube 에서 chamber까지의 거리)를 임상에서 주로 사용하는 거리인 80 cm에서 180 cm범위 내에서 20 cm씩 변화를 주어 측정하였다. 총 3회씩에 걸쳐 측정하였으며, 평균값을 구하여 이론선량치와 비교하였다.

4) Phantom을 이용한 부위별 조건에 따른 표면선량 측정

임상 영상검사와 동일한 조건을 설정하여 조사하였으며, 촬영거리(FSD)는 임상조건과 동일한 거리에서 검사종류별 3회씩 조사하여 평균선량을 구하였다(Fig. 1).



BSD(back scattering distance) 10 cm

Fig. 1. Surface dose measurement

3. 평가방법

위 실험방법에 따라 각각의 조건 변화에 따른 실제 표면선량과 이론적인 방법(bit system법, NDD-M법)으로 얻은 이론선량의 수치를 비교하여 분석하였다.

1) NDD-M법의 평가

NDD-M 표면선량 환산법⁴⁾은 환자의 표면 입사 선량을 추정하기 위해서 입사 선량을 좌우하는 여러 인자(관전압, 관전류, 필터, 거리, 장치 등)에 대해 일정한 값으로 여러 촬영 인자들을 정규화, 계수화 하여 표면 선량 환산식을 추정한 방법이다.

촬영조건을 바탕으로 처음 일본인 모리츠요시언⁵⁾에 의해 개발되어져 다시 사토에 의해 개량된 Non Dosimeter Dosimetry-M(NDD-M) 환산 프로그램은 다음 식과 같다⁶⁾.

$$D = NDD-M(f) \times mAs \times (1/FSD)^2$$

D : entrance surface dose(mGy)

NDD-M(f) : NDD-M factor

mAs : mA×second

FSD : film-to-skin distance(cm)

NDD법은 Brich가 발표한 30~150 kV 사이의 관전압, 필터의 두께, 타겟 각도 등에 따라 선질을 계산하는 이론적 방법에 기초를 두고 개발된 방법으로서 NDD-M factor는 필터의 두께 1.5~9.0 mmAl, 40~150 kV 사이의 관전압에 대하여 정류방식에 따라서 구할 수 있다(Table 1).

Table 1. NDD-M factor according to the kV and filter thickness(3Phase device)

mmAl kV	1.5	2.0	2.5	3.0
60	0.0580	0.0450	0.0363	0.0302
70	0.0764	0.0610	0.0506	0.0430
80	0.0970	0.0798	0.0677	0.0586
90	0.1174	0.0986	0.0849	0.0746
100	0.1383	0.1180	0.1031	0.0916
110	0.1587	0.1373	0.1214	0.1088
120	0.1784	0.1565	0.1397	0.1263

Table 2. Bit value according to skin dose

skin dose (mR)=Bit	skin dose (mR)=Bit	skin dose (mR)=Bit	skin dose (mR)=Bit
10.5R=46.4	1.7R=43.8	280mR=41.2	45mR=38.6
9.0R=46.2	1.5R=43.6	240mR=41.0	40mR=38.4
7.8R=46.0	1.3R=43.4	210mR=40.8	35mR=38.2
6.8R=45.8	1.1R=43.2	182mR=40.6	30mR=38.0
5.9R=45.6	960mR=43.0	160mR=40.4	26mR=37.8
5.2R=45.4	840mR=42.8	140mR=40.2	23mR=37.6
4.5R=45.2	730mR=42.6	120mR=40.0	20mR=37.4
3.9R=45.0	640mR=42.4	105mR=39.8	18mR=37.2
3.4R=44.8	560mR=42.2	92mR=39.6	15mR=37.0
3.0R=44.6	185mR=42.0	80mR=39.4	13mR=36.8
2.6R=44.4	420mR=41.8	70mR=39.2	11mR=36.6
2.3R=44.2	365mR=41.6	60mR=39.0	10mR=36.4
2.0R=44.0	320mR=41.4	52mR=38.8	9mR=36.2

2) Bit-system법의 평가

Bit-system 표면선량 환산법⁷⁾은 Dupont사의 bit system과 NDD(Non Dosimeter Dosimetry)의 한 방법으로서의 bit system이 알려져 있다. Dupont사의 bit system을 기본으로 하여 만들어진 NDD로서의 bit system은 피부선량 계산을 위한 환산표라고 할 수 있다(Table 2). Bit system은 관전압, 관전류, 거리 등의 주어진 bit치를 각기 주어진 표에서 환산하여 합계 bit치를 다시 추정되는 피부선량(mR)치로 환산하여 나타낼 수 있는 방법이다. 비교적 그 방법은 복잡한 편이나 정확도가 높은 편이다.

