

X線撮影時 軟部組織 두께에 따른 線量分布에 관한 研究

東南保健專門大學 放射線科

朴 成 玉

Abstract

A Study on the Distribution of X-ray according to the Thickness of Soft Tissue in Radiography

Soung Ock Park

Dept. of Radiotechnology, Dong Nam Health Junior College, Kyung Ki-Do, Korea

When X-rays were projected into a patient, there occurred the phenomena such as penetration, absorption and scattering etc. The penetrating rays were recorded on films as X-ray image used for diagnosis but scattered rays caused the radiation hazard both to the patient, specialist and technicians.

The soft tissue includes many organs which are sensitive to the radiation and in may occupy 40~50% of body weight. Therefore X-rays should be carefully projected to the patient and it is strongly recommended to analyse the distribution of X-rays, when ever the patient is exposed to X-rays.

In this study, the distribution of X-ray according to the thickness, the radiation field and the tube voltages(kVp) in soft tissue, the following results were obtained :

1. Total transmitted rays which kept the step with X-ray tube voltage(kVp) increased in proportion to the increasing of X-ray tube voltage.
2. The scattered ray rate in the total transmitted ray was not significantly found with X-ray tube voltage.
3. The affecting factors of the scattered ray rate in total transmitted ray were shown through the radiation field and the thickness.
4. The dose of scattered ray by the angle was observed more in direction of primary ray(0°) and back scattering(160°) than in direction of 90°.
5. The more the distance from phantom to the patient should be less distribution of scattered ray.

I. 서 론

1895년 11월 Wilhelm C. Roentgen에 의하여 X선이 발견된 후 방사선은 의학, 이학 및 공학 등의 많은 분야에서 이용 발전되고 있다. 방사선을 이용한 인체진단 기술에서 그 기술의 개발, 장비의 첨단화 등으로 인하여 특수검사를 이용한 인체진단이 시행되고 있고 컴퓨터를 이용한 각종 진단이 시도되고 있다. 이에 따라 방사선에 의한 인체 장애도 심각하게 연구되고 있으며, 이온화 방사선에 대하여 공중보건학적 측면에서도 그 관리가 중요하게 다루어지고 있다. 인체가 자연환경 내에서 받고 있는 방사선의 X선촬영 진단에서의 피폭을 다루어 방사선 공해(radiation pollution)로까지 대두되었다.^{1,2)}

방사선이 환자에게 조사되면 인체 내에서 흡수, 투과 그리고 산란현상이 발생되며 투과한 X선은 필름에 영상을 만들고 에너지가 낮은 1차선이나 산란선은 체내에서 흡수되어 방사선 피폭을 증가시켜 방사선 장애유발의 원인이 되고 있다.³⁻⁵⁾ 반면에 에너지가 강한 산란선은 영상의 질을 저하시키고 주위사람에게도 방사선 피폭의 주요 원인이 되고 있다. X선에너지에 따라 환자의 체내에서 발생하는 산란선의 에너지가 다르게 되고 산란선의 발생량도 1차 X선의 진행방향을 중심으로 각도별로 그 분포가 다르다. 따라서 위장관 특수 촬영검사나 방사선 촬영 진단실에서 간단한 수술을 동반하여 시행하는 심혈관계통의 조영촬영과 같은 특수한 검사에 있어서 체내에서 발생하는 산란선의 분포를 사전에 알고 실시한다면, 방사선 피폭을 방어하는데 더욱 수월할 것이다. 보통 인체에 방사선이 조사되면 체내에서 산란선 및 2차 고유선이 발생되어 인체조직을 구성하고 있는 원자를 직접 또는 간접적으로 이온화(ionization) 시켜, 그 작용으로 여러 가지 생물학적 반응을 나타내는 것을 방사선 장애^{6,6,11,12)}라 한다.

방사선 장애의 예는 1896년 방사선으로 인한 피부염 및 탈모증이 보고되기 시작했고, 1911년부터 1914년까지 방사선에 의한 암이 189건으로 확인 보고된 바 있다.³⁾ 방사선 장애의 일부로 탈모, 홍반, 수포 발생과 궤사, 구토와 설사 등의 장애와 돌연변이 그리고 암 발생 등의 장애를 들 수 있다.

방사선 장애의 발견과 함께 이에 대한 방어대책에 관해 1915년 영국에서 모임이 시작되었고, 그 후

1928년 국제방사선단위위원회(I.C.R.U.), 국제방사선방어위원회(I.C.R.P.)가 창립되었다.

이로 인하여 방사선 장애에 관한 연구가 계속되고 있으며 급단성적 장애의 정도를 알게 되었다.^{3,13)} X선촬영 진단에서 그 피폭을 감소시키려는 대책은 여러 방면으로 진행되고 있고, 장비성능의 향상, 촬영진단 기술의 개발 또는 기타 영상처리 기술의 향상을 초래하였으며, 이에 대한 계속적인 노력이 요구되고 있다. 방사선 방어를 위한 차폐물질에 대한 연구로 연판(lead plate), 벽돌 등을 이용하여 발생하는 산란선을 측정하였고^{14,15)} 환자의 촬영부위에서 발생하는 산란선을 방어하여 영상의 질을 향상 시키려는 연구도 시행된 바 있다.¹⁶⁾ 또한 방사선 촬영진단에 고감도(高感度) 감광재료와 고관전압의 사용 그리고 조사면적의 조절을 통하여 환자의 피폭선량 감감에 대한 연구가 林¹⁷⁾에 의하여 시행된 바 있다. X선관에서 방출되는 방사선을 여과하여 환자의 체내에서 발생하는 산란선을 경감시켜 피폭을 줄이는 방법도 연구되었다.¹⁸⁾ 특히 복부 촬영진단에서 산란선을 감소시키는 방법과 X선 촬영조건을 변화시켜 발생하는 산란선량을 비교 검토한 바 있다.^{18,19)} 이와같이 방사선이 인체에 조사되면 물리적 현상으로 발생하는 산란선에 의한 영상의 질적저하를 방지하고, 방사선에 의한 피폭선량을 감소하기 위한 실험연구는 많이 진행되고 있으나, 특히 방사선에 대한 감수성이 높은 조직을 포함하고 체중의 40~50%를 차지하고²⁰⁾ 있는 연부조직에서 X선 조사면적과 두께에 따라 발생하는 선량분포와 각도별 선량분포에 대한 연구는 없었으므로, 본 실험에서 얻어진 선량분포에 관한 정보는 방사선 촬영진단시 피폭선량 감소에 중요한 자료가 될 것이다.

