양극의 경사각 효과에 따른 조사야 X—선 강도 분포

장근조^{***}, 김남훈^{***}, 이준행^{***}, 이상복^{***}

전주예수병원 영상의학과*, 전주대학교 방사선학과**, 남부대학교 방사선학과***

Distribution of X-ray Strength in Exposure Field Caused by Heel Effect

Keunjo Jang^{*,**}, Namhun Kim^{***}, Junhaeng Lee^{***}, SangBock Lee^{***}

Department of Radiology Prebyterian Hospital Jeonju,
Radiological Science, Jeonju University**,
Dept. of Radiology, Nambu University****

요 약

X선은 X선관 내 음극측 전자(electron)를 빠른 속도로 가속시킨 다음 진행하는 전자의 흐름을 저지극(target)에서 차단시킬 때 에너지의 변환을 일으켜 발생한다.

가속된 고속의 전자가 저지면에 충돌하는 실제면적을 실초점(actual focal spot)이라 하고, 실초점의 크기를 X선이 나오는 방향인 중심선(central ray)측에서 관측할 경우 축소되어 작게 보이는데 이때의 초점을 실효초점(effective focal spot)이라고 한다.

X선관 방사각에 따라 음극 측의 강도가 양극 측 보다 높게 나타나 X선 강도가 균등하지 않다. 이러한 효과를 경사각 효과(heel effect)라고 하며, 경사각 효과로 인하여 환자가 받는 피폭의 정도는 양극의 각도, 즉 실효초점의 크기에 따라 달라지게 된다.

본 논문에서는 실효초점의 크기와 그에 따른 환자 피폭선량의 상관관계를 알아보고 실효초점의 크기에 따른 균질 선량 분포를 위한 효과적인 조사야를 제시하고자 한다.

결론적으로 초점크기에 따라서 평균적으로 -8cm ~ 0cm 범위에서 효과적인 조사야 범위를 찾을 수 있었고, 평균 선량률은 0.019 R/min이 나왔다. 이 범위를 이용하면 환자에게는 적은 피폭선량으로 균등한 흑화도 및 해상력을 가진 영상을 얻을 수 있을 것이다.

중심단어 : 초점테스트, 실효초점, 피폭선량, 경사각효과

Abstract

When negative electron in x-ray tube is accelerated in to a high speed and then the currency of the electron is blocked by the target, x-ray happens by the conversion of the energy.

The real area where the fast accelerated electron collides to a target area is called actual focal spot. When the string focused size is observed at the central ray side, where the direction x-ray comes out, the size seems to be reduced. This focus is called effective focal spot.

According to radiation angle of x-rays tube, the degree of the negative pole side presents higher value than

positive pole side, so that x-rays degree can not be equal. This effect is called heel effect. By an angle of inclination, the amount of exposed radiation that patient receives differs by the angle of positive pole, which means effective focal spot is the variable.

This paper presents the correlation between size of effective focal spot and amount of exposed radiation to the patient by it, and effective research for homogenized dose dispersion by the size of effective focal spot.

In conclusion, following the focal size, effective range which was $-8\text{cm} \sim 0\text{ cm}$ on average, was found and average dose rate was 0.019 R/min . Through this range, for patients with small radiation exposure, image with good density and resolution in aspect of diagnosing will be able to be obtained.

Keyword : Focal Spot Test, Effective focal spot, Exposure Dose, Heel effect

I. 서론

진단용 X선관은 경질내열유리관(pyrex glass)내에 음극(cathode, filament)과 양극(anode, target)을 봉입한 진공관이다. X선이란 X선관 내 음극측 전자(electron)를 빠른 속도로 가속시킨 다음 진행하는 전자의 흐름을 저지극(target)에서 차단시킬 때 에너지의 변환을 일으켜 발생한다. 가속된 고속의 전자가 저지면에 충돌하는 실제면적을 실초점(actual focal spot)이라 하고, 실초점의 크기를 X선이 나오는 방향인 중심선(central ray)측에서 관측할 경우 축소되어 작게 보이는데 이때의 초점을 실효초점(effective focal spot)이라고 한다.