III. 결과

Ionization chamber를 이용하여 측정된 실측선량을 bit system, NDD-M(f)법을 사용하여 구한 이론선량과 비교하여 보았을 때, 그 오차율은 평균 20%정도로 나타났다. NDD-M(f)법의 오차율이 bit system보다 평균 12%정도 적게 측정되었다. 그 결과는 다음과 같다.

Table 3. Comparison of theoretical and actual surface dose from change of kV

kV	Actual surface dose(mGy)		Theoretical surface dose (mGy)		Error(%) (Hitachi, Shimadzu)	
	Hitachi	Shimadzu	Bit method	NDD-M method	Bit method	NDD-M method
60	0.63	0.59	0.75	0.72	19, 27	14, 22
70	0.90	0.88	1.05	1.01	17, 19	12, 15
80	1.26	1.21	1.504	1.35	19, 24	7, 12
90	1.56	1.5	1.84	1.69	18, 23	8, 13
100	1.94	1.85	2.28	2.06	17, 23	6, 11
110	2.40	2.23	2.81	2.43	17, 26	1, 9
120	2.82	2.62	3.45	2.79	22, 32	1, 7

1. kV의 변화에 의한 실측선량과 이론선량의 비교결과

kV의 변화에 의한 실측선량과 이론선량의 비교에서는 같은 조건하에서 실제 측정된 선량은 이론선량 수치의 이하로 측정되었으며, kV가 증가할수록 실측선량과 이론선량값이 증가함에 따라 그 오차가 점차 증가하였다. 실제측정 선량과 이론선량과의 오차율은 bit system이 17~32%, Shimadzu사의 장치와 19~32% 사이의 전체적으로 고른 오차율이 나타났고 NDD-M법은 고관전압 범위에서는 Hitachi사의 장치와는 1~6%, Shimadzu사의 장치와는 7~11%의 오차율을 보였으며, 저관전압 범위에서는 Hitachi사 장치와 7~16%, Shimadzu사 장치와 12~22%의 오차율을 나타냈다. 전체적으로 bit system법이 저관전압 범위에서는 5%, 고관전압 범위에서는 20~30% 정도 NDD-M법 보다 오차율이 높게 나타났다 (Table 3).

2. mAs의 변화에 의한 실측선량과 이론선량의 비교결과

mAs의 변화에 의한 실측선량과 이론선량의 비교 역시 이론선량이 실측선량보다 높게 나타났으며 실측선량과 이론선량 모두 mAs가 20에서 40 mAs로, 40에서 80 mAs로 약 2배의 mAs를 주었을 때, 측정된 선량 또한 2배로 비례적으로 증가하였고, mAs가 증가하는 고선량 부분으로 갈수록 오차가 커짐을 알 수 있었다.

Table 4. Comparison of theoretical and actual surface dose from change of mAs

mAs	Actual surface dose(mGy)		Theoretical surface dose (mGy)		Error(%) (Hitachi, Shimadzu)	
	Hitachi	Shimadzu	Bit method	NDD-M method	Bit method	NDD-M method
20	1.26	1.21	1.5	1.35	19, 23	7, 11
32	2.18	1.78	2.46	2.16	12, 38	1, 21
40	2.7	2.35	3.01	2.7	11, 28	0, 14
50	3.32	3.07	3.69	3.38	11, 20	1.8, 10
63	4.16	3.81	4.92	4.26	18, 29	2, 11
80	5.16	4.6	6.02	5.41	16, 30	4.8, 17
100	6.44	5.7	7.39	6.77	14, 29	5, 18

오차율의 비교에서는 실측선량이 이론선량의 수치보다 Hitachi사 장치의 경우 bit system 법과는 11~19%, NDD-M법과는 0~7%의 오차율을 나타내었고, Shimadzu사 장치의 경우 bit system법과는 20~38%, NDD-M법과는 10~21%의 오차율이 나타났다. 전체적으로 bit system법이 NDD-M법보다 9~8%정도 오차율이 높게 나타났다 (Table 4).