선량분포를 정확하게 분석하기 위하여 다음과 같은 연구목적을 설정하였다.

1. X선관전압(kVp)별로 투과선량(Ip)을 측정한다.
2. X선관전압별로 팬텀(phantom) 두께와 조사면적 크기에 따라 발생하는 산란선량(Is)을 측정하여 두께별, 조사면적별로 산란선 함유율(Is/Ip+Is)을 파악한다.
3. 팬텀에서 발생하는 산란선량을 각도별로 그 분포를 측정한다.
4. 팬텀에서 발생한 산란선이 거리에 따라 변화되는 현상을 분석한다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

- 1) X선 발생장치 : Shimadzu 300 mA, 150 kVp
- 2) 팬텀(water phantom) : 두께 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 높이 35cm
- 3) X선 측정기 : Survey meter, Victoreen model 470
- 4) 연판(鉛版) :
 - ① 크기 : 30 cm×30 cm, 두께 3 mm
 - ② 직경 : 5 cm, 두께 3 mm

2. 연구방법

- 1) 관전압(kVp)별 팬텀두께에 따른 투과선량(Ip) 측정 실험
비교적 환자 진단에 많이 이용되고 있는 관전압(kVp) 50, 60, 70, 80, 90에서 팬텀의 두께를 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm로 변화시켜 각 각에서의 투과선량을 측정하였다. Fig. 1에서와 같

이 X선과의 초점(focus)에서 팬텀을 30 cm의 거리에 놓고 survey meter는 보통 촬영거리인 100 cm의 거리에 놓고 측정하였다. 이때 survey meter의 조사면적은 5 cm×5 cm의 좁은 조사면적을 사용하였다.

2) 산란선 발생량(Is) 측정

각 X선관 전압에서 X선 조사면적을 10 cm×10 cm, 20 cm×20 cm, 30 cm×30 cm로 하여 팬텀 두께별로 산란선 발생량을 측정하였다. Fig. 2와 같이 팬텀 전면(前面)에 직경 5 cm, 두께 3 mm의 연판(鉛版)을 부착하여 투과선을 흡수시키고 팬텀 내에서 발생된 산란선만 측정하였다. 이때 X선관 초점과 survey meter간 거리는 100 cm이다.

3) 각도별 산란선 분포 측정

X선 촬영진단에서 환자 주위에 대한 산란선량의 분포를 알기 위하여 직경 10 cm, 높이 35 cm의 팬텀에서 Fig. 3과 같이 투과중심 X선(center ray)을 0°로 하여 160°까지 측정하였다. 팬텀에서 발생되는 산란선만 측정하기 위해 survey meter는 팬텀 표면에서 50 cm의 거리에 놓았으며, X선관과 측정기 사