저지극의 재료로 용융점이 높은 텅스텐을 사용하고 있지만 X선관의 내열력을 증가시키려면 큰 초점이 필요하게 되나 초점이 클수록 영상의 해상능(resolution)이 떨어지는 상반적인 요인이 발생한다. 이를 줄이기 위해서 도입된 것이 선초점 원리(line focus principle)이다^[1]. X선관 방사각에 따라 음극 측의 강도가 양극 측보다 높게 나타나 X선 강도가 균등 하지 않다. 이러한 효과를 경사각 효과(heel effect)라고 하며, 경사각 효과로 인하여 환자가 받는 피폭의 정도는 양극의 각도, 즉 실효초점의 크기에 따라 달라지게 된다. 본 논문에서는 실효초점의 크기와 그에 따른 환자 피폭선량의 상관관계를 알아보고 실효초점의 크기에 따른 균질선량 분포를 위한 효과적인 조사야를 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

본 연구를 위한 초점 측정은 Focal spot test 방법으로

실험하였다. [그림 1]의 장비를 [그림 3]과 같이 설치하여 초점의 크기를 테스트 한 후 중심선에서부터 양극측과 음극 측의 선량 분포를 2 cm 간격으로 [그림 2]의 장비를 이용하여 계측하였다. 초점의 테스트는 [그림 1]에 보이는 Nuclear Associates 07-591 Focal Spot Test Tool을 사용하였다. 초점 테스트 도구인 Nuclear Associates 07-591 Focal Spot Test Tool은 15개 그룹의 테스트 패턴과 6" 높이의 스탠드로 구성되어 있다. 각각의 그룹은 6개의 막대로 구성되어 있으며 3개의 막대가 각각 직각으로 세팅되어 있다. 그리고 각각의 그룹은 0.63 라인 쌍/mm 부터 2.52 라인 쌍/mm으로 되어 있다. 방사선을 조사한 후 제공되는 [표 1]의 차트에서 분해능과 초점의 크기를 관찰하여 공칭 초점 면적(nominal focal spot dimension)을 확정하였다. X-선 노출과 노출 선량을 측정하기 위하여 [그림 2]에 보이는 06-526 RAD-CHECK 플러스를 사용하였다. 이 장치는 신뢰성, 정확성을 보증하는 장치이며 사용이 간편하다. 장치의 구성은 내장된 이온챔버와 디스플레이 전자장치로 구성된다.

그림 1. Nuclear Associates 07-591 Focal Spot Test Tool

그림 2. 06-526 RAD-CHECK 플러스

2-1. 실험 방법

초점의 크기를 측정한 장비는 모델명 ACCURAY, DK2-525R/F, SFC-31R, SK2-6011,

CXD-R155 R/F장치를 사용하였고 R/F 기능 중 Radiography를 위한 Over Head Tube

만을 [그림 3]과 같이 설치하여 측정하였다.

그림 3. 실험 장치 설치

각각의 실험 모델 테이블 위에 focal spot test tool을 두고 film에서 patten까지의 거리는 6inch, patten source 의 거리는 18inch로 하였다. 관전류 4 mAs, 관전압 55 kVp로 촬영을 한 후 film 판독하여 [표 1]을 이용 라인 쌍/mm을 확인하였다. 라인 쌍/mm을 알아낸 후

공칭(nomonal) 초점과 실초점을 알아내었다.

표 1. Expected Focal Spots of Given Sizes

Group**	lp/mm	Diameter in mm	Focal Spot* (Nominal)	Focal Spot (Actual)
1	0.63	6.69	2.00	2.60×3.64
2	0.7	5.71	2.00	2.60×3.64
3	0.79	4.82	2.00	2.60×3.64
4	0.89	4.70	2.00	2.60×3.64
5	1.00	4.00	2.00	2.60×3.64
6	1.11	3.50	1.8	2.34×3.28
7	1.26	3.42	1.8	2.34×3.28
8	1.41	2.86	1.5	1.95×2.73
9	1.59	2.25	1.3	1.95×2.73
10	1.78	2.46	1.3	1.50×2.18
11	2.00	2.00	1.0	1.4×1.96
12	2.24	1.65	0.8	1.12×1.57
13	2.52	1.60	0.8	1.12×1.57

* In the plane of the focal spot.

** Acceptance Level; 1.8mm rated focal spot must resolve groups 1,2,3,4,5,6,7.

III. 결과 및 고찰

Nuclear Associates 07-591 Focal Spot Test Tool을 이용하여 진단용X선 장치에 따른 초점크기를 측정하였으며, 초점크기에 따른 선량분포도를 그림과 표로 나타내었다.