3. FSD의 변화에 의한 실측선량과 이론선량의 비교결과

FSD의 변화에 의한 실측선량과 이론선량의 비교에서는 이론선량이 실측선량보다 높은 값을 나타내었고, 선량은 FSD에 반비례하여 FSD가 커질수록 이론선량과 실측선량 모두 감소하였다. 또한 선량이 감소함에 따라 그 오차도 작아짐을 보였다. 오차율은 FSD가 180 cm인 경우에는 Hitachi사 장치의 경우 실측선량과 bit system법은 2%, NDD-M법은 6%를 나타냈으며, Shimadzu사 장치의 경우 bit system법과는 21%, NDD-M법과는 10%로 나타났다. 그리고 비교적 짧은 거리인 80 cm 거리에서는 Hitachi사 장치의 경우 bit system법과는 24%, NDD-M법의 경우 6%의 오차율을, Shimadzu사 장치의 경우 bit system법과는 36%, NDD-M법과는 17%의 오차율이 나타났다. 전체적으로 bit system법이 NDD-M법보다 오차율이 약 10%정도 높게 나타났다 (Table 5).

Table 5. Comparison of theoretical and actual surface dose from change of FSD

FSD (cm)	Actual surface dose(mGy)		Theoretical surface dose (mGy)		Error(%) (Hitachi, Shimadzu)	
	Hitachi	Shimadzu	Bit method	NDD-M method	Bit method	NDD-M method
80	1.98	1.8	2.46	2.11	24, 36	6, 17
100	1.26	1.21	1.55	1.35	23, 28	7, 11
120	0.97	0.92	1.06	0.94	9, 15	3, 2
140	0.7	0.78	0.81	0.69	13, 3	1, 11
160	0.55	0.53	0.62	0.53	11, 16	3, 0
180	0.45	0.38	0.46	0.42	2, 21	6, 10

4. 부위별 조건에 따른 실측선량과 이론선량의 비교결과

부위별 조건에 따른 실측선량과 이론선량의 비교에서는 실제 임상에서 사용하는 촬영부위별 조건하에서 실측선량은 이론선량 수치 이하의 값이 나타났다(Table 6).

Table 6. Comparison of theoretical and actual surface dose from condition of each region

	Parameter					Surface dose (mGy)		
	FFD	SFD	FSD	kV	mAs	actual dose	Bit	NDD-M
Skull AP	100	20	80	70	32	2.17	2.27	2.53
Chest PA	180	20	160	125	4	0.22	0.3	0.31
Chest (Infant)	100	10	90	77	6.4	0.48	0.56	0.6
Pelvis	100	20	80	75	32	2.61	3.22	2.94
Shoulder AP	100	15	85	66	12.5	0.65	0.81	0.73
Knee AP	100	15	85	60	6.4	0.28	0.34	0.29
Wrist	100	5	95	52	5	0.12	0.17	0.15