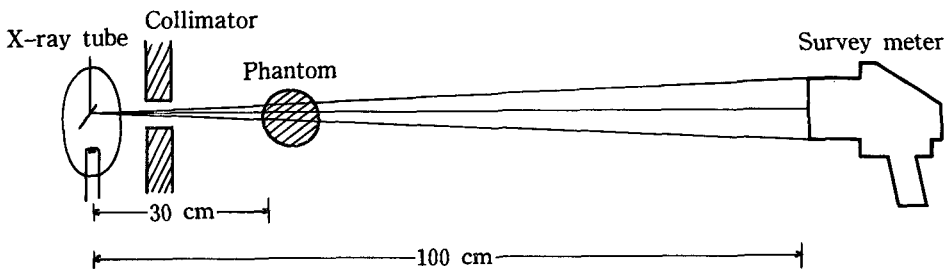


Fig. 1. Schematic illustration on measurement of primary transmitted ray

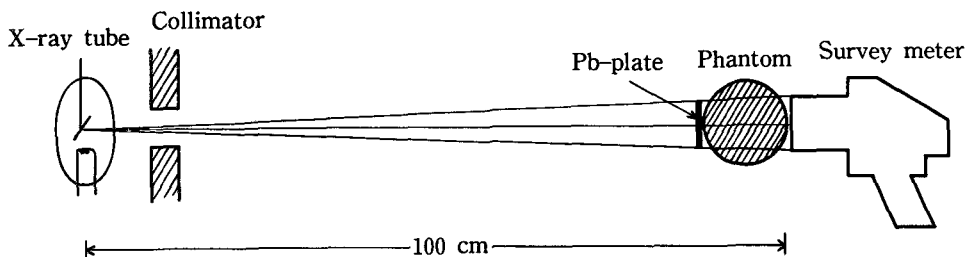


Fig. 2. Schematic illustration on measurement of scattered ray

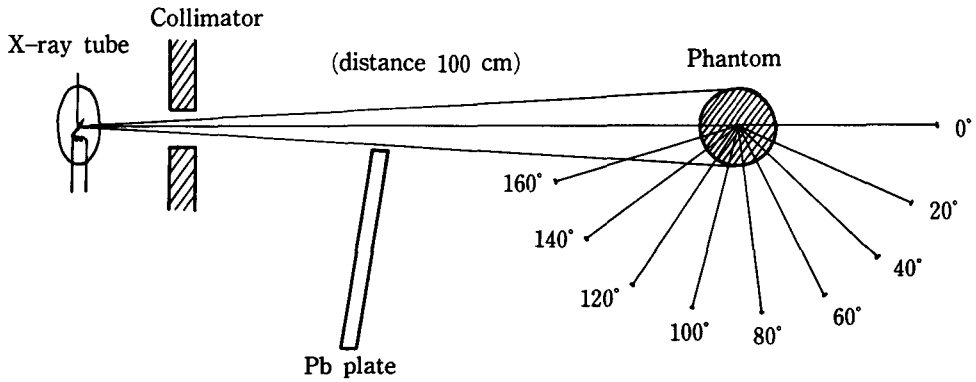


Fig. 3. Schematic illustration on measurement of scattered ray by angle

이에 30 cm×30 cm 크기, 3 mm 두께의 연판을 놓았다.

4) 거리변화에 따른 산란선량 분포 측정

팬텀에서 발생된 산란선량의 거리에 따른 분포상태를 알기 위하여 Fig. 4와 같이 투과선 진행방향과 전혀 영향을 받지 않는 방향으로 거리를 2 cm씩 증가시키며 40 cm까지 측정하였다. 이때 X선 조사면적은 20×20 cm로 하였으며 관전압은 70 kVp로 하였다.

3. 자료분석

수집된 자료는 모두 부호화 하여 전산처리하였다. 여러 독립변수들과 산란선량과의 관련성을 알기 위하여 2단계에 걸쳐 분석하였다.

첫 단계는 단일변량 분석으로서 각 독립변수들과

종속변수 간의 관계를 가설 검정하기 위하여 독립변수가 명목변수일 때는 분산분석 방법으로, 독립변수가 연속변수일 때에는 상관분석(correlation analysis)으로 변수간의 상관성을 분석하여 통계학적 유의성을 검정하였다.

둘째 단계는 팬텀에서 발생하는 산란선에 영향을 미치는 변수들의 효과를 측정하기 위하여 다변량 분석으로 단계별 다변수 회귀분석(stepwise multiple regression)을 하였다. 또 측정거리와 측정각도에 따른 선량과의 관계는 단순 회귀분석(simple regression)을 이용하여 분석하였다. 단순 회귀분석 $y = a_0 + a_1x_1$ 의 모형으로 사용하고 필요에 따라 다변수 회귀분석은 $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$ 의 모형을 사용하였다²¹⁾(y : 종속변수인 산란선량, a_1 : 상수, x_1 : 독립변수). 위의 모형은 SPSS(Statistical Package for the Social Science)를 사용하여 결정계수를 구하였다. 즉 각 실험에 대한 분석은 아래와

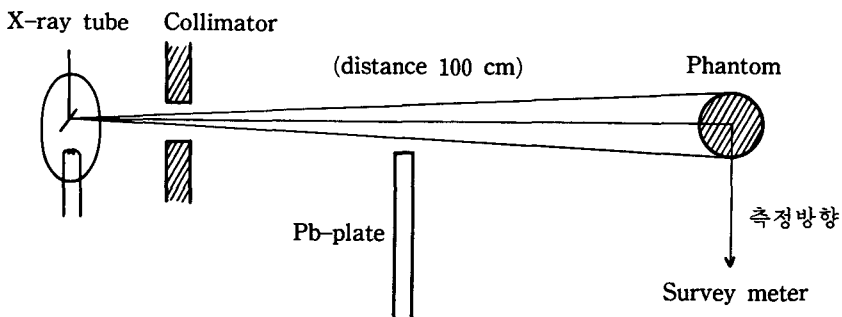


Fig. 4. Schematic illustration on measurement of scattered ray by distance

다.

1. 관전압(kVp)별 산란선 함유율은 분산분석을 하여 관전압별 각 팬텀두께에서의 산란선 함유율의 관계를 분석하였다.
2. 팬텀의 두께와 조사면적(radiation field)과의 관계에서 산란선 함유율의 분석은 상관계수(correlation coefficient)로 분석하였고 팬텀 두께와 조사면적과의 관계에서 회귀분석을 통해 직선회귀 방정식을 유도하였다.
3. 팬텀에서 발생하는 각도별(角度別) 산란선량의 분포는 분산분석을 하였다.
4. 거리에 따른 산란선량의 변화는 분산분석을 하였다.

III. 연구결과

1. 관전압(kVp)별 팬텀두께에 따른 1차 투과선량(Ip) 분포

각 관전압에서 두께가 증가할수록 투과선량은 감

소되었으나 일정한 두께에서는 관전압이 증가할수록 투과선량은 증가되었다. 즉 90 kVp의 경우 5 cm 두께에서는 65.67 mR의 투과선량이 측정된 반면, 25 cm의 두께에서는 0.38 mR의 투과선량이 측정되었다(Table 1).