3-1. ACCURAY

그림 4. ACCURAY 실험결과

표 2. ACCRAY 선량분포

[실효초점: 2.0mm]

cm	선량률(R/min)
8	0.014
6	0.015
4	0.016
2	0.017
0	0.017
-2	0.017
-4	0.017
-6	0.017
-8	0.017

그림 5. ACCURAY 선량분포그래프

[표2]는 모델 ACCRAY의 초점 실험결과이다. 실험결과 실효초점은 2.0mm로 나타났다. 조사야의 중심선에서 양극 측과 음극 측으로 각각 2 cm 간격으로 선량률을 나타낸다. [그림5]는 [표2]를 그래프로 나타낸 것이다. 중심 선을 기준으로 양극 측으로 갈수록 X선 강도가 약해지는 것을 볼 수 있고, 음극 측은 선량률이 일정한 것을 알 수 있다. 모델 ACCRAY는 -8cm ~ -2cm까지가 효과적인 조사야로 나타났다. 촬영 시 중심 선을 -5 cm 옮긴다면 선 초점 효과(heel effect)가 없는 균질한 흑화도의 영상을 얻을 수 있을 것이다.

3-2. DK2-525R/F

그림 6. DK2-525R/F 실험결과

표 3. DK2-525R/F 선량분포

[실효초점: 2.0mm]

cm	선량률(R/min)
8	0.034
6	0.035
4	0.036
2	0.036
0	0.036
-2	0.037
-4	0.037
-6	0.037
-8	0.037

그림 7. DK2-525R/F 선량분포그래프

[표3]는 모델 DK2-525R/F의 초점 실험결과이다. 실험결과 실효초점은 2.0mm로 나타났다. 조사야의 중심선에서 양극 측과 음극 측으로 각각 2 cm 선량률을 나타낸다. [그림7]는 [표3]를 그래프로 나타낸 것이다. 중

심 선을 기준으로 양극 측으로 갈수록 X선 강도가 약해지는 것을 볼 수 있고, 음극 측은 선량률이 일정한 것을 알 수 있다. 모델 DK2-525R/F 장치는 -8cm ~ -2cm까지가 효과적인 조사야로 나타났다. 촬영 시 중심선을 -5 cm 에 옮긴다면 선 초점 효과(heel effect)가 없는 균질한 흑화도의 영상을 얻을 수 있을 것이다.

3-3. SFC-31R

그림 8 . SFC-31R 실험결과

표4. SFC-31R 선량분포

[실험초점: 2.0mm]

cm	선량률(R/min)
8	0.018
6	0.019
4	0.020
2	0.021
0	0.022
-2	0.022
-4	0.022
-6	0.022
-8	0.022

그림 9. SFC-31R 실험결과

[표4]은 모델 SFC-31R의 초점 실험결과이다. 실험결과 실험초점은 2.0mm로 나타났다. 조사야의 중심선에서 양극 측과 음극 측으로 각각 2 cm 간격으로 선량률을 나타낸다. [그림9]는 [표4]를 그래프로 나타낸 것이다. 중심을 기준으로 양극 측으로 갈수록 X선 강도가 약해지는 것을 볼 수 있고, 음극 측은 선량률이 일정한 것을 알 수 있다. 모델 SFC-31R는 -4cm ~ 2cm까지가 효과적인 조사야로 나타났다. 촬영 시 중심 선을 1cm 로 옮긴다면 선 초점 효과(heel effect)가 없는 균질한 흑화도의 영상을 얻을 수 있을 것이다.

3-4. SF-80,SK2-6011

그림10. SK2-6011 실험결과

표5. SK2-6011 선량분포

[실험초점: 2.0mm]

cm	선량률(R/min)
8	0.008
6	0.009
4	0.009
2	0.009
0	0.010
-2	0.010
-4	0.010
-6	0.010
-8	0.010

그림 11. SK2-6011 선량분포 그래프

[표5]는 모델 SK2-6011의 초점 실험결과이다. 실험결과 실효초점은 2.0mm로 나타났다. 조사야의 중심선에서 양극 측과 음극 측으로 각각 2 cm 간격으로 선량률을 나타낸다. [그림11]은 [표5]를 그래프로 나타낸 것이다. 중심선을 기준으로 양극 측으로 갈수록 X선 강도가 약해지는 것을 볼 수 있고, 음극 측은 선량률이 일정한 것을 알 수 있다. 모델 SK2-6011는 -8cm ~ 0cm까지가 효과적인 조사야로 나타났다. 촬영 시 중심선을 -4 cm 로 옮긴다면 선 초점 효과(heel effect)가 없는 균질한 흑화도의 영상을 얻을 수 있을 것이다.