IV. 고찰

의료용 방사선은 오래전부터 인간의 질병을 진단 및 치료하는데 있어서 의학적인 측면에서나 경제적인 측면에서 가장 효과적이고도 유익하다는 것은 잘 알려진 사실이며 전 세계적으로 의료방사선의 올바른 사용을 위하여 세계보건기구(WHO) 및 국제원자력기구가 주관하여 각국의 이 분야 관련전문가들로 하여금(IAEA) 국제적인 지침서를 만들어 이를 각국에서 사용하도록 적극 권고하고 있으며 각국은 자국의 실정에 맞게 이를 적용하고 있다. 환자피폭선량에 대한 기준선량을 영상의 질을 유지한다는 조건에서 안전표준을 정하도록 권고되고 있다⁴⁾. 본 연구에서 환자표면입사선량을 계산하기 위해 사용한 NDD법은 Birch가⁸⁾ 발표한 30~150 kV의 관전압, 필터의 두께, 타깃 각도 등에 따라 선질을 계산하는 이론적 방법에 기초를 두고 일본 이바라기현의 방사선기사회에 의해 개발된 방법으로서 NDD-M factor는 필터의 두께가 1.5~9.0 mmAl, 40~150 kV 사이의 관전압에 대해 정류방식이 단상, 삼상, 인버터인가에 따라 구해지며, 실험에서 ionization chamber에 의해 실제 측정된 값과 어느 정도는 일치 하는 수치를 나타내었다.

피폭으로 나타나는 인체의 여러 현상들 중 피부의 변화 정도로 그 피폭선량의 양을 가늠할 수 있는 경우가 많아 표면선량의 측정은 실제 피폭량과 측정된 피폭량의 관계를 나타내어 주는 지표라 할 수 있을 것이다. 정확한 표면선량의 측정은 감약을 고려한 계산법으로 심부선량을 유도해 내는 자료로도 사용되고 있다⁹⁾. 따라서 현재 사용되고 있는 NDD법과 bit system법 등의 방법 이외에도 더욱 정확하게 환자피폭선량을 예측할 수 있는 방법을 연구, 보완하여 환자의 의료피폭과 방사선 관계 종사자의 직업피폭을 줄일 수 있도록 하여야 할 것이다. 또한 방사선 관계법규에 적합한 시설의 완비, 철저한 방사선발생장치 및 관련기기 등의 성능관리, 고감도 방사선촬영기구의 사용, 철저한 피폭선량 관리, 적절한 방사선 방어용구의 사용, 방사선안전관리에 대한 철저한 교육, 재촬영 감소를 위한 노력 등의 여러 가지의 노력 또한 필요하다. 그러나 무엇보다도 중요한 것은 최소한 방사선사의 윤리강령에 “방사선사는 방사선 관리의 적정을 기하여 환자에 대한 피폭선량 경감을 위하여 노력하여야 한다.”는 내용의 실천을 위해서라도 국민과 자신의 건강을 위하여 적절한 방사선의 사용과

최소의 피폭을 위한 과학적인 접근 방법, 방사선 업무에 종사하는 각 개인이 방사선 피폭을 경감하려는 노력과 의지가 필요할 것이다.

V. 결론

본 연구에서는 후방산란은 표면에서부터 ionization chamber까지의 거리가 10 cm 이상부터 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 따라서 조건별 변화에 따른 표면선량 측정 실험에서는 후방산란거리(BSD: back scattering distance)를 10 cm로 고정하였다.

kV 변화에 따른 표면선량 비교 분석에서는 kV의 증가에 따라 이론치와 실측치 모두 증가하였고 그에 따라 오차가 커짐을 알 수 있었다. 이론적 계산방법인 bit system과 NDD-M법의 비교 시 전체적으로 bit system법이 저관전압 범위에서는 5%, 고관전압 범위에서는 20~30%정도 NDD-M법보다 오차율이 높게 나타났다. 따라서 NDD-M법의 사용이 bit system보다 더욱 정확하다는 것을 알 수 있었다.

mAs 변화에 따른 표면선량 비교 분석에서는 mAs를 2배로 높이면 실측선량과 이론선량 모두 2배로 증가하여 mAs에 의한 표면선량은 비례적으로 증가함을 알 수 있었다. 이런 비례적인 증가는 측정치뿐만 아니라 이론선량에서도 나타나고 있었으며, 표면선량이 증가함에 따라 실측선량과 이론선량 모두 오차가 커짐을 알 수 있었다. 실측선량과의 오차율 비교에서는 bit system보다 NDD-M법이 약 15%정도 오차율이 적게 나타나 NDD-M법이 보다 정확하다는 것을 알 수 있었다.