2. 관전압(kVp)과 팬텀두께에서 조사면적별 산란선 발생량(Is) 측정결과

각각의 X선관전압에서 팬텀 두께별 조사면적 간의 산란선 발생량의 분포는 일정한 관전압에서 팬텀의 두께가 증가할수록 측정된 산란선량은 감소되었다(Table 2-1). 또 각 팬텀의 두께에서는 관전압이 증가할수록 산란선 발생량은 증가되었으며 조사면적이 증가할수록 산란선 발생량이 증가되었다(Table 2-2).

또 각 두께와 조사면적에서 관전압의 증가에 따라 총투과선량(Ip+Is)은 증가되었다. 이 총투과선량의 평균값에 대한 차이를 비교하기 위하여 분산분석을 한 결과 50 kVp일 때는 5.01 mR, 90 kVp에서는

Table 1. Distribution of primary transmitted ray

Thickness (cm)	kVp				
	50	60	70	80	90
5	9.533	14.333	23.167	32.033	65.667
10	1.800	3.067	5.090	7.033	13.400
15	0.300	0.597	1.177	1.800	3.800
20	0.100	0.200	0.397	0.593	1.200
25	0.020	0.053	0.100	0.200	0.377

Table 2-1. Distribution of scattered ray by radiation field and phantom thickness

Radiation field (cm×cm)	Phantom thickness(cm)				
	5	10	15	20	25
10×10	17.273	5.893	2.553	0.893	0.333
20×20	24.213	11.326	6.939	2.898	1.773
30×30	27.047	15.623	9.659	4.635	2.318

Table 2-2. Distribution of scattered ray by radiation field and tube voltage

unit : mR

Radiation field (cm×cm)	Tube voltage(kVp)				
	50	60	70	80	90
10×10	1.677	3.155	4.486	6.273	11.355
20×20	2.840	5.053	7.767	11.668	19.816
30×30	3.471	6.160	9.307	14.820	25.526

Table 2-3. Analysis of total transmitted ray by tube voltage

Tube voltage (kVp)	Total transmitted ray (Ip+Is)	F
50	5.01± 6.645	13.049*
60	8.44±10.388	
70	13.33±15.598	
80	19.26±21.310	
90	35.81±41.025	

* P<0.001

35.81 mR으로 관전압(kVp)이 증가할수록 총 투과 선량은 증가하였으며 관전압별로 뚜렷한 차이가 있었다(F=13.049, P<0.001)(Table 2-3).

3. 관전압과 산란선 함유율(Is/Ip+Is)의 분석

각 X선관전압(kVp)에서 발생된 산란선 함유율(Is/Ip+Is) 간에 차이를 분석한 결과 각 관전압은 산란선 함유율에는 크게 작용하지 않았다. 즉 50

kVp에서 71.30%, 90 kVp는 68.25%로 각 관전압 별로 유의한 차이가 없었다(F=0.283, P=0.889).

4. 두께별 조사면적별 산란선 함유율의 측정결과

팬텀의 두께와 조사면적은 산란선 함유율과 정의 상관 관계가 있었다. 즉 팬텀의 두께가 클수록, 조사면적이 클수록 산란선 함유율은 크게 증가한다. 50 kVp의 경우 5 cm 두께에서 조사면적이 10×10 cm일 때 38.76%이지만 같은 조사면적에서 25 cm 두께의 경우 88.89 %의 산란선을 함유하고 있었다(부록 1 참조).

Table 3. Analysis of scattered ray rate contained in total transmitted ray by tube voltage

unit : %

Tube voltage (kVp)	Scatter ray content rate	F (p value)
50	71.30±19.043	0.283 (0.889)
60	71.84±17.082	
70	69.42±17.967	
80	70.25±18.046	
90	68.25±18.551	

Table 4-1은 산란선 함유율에 결정적 역할을 하는 2개 요인(팬텀두께와 조사면적)에 대하여 중회귀 분석(multiple regression)을 한 것이다. 이 결과에 의하여 $Y=2.035x_1+10.490x_2+18.699$ 로 직선 회귀방정식을 유도하였으며 팬텀의 두께(X_1)와 조사면적(X_2)으로 산란선 함유율(Y)을 86.5% 설명할 수 있었다.

산란선 함유율에 영향을 미치는 요인 중에서 유의

Table 4-1. Result of multiple regression on the scattered ray rate contained in total transmitted ray according to the phantom thickness and radiation field

Variables	Regression coefficient	R square
Phantom thickness	2.0354*	0.6398
Radiation field	10.4900*	0.8664
Constant	18.6987	

* P<0.01

adjusted R square=0.8652, overall $F=719.96$ (p=0.000)

Table 4-2. Result of multiple stepwise regression of affecting factors on scattered ray rate included in total transmitted ray

Variables	Regression coefficient	R square
Phantom thickness	1.8539*	0.6398
Radiation field	9.1383*	0.8664
Primary ray	-0.4805*	0.8914
Tube voltage	0.0764*	0.8974
Constants	29.3115*	

* P<0.01

Adjusted R square=0.8951, overall $F=383.17$ (P<0.01)

한 관계를 보인 변수 중 팬텀의 두께, 조사면적, 관전압 그리고 1차 투과선과의 다단계 중회귀분석(multiple stepwise regression)을 하여 산란선 함유율과의 관계를 분석하였다. Table 4-2에서와 같이 산란선 함유율을 유의하게 설명할 수 있는 변수는 팬텀의 두께, 조사면적 그리고 1차 투과선(Ip)이었으며 이 변수들로 산란선 함유율을 89.14% 설명할 수 있었다.