3-5. CXD-R155

그림 12. CXD-R155 실험결과

표6.CXD-R155선량분포

[실효초점:1.0mm]

cm	선량률(R/min)
8	0.009
6	0.010
4	0.011
2	0.012
0	0.012
-2	0.012
-4	0.012
-6	0.012
-8	0.012

그림 13. CXD-R155 선량분포 그래프

[표6]는 모델 CXD-R155의 초점 실험결과이다. 실험결과 실효초점은 1.0mm로 나타났다. 조사야의 중심선에서 양극 측과 음극 측으로 각각 2 cm 간격으로 선량률을 나타낸다. [그림13]는 [표6]를 그래프로 나타낸 것이다. 중심을 기준으로 양극 측으로 갈수록 X선 강도가 약해지는 것을 볼 수 있고, 음극 측은 선량률이 일정한 것을 알 수 있다. 모델 CXD-R155장치는 -4 cm ~ 2 cm까지가 효과적인 조사야로 나타났다. 촬영 시 중심선을 1cm 로 옮긴다면 선 초점 효과(heel effect)가 없는 균질한 흑화도의 영상을 얻을 수 있을 것이다.

표7. 모델별 초점의 크기와 선량분포

모델명		ACCURAY	DK2-525R/ F	SFC-31R	SK2-6011	CXD-R155
실효초점 크기(mm)		2.0	2.0	2.0	2.0	1.0
실초점 크기(mm2)		2.60×3.4	2.60×3.4	2.60×3.4	2.60×3.4	1.4×1.96
선 량 분 포 *	-8	0.017	0.037	0.021	0.010	0.012
	-6	0.017	0.037	0.022	0.010	0.013
	-4	0.017	0.038	0.021	0.010	0.012
	-2	0.017	0.037	0.022	0.010	0.012
	0	0.018	0.036	0.022	0.010	0.012
	2	0.017	0.036	0.021	0.009	0.012
	4	0.016	0.036	0.020	0.009	0.011
	6	0.015	0.035	0.019	0.009	0.010
	8	0.014	0.034	0.018	0.008	0.009

* 선량분포(단위 : R/min) : 중심선을 중심으로 양극(+), 음극(-) [간격 : 2cm]

[표7]은 실험에 쓰였던 모델에 대한 실효초점 및 실효초점과 간격(2cm)마다의 선량분포도표를 만든 것이다. 실험을 통해 모델별 실효초점을 알 수 있고, 실효초점의 크기에 따라 선량분포가 다르게 나타나 상관관계가 있음을 알 수 있다. 그리고 중심선에서 음극측으로 선질이 균질함을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 실효초점의 크기와 그에 따른 환자 피폭선량의 상관관계를 알아보고 실효초점의 크기에 따른 균질 선량 분포를 위한 효과적인 조사야를 제시하였다.

실험결과 각각의 모델마다 선량분포가 오차범위 내에서 균질함을 알 수 있었다. 촬영 시 초점 중점을 이 범위에 맞추면 균질한 흑화도의 영상을 얻을 수 있을 것이다.

감사의글

본 논문은 "2010년 한국연구재단 연구비 지원 사업"에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 김성철, 김영일, 김유현, 김정민, 나수경, 송재홍, 윤철호, 이경성, 이성길, 이종석, 지태정. 진단용X선 장치와 QC(Diagnostic X-ray Equipment & Quality Control),신광출판사,
- [2] 박수성, 김건상, 이관세, 오용호, 이용철, 박경진, 김건중. 진단방사선원리, 대학서림, 2000.
- [3] 고신관 외, “방사선물리학”, 고문사, 2003.
- [4] 정재용, 오종갑, 이준행. “피폭선량 절감을 위한 CT scan parameter의 선택 ” 남부대학교 보건학석사학위 학술지, 2008.
- [5] 이광재, 고신관, 양한준, 김옥동, "MTF를 이용한 X선관 실효초점 크기 측정에 관한 연구" 서울 을지병원 방사선과, 서울 보건대학 방사선과 학술지.
- [6] 장광현, 임오수, 김형기,송창욱, 정경호, 정환, “X선과 실효초점 측정에 관한 고찰”, 서울대학교병원,진단방사선학과 학술지, 1933.
- [7] 고인호, Star test pattern을 이용한 진단용 X선관의 초점크기측정에 관한 연구, 濟州漢學大學 論文集, Vol. 22, pp.289-293, 1998.
- [8] 정광룡, 형광X-선 분석법,국립문화재연구소, 연구자료, 1993.
- [9] 강세식, 방사선 진단 기기학, 청문문화사, 제1장, 5장, 6장, 2008.
- [10] 朴英善 外, Pin hole Camera를 사용한 X線管 焦點檢査에 관한 考察, 論文集 Vol. 1, pp.123-13, 1972.