FSD의 변화에 따른 표면선량 비교 분석에서는 FSD가 작아질수록 이론선량과 실측선량 모두 지수함수적으로 증가하였고 FSD가 큰 저선량 부분으로 가면서 오차가 작아짐을 알 수 있었다. 따라서 FSD가 작을 때 보다는 클 때 더욱 정확함을 알 수 있었다. 오차율 비교 시 160 cm 이상의 먼 거리에서는 bit system은 10% 내외, NDD-M법은 3% 내외인 반면 FSD가 작아질수록 그 오차율이 bit system은 36%, NDD-M법은 17%까지 나타나 역시 FSD가 작을 때 보다는 클 때의 정확성이 더욱 높은 것으로 나타났다.

임상에서 실제 사용하는 각 촬영부위 조건별로 실측 표면선량과 이론선량을 비교한 결과, 전체적으로 이론선량과 실측선량과의 오차율이 약 11%~35% 내외로 나타났다, 유아흉부촬영에서와 같은 고선량 부위에서는

약 35%까지도 오차율이 나타나는 반면, knee AP 촬영에서와 같이 선량이 작게 나타나는 부위는 약 10%가량의 적은 오차율을 보였다.

본 연구에서 환자표면선량을 계산하기 위해 사용한 bit법과 NDD법은 관전압과, 필터의 두께, X선 발생장치의 출력 등에 따라 선량을 계산하는 이론적 방법에 기초를 두고 실제측정선량과의 비교를 통하여 얼마나 측정오류가 있는지를 분석하여 어느 방법이 실제측정값에 더 가까운지를 알아보려고 하였으며 그 결과로 이론적인 방법으로 측정한 선량이 실제 측정선량값보다 높은 수치를 보였고, 이는 실제 측정에서 선량 감약이 될 수 있는 다른 요인들에 의한 영향을 무시한 이론적인 측정방법이기 때문이라고 생각된다.

이론적인 선량측정방법인 NDD-M법과 bit system법으로 구한 선량값과 실측선량값과의 오차율은 모든 실험에서 NDD-M법이 적게 나타났으며 그 오차율은 평균적으로 NDD-M법이 7.36%, bit system법이 17.43%로 나타나 NDD-M법의 이용이 더욱 정확한 방법임을 알 수 있었다. 또한 실제 측정된 값과 이론적으로 계산한 값 모두 선량이 증가할수록 오차가 커짐을 알 수 있었다. 저선량 범위에서는 이론선량과 실측선량의 오차가 0.1~0.2 mGy 정도의 미세한 차이를 보이는 반면, 표면선량이 증가함에 따라 그 오차가 약 0.7~1.5 mGy 이상으로 증가함을 나타냈다. 이를 통해 이론적인 계산방법을 이용할 시에는 비교적 저선량 부분에서의 사용이 보다 정확한 선량값을 산출하는데 도움이 될 것이라 사료된다.

참고문헌

1. 김순자: 병원근무 방사선사들의 방사선 안전관리에 관한 의식 및 행태조사, 석사학위논문, 12, 1992.
2. 여영복: 방사선검사의 추세변동에 관한 연구, 석사학위논문, 1-3, 1995.
3. 김유현: X선 진단에 있어서의 심부선량 분포의 측정, 대한방사선 기술학회지, 18(1), 55-62, 1995.
4. 이영배: 일반 X선 촬영영역에서 환자 피폭선량측정에 관한 조사 및 분석연구, 석사학위논문, 23-27, 2005.
5. 모리츠요시연 외: X선 진단 촬영 조건에 근거하는 방사선 노출선량과 우리나라의 가이드선 레벨의 제안, 일본 방사선의학회, 60, 389-395, 2000.

6. IPSM: National protocol for patient dose measurement in diagnostic radiology. NRPB, 110-113, 1992.
7. 허준 외: 방사선 화상 정보학, 신광 출판사, 131-135, 2000.
8. Suzuki S, Suhama C, Tanimoto K, et al; Patient exposure doses from medical x-ray examinations in Japan. First Korea-Japan joint conference for radiological technologist, 84, 2004.
9. 임봉식: 방사선 관련종사자들의 개인피폭선량 실태에 관한 연구, 석사학위논문, 3-4, 2005.