5. 각도별 산란선 발생량의 분포

X선이 투과되는 방향의 중심을 0°로 하여 팬텀에서 발생하는 산란선량의 분포를 각도별로 측정된 결과는 Table 5와 같다. 산란선 발생량은 0°와 160° 방향에서 가장 많았고 60°와 80° 방향에서 감소되었다. 즉 0°의 방향에서 0.527 mR, 20° 방향은 0.503 mR, 40° 방향은 0.390 mR으로 점차 감소되어 80° 방향에서는 0.307 mR으로 가장 적게 발생하였고, 100°에서는 0.393 mR, 140° 방향은 0.517 mR 그리고 160° 방향에서는 0.560 mR으로 다시 증가되어 후방산란도

많았다(부록 2). 각도별 선량의 차이를 다중비교(multiple comparisons; Student-Newmann-Keuls)한 결과 뚜렷한 차이가 있었다($F=54.576$, $P<0.001$).

Table 5. Analysis on scattering ray according to the angle

unit : mR

Angle	Scattering	F
0	0.527	54.576*
20	0.503	
40	0.390	
60	0.320	
80	0.307	
100	0.393	
120	0.420	
140	0.517	
160	0.560	

* P<0.01

6. 피사체(팬텀)로부터 거리에 따른 산란선량의 분포

1차 투과선에 대하여 전혀 영향을 받지 않는 방향에서 거리의 증가에 따른 산란선량의 분포는 역의 상관 관계로 뚜렷한 차이가 있었다. Table 6은 phantom으로부터 거리의 증가에 따른 산란선량의 감소를 분석한 것으로 거리증가에 따른 산란선량의 감소는 유의한 차이가 있었다(부록 3).

Table 6. Analysis on scattered ray according to the distance

unit : mR

Distance (cm)	Scattering ray	F
1~10	3.27±1.747	96.04*
11~20	1.18±0.442	
21~30	0.60±0.242	
30~40	0.33±0.174	

* P<0.001

IV. 고찰

1. 팬텀선정에 관한 고찰

방사선을 이용한 인체실험으로 조직등가물질(組織等價物質)이 사용되며 acryl, aluminum 그리고 물을 비롯하여 gelatin 狀組織 등가물질, plastic상 조직등가물질과 Mix D, 그리고 Mix DP 등의 물질들이 이용되고 있으며 연부조직(soft tissue)에 대한 등가물질로는 X선의 흡수율이 유사한 물 팬텀이 이용되고 있다.²²⁾ Table 7-1에서는 물과 근육의 상대적 흡수치가 같고 Table 7-2에서는 특히 X선 흡수가 투과에 중요한 영향을 미치는 원자번호와 밀도가 같음을 나타내고 있다⁸⁾ 또 그 두께의 선정에서는 인체에서 가장 적은 5 cm 두께부터 정상 성인의 복부 전후(前後) 두께가 속하는 25 cm까지 선정하였다.

2. 실험방법에 대한 고찰

산란선은 X선영상(image)의 질(quality)을 저하

Table 7-1. Comparison of relative absorption rate

Organ	Relative absorption rate
Water	1,000
Fat	533
Muscle	1,000
Heart	1,027
Kidney	1,061
Liver	1,075
Brain	1,075
Spleen	1,118
Bone	5,000

Table 7-2. Comparison of atomic number and density

Organ	Effective atomic number	Density (g/cm ³)
Muscle	7.43	1.0
Skin	7.31	1.1
Fat	5.90	0.94
Bone	14.00	1.9
Water	7.43	1.0
Air	7.64	0.001293

시켜 진단효과를 저해하는 요인이 되므로 X선 필름에 도달되는 산란선을 제거 또는 억제하여 영상의 질을 향상시키기 위한 실험과 연구는 많이 시행된 바 있다. 또한 환자에게 X선을 조사(exposure)했을 때 조사부위에서 발생하는 산란선을 감소시키려는 방법도 다각적으로 이용 연구되고 있다.

본 실험에서는 방사선 진단에 있어 불필요한 방사선피폭이 원인이 되는 산란선의 분포를 알기 위하여 관전압(kVp)별 투과선량의 분포와 환자두께 및 조사면적(radiation field)의 변화에 따른 산란선량을 측정하였다. 또한 투과선량(Ip)과 산란선량(Is)의 관계에서 Is/Ip+Is를 이용하여 산란선 함유율을 산출하였다. 특히 산란선 발생량을 측정할 때에는 1차 선 투과를 완전히 차단하여 순수한 산란선만 계속하였다. 또한 X선촬영실에서 환자와 전문가가 함께 시행되는 특수 촬영진단에서 환자주위의 전문가

(specialist)를 비롯한 기타 관계자의 피폭선량을 감소시키기 위한 대책으로 소홀하게 취급되기 쉬운 방향에서의 선량분포를 알기 위하여, 팬텀두께와 조사면적에 따라서 그 주위(0°~160°)의 선량분포를 각도별로 측정하였다. 이때에는 비교적 방어율이 좋은 3 mm 두께의 30 cm×30 cm 넓이의 납(Pb)版으로 X선관 쪽을 방호하여 계측기(survey meter)에 순수한 산란선만이 측정되도록 하였다. 거리에 따른 선량분포의 실험은 피폭감소의 수단의 하나로 방사선원(source)으로부터 멀리함으로써 피폭을 감소시키는 효과에 관한 것이다. 즉 거리가 먼 곳에 도달되는 선량이나 강도가 약해지기 때문에 피폭량 감소의 수단으로 가능하다.²³⁾ 보통 X선강도와 거리와의 관계는 역자승의 관계에 있다.

3. 실험결과에 대한 고찰

관전압(kVp)별 각 팬텀두께를 투과한 선량(Ip, 투과선량 또는 1차선량)은 관전압이 증가할수록 증가하여 유의한 차이가 있었다(P<0.001). 그 이유는 이미 증명한 바로 $\lambda = \frac{12.42}{kVp}$ 에 의하여 kVp가 증가할수록 파장(λ)이 짧아져 X선의 투과력이 강해졌기 때문이다.^{7,8,12,26)}

조사면적의 변화에 따른 산란선 발생과 두께변화에 따른 산란선 발생에 관한 실험에 의하면 관전압이 일정할 때 두께가 증가할수록 산란선 발생량이 감소된 것은 두꺼운 부위에서 산란선의 흡수로 인하여 측정기에 도달되는 선량이 감소되기 때문이다. 피사체에 X선이 조사되면 피사체 내에서의 흡수는 피사체의 원자번호, 밀도 두께가 클수록 증가되는 기본 이론($\mu x = z^3 \cdot \rho \cdot d \cdot \lambda^3$; Z-원자번호, ρ -밀도, d-두께, λ -X선 파장)에 근거한다.^{7,8)} 본 실험에서도 두께가 큰 팬텀에서는 관전압이 일정한 경우 1차 투과선 및 산란선의 팬텀 자체 흡수선량이 많았다. 그러나 팬텀의 두께가 일정할 때 관전압과 조사면적이 클수록 산란선 발생량이 증가하였다. 이것은 김 등¹⁶⁾의 고관전압에 대한 산란선 함유율에 관한 실험결과와 일치하였으며, 林¹⁷⁾은 "Radiography 시의 被曝線量低減法"에 관한 연구에서 조사면적(radiation field)의 규제를 추천하고 있다. 吉村²⁷⁾과 김¹⁴⁾의 일정 두께에서 관전압이 증가하면 산란선의 절대 발생량은 오히려 감소한다는 보고도 있다.

이것은 관전압의 증가와 함께 산란선량도 증가하지만 1차 투과선도 상대적으로 많아지기 때문이라고 생각된다. 각 관전압에서 두께와 조사면적의 변화에 의하여 측정된 1차 투과선(Ip)과 산란선(Is)량을 이용하여 총 투과선량(Ip+Is)에 대한 산란선(Is) 함유율(Is/Ip+Is)을 산출하고 분석한 결과 산란선 함유율과 관전압은 유의한 차이가 없었다(p=0.889). 즉 관전압이 증가하면 총 투과선량과 함께 산란선량의 투과도 증가하기 때문에 산란선 함유율과 관전압과의 관계는 큰 차이가 없다고 할 수 있다. 이것은 김¹⁵⁾과 Mattson²⁸⁾의 보고와 일치한다.

그러나 산란선 함유율은 팬텀의 두께가 클수록, 조사면적이 클수록 증가되었다. 김¹⁶⁾은 산란선 함유율이 조사면적에 비례하여 크게 증가함을 실험보고 한 바 있으며 박²⁹⁾은 산란선에 의한 영상의 질을 향상시키기 위한 실험에서 두께가 증가하고 조사면적이 증가할수록 산란선 함유율이 비례적으로 증가함으로 보고하였다. 본 실험에서도 관전압과 팬텀두께 그리고 조사면적이 산란선 함유율과 관계를 단순상관분석(Pearson's correlation analysis)으로 분석한 결과 관전압과 산란선 함유율과는 상관 관계가 없으나 팬텀두께와는 0.7999로 비교적 높은 상관성을 보였고, 조사면적과의 관계는 0.4760의 상관관계가 있었다(P<0.01). 그러므로 X선촬영 진단에서 산란선 함유율에 피사체 각 두께와 조사면적이 크게 작용하고 있음을 알 수 있었다. 이것은 촬영부위를 가능한 범위에서 압박하여 두께를 감소시키고 조사면적을 축소하여 산란선의 함유율을 감소시킴으로써 환자는 물론 전문인의 방사선 장해를 감소시킬 수 있다는 사실이 중요한 것이다. 1차 투과X선 진행방향으로는 환자의 X선촬영 진단에 있어서 의식적으로 방어대책이 잘 이행되고 있는 편이며, 장비에 있어서도 비교적 잘 차폐되고 있다.

그러나 환자의 측방 및 후방으로 산란되는 산란X선이나, 기타 2차 산란선에 대하여 소홀하게 취급되고 있는 실정이다. 특히 특수한 방법으로 이행되는 X선촬영 진단에서는 환자의 X선 조사부위에서 발생하는 주위의 각도별 산란선 발생량에 대하여 방어수단이 반드시 동반되어야 할 필요가 있다. Thomas 등은 진단X선 에너지 범위에서 Compton 효과의 물리적 현상으로 인해 발생하는 산란광자의 360° 분포에 대해 그 이론적 근거를 발표하였고, Bushong⁹⁾은

180° 방향의 산란광자를 후방산란이라 명명하였다. Davidson은 入射光子 에너지에 따른 Compton 산란 광자의 각도별 분포에서 전후방 그리고 측방의 차이를 원그래프를 이용하여 그 이론을 설명하였다.²²⁾ 본 실험에서 각도별 산란선량의 분포를 측정한 결과 0°와 160° 방향에서 발생하는 산란선량이 제일 많았고 90° 방향에서 감소되어 Thomas와 Davidson의 이론적 산란광자 분포와 일치함이 증명되었다. 이것은 전 방향에 대한 방사선 차폐가 중요한 것과 동일하게 후방에 대한 방어대책도 중요함을 의미한다. 특히 X선 투시진단이나 검사시간이 비교적 긴 위장관 및 혈관조영검사를 시행하는 도중에 발생하는 산란선에 대하여 조사방향 외 각 방향 특히 후방향에 대한 방사선 방어수단이 이행되어야 한다. 방사선으로부터의 방어 3요소로는 시간, 거리, 차폐를 들 수 있다. 조사받는 시간을 감소하고 방사선원으로부터 멀리 떨어져 있고 그리고 방어장비를 이용하는 방법이다. 환자에서 발생하는 산란선으로부터 방어수단으로 X선조사시에 환자로부터 멀리 떨어져 있어야 할 것이다. 본 실험연구에서 거리증가에 따른 선량의 감소는 뚜렷하였다($F=96.04$, $P<0.001$).

또한 강³⁰⁾ 등은 거리에 따른 방사선 강도에 관한 실험연구에서 거리증가에 따라 선의 강도의 감소를 거리역사승 법칙과 비교 검토한 바 있다.

V. 결 론

X선촬영 진단에서 특히 연부조직에 대한 검사에서 환자는 물론 피검자의 방사선 피폭을 감소시키기 위한 대책으로 선량분포에 관한 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 관전압이 클수록 총투과선량(I_p+I_s)은 증가되었다.
2. 산란선 발생량(I_s)은 높은 관전압에서, 큰 조사면적에서 많았다.
3. 산란선 함유율(I_s/I_p+I_s)은 관전압에 대하여 큰 영향을 받지 않았다.
4. 산란선 함유율은 두께가 클수록, 조사면적이 클수록 크게 증가되었다.
5. 산란선 함유율의 증가요인으로써 팬텀두께, 조사면적 1차선량, 관전압으로 89.2%를 설명할 수 있었다.

6. 산란선 발생량의 분포는 1차 투과선 진행방향(0°)으로 컸으며 후방(160°) 산란도 0°의 방향과 같은 산란선량이 발생하였고 90° 방향으로는 감소되었다.

7. 팬텀으로부터 멀수록 산란선량이 크게 감소되었다.

본 연구에서 나타난 선량분포로 보아 환자와 검사자의 방사선으로부터의 가능한 피폭을 감소하기 위해서는 조사부위에 맞는 관전압(kVp)을 선정하여 피사체내에 흡수선량을 감소시키고, 조사부위의 두께를 감소시키며, 조사면적을 가능한 검사부위로 좁게 조절(collimation)하여 산란선의 발생을 억제해야 할 것이다. 특히 특수 촬영검사시 환자의 조사부위에서 각 방향으로 산란되는 선량의 분포로 보아 소홀하게 취급되기 쉬운 측방, 후방산란선을 방어할 수 있는 대책이 요구되며 X선조사시는 환자로부터 멀리있는 방법도 방사선 피폭을 줄이는 하나의 수단이 되는 것이다.

참 고 문 헌

1. 권이혁: 최신보건학, 신광출판사, 1978.
2. 양재모: 공중보건학 강의, 수문사, 1986.
3. 박수성 외 5명: 진단방사선원리, 대학서림, 1986.
4. 이해룡 외 3명: 방사선진단시 인체 흡수선량에 관한 연구, 대한방사선사협회지, 13(1): 81~86, 1980.
5. 허 준: 방사선 생물학, 신광출판사, 1985.
6. 정운혁: 핵물리학, 형설출판사, 1982.
7. 허 준: 엑스선 기술원론, 고문사, 1985.
8. 허 준: 방사선 화상정보기술, 신광출판사, 1985.
9. Bushong SC: Radiologic science for technologist, Mosby Company, 1984.
10. Curry TS, Dowby JE, Murry RC: Introduction to the physics of diagnostic radiology, Lea & Febiger, 1984.
11. Casarette AP: Radiation biology, Prentice-Hall Inc, 1968.
12. Hideo EE: Textbook of radiology, Igaku Shoin Ltd., 1959.

13. Last JM : Public health and preventive medicine, Appleton Century Crofts, 1985.
14. 김창균·허준 : 방사선 차폐물질에 대한 산란선 발생에 관한 연구, 대한방사선기술학회지, 3(1) : 67~72, 1980.
15. 김창균 : 방사선 차폐물질에서 발생하는 산란선 측정, 대한방사선기술학회지, 4(1) : 15~32, 1981.
16. 김창균 : 산란선 함유율에 관한 연구, 대한방사선기술학회지, 6(1) : 81~84, 1983.
17. 林太郎 : Radiography時 被曝線量 低減法, 대한방사선기술학회지, 6(1) : 85~89, 1983.
18. 박홍전 : 촬영조건 변화에 따른 산란선량 비교, 대한방사선사협회지, 15(1) : 89~97, 1983.
19. 승건남 : 복부 엑스선 촬영에서 피폭선량 경감에 관한 연구, 연세대학교 보건대학원, 1979.
20. Gray H, Goss CM : Anatomy of the human body, Lea & Febiger, 1983.
21. 이동우 : 보건통계학방법, 신광출판사, 1983.
22. 송재관(역) : 방사선기술학, 학문사, 1985.
23. 허준 외 6인 : 흉부 관전압 촬영에서 air gap technique를 이용한 산란선 경감에 관한 연구, 대한방사선기술연구지 3(1) : 56~57, 1980.
24. 허준 외 3명 : 엑스선 촬영에서 관전압과 피사체가 선질 및 선량에 미치는 영향의 실험, 대한방사선기술학회지 7(1) : 41~46, 1984.
25. 허준 외 5명 : 후방산란과 노출배수에 관한 검토, 대한방사선기술학회지, 5(1) : 15~19, 1982.
26. Juhl, Paul LW : Essentials of roentgen, Harper & Row, 1981.
27. 吉村克俊, 高壓撮影法の研究, 日本醫學放射線誌, 16(1) : 682, 1956.
28. Matton O : Practical photographic problems in radiology. Tokyo, 1957.
29. 박성욱·이상석 : 관전압과 조사야 및 피사체 변화에 따른 선량분포, 대한방사선기술학회지, 3(1) : 73~80, 1980.
30. 강홍석·허준 : 거리역자승의 법칙에 관한 검토, 대한방사선기술학회지, 9(1) : 89~92, 1986.

부 록

부록 1. 각 관전압(kVp)에서 팬텀두께와 조사면적에 따른 선량분포

unit : mR

kVp	팬텀 두께 cm	unit : mR											
		1 차선 I _p			산란선 I _s			총투과량선량 I _p +I _s			산란선 (%) $\frac{I_s}{I_p+I_s} \times 100$ 함유율		
		10×10	20×20	30×30	10×10	20×20	30×30	10×10	20×20	30×30	10×10	20×20	30×30
50	5	9.533			6.033	8.333	10.000	15.566	17.763	19.533	38.76	46.64	51.20
	10	1.800			1.500	3.433	3.800	3.300	52.333	5.600	45.45	65.60	67.86
	15	0.300			0.497	1.567	2.000	0.979	1.867	2.300	62.36	83.93	86.96
	20	0.100			0.193	0.567	0.966	0.293	0.667	0.066	65.87	85.00	90.60
	25	0.020			0.160	0.300	0.587	0.180	0.320	0.607	88.89	93.75	96.71
60	5	14.333			11.000	14.067	15.967	25.333	28.400	30.300	43.42	49.42	52.70
	10	3.067			3.067	6.200	7.400	6.134	9.267	10.467	50.00	66.90	70.70
	15	0.597			1.133	3.000	4.400	1.730	3.597	4.997	65.49	83.40	88.14
	20	0.200			0.380	1.400	1.967	0.580	1.600	2.167	65.52	87.50	90.74
	25	0.053			0.193	0.597	1.067	0.246	0.650	1.120	78.46	91.85	95.27
70	5	23.167			15.333	20.667	22.000	38.500	43.834	45.167	39.83	47.15	48.71
	10	5.090			4.467	9.833	12.633	9.557	14.930	17.730	48.36	65.89	71.28
	15	1.177			1.767	4.800	6.067	2.944	5.977	7.244	60.02	80.31	83.75
	20	0.397			0.657	2.500	3.800	1.504	2.897	4.197	62.33	86.30	90.54
	25	0.100			0.207	1.033	2.033	0.307	1.133	2.133	67.43	91.17	95.31
80	5	32.033			20.067	28.000	30.600	52.100	60.033	62.633	38.52	46.64	48.86
	10	7.033			7.033	15.933	22.667	14.066	22.966	29.700	50.00	69.38	76.32
	15	1.800			2.833	8.000	10.500	4.633	9.800	12.300	61.15	81.63	85.37
	20	0.593			1.033	4.407	6.933	1.626	5.000	7.526	63.53	88.14	92.12
	25	0.200			0.400	2.000	3.403	0.600	2.200	3.603	64.22	90.90	94.44
90	5	65.667			33.933	50.000	56.670	99.600	116.000	122.337	34.07	43.39	46.32
	10	13.400			13.400	21.233	31.616	26.800	34.633	45.016	50.00	61.31	70.23
	15	3.800			6.533	17.330	25.330	10.333	21.130	29.130	63.22	82.02	86.96
	20	1.200			2.203	5.616	9.507	3.403	6.816	10.707	64.74	82.39	88.79
	25	0.377			0.707	4.933	4.506	1.084	5.310	4.883	65.22	92.90	92.28

부록 2. 관전압 50kVp와 80kVp에서 각도별 산란선 분포

unit : mR (%)

	Angle degree								
	0	20	40	60	80	100	120	140	160
50 kVp	0.217 (217)	0.167 (167)	0.133 (133)	0.100 (100)	0.100 (100)	0.120 (120)	0.133 (133)	0.173 (173)	0.193 (193)
80 kVp	0.527 (172)	0.503 (164)	0.390 (127)	0.323 (105)	0.307 (100)	0.393 (128)	0.420 (137)	0.517 (168)	0.560 (182)

부록 3. 조사야 10cm×10cm와 20cm×20cm에서 거리에 따른 산란선량 분포

Radiation field (cm×cm)	2	4	6	8	10	12	14	16	18
10×10 (cm)	3.610 (100)	2.500 (69.25)	2.000 (55.40)	1.390 (38.50)	1.240 (34.35)	1.047 (29.00)	0.903 (25.01)	0.790 (21.88)	0.663 (18.37)
20×20 (cm)	7.233 (100)	4.567 (63.14)	3.567 (49.32)	2.900 (40.09)	2.433 (33.64)	2.333 (32.25)	1.767 (24.43)	1.533 (21.15)	1.393 (19.26)

Radiation field (cm×cm)	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
10×10 (cm)	0.553 (15.32)	0.496 (13.74)	0.403 (11.16)	0.356 (9.86)	0.300 (8.31)	0.240 (6.65)	0.207 (5.73)	0.163 (4.51)	0.153 (4.24)	0.123 (3.41)	0.100 (2.77)
20×20 (cm)	1.247 (17.24)	1.093 (15.11)	0.900 (12.44)	0.887 (12.26)	0.797 (11.02)	0.730 (10.09)	0.630 (8.71)	0.607 (8.39)	7.533 (7.37)	0.500 (6.91)	0.453 (6.26)