

The Anode Heel Effect caused by changing the Angle of X-Ray Tube

Seong-gyu Shin,¹ Hyo-Yeong Lee^{2,*}

¹Department of Radiology, Dong-a University Hospital

²Department of Radiological Science, Dong Eui University

Received: August 07, 2016. Revised: October 19, 2016. Accepted: October 30, 2016.

ABSTRACT

This study was an investigation of the anode heel effect caused by changing the angle of the x-ray tube. We established the following conditions for experimental measurements: 70 kV, 30 mAs, focus-detector distance of 100cm, and a collimator setting of 35X43 cm. The measurement points were set up at the center of the collimator and extended to each side in intervals of 3.5cm, with points A1, A2, A3, A4, A5, A6 on the anode side and points C1, C2, C3, C4, C5, C6 on the cathode side. We measured the entrance surface dose from point A6 to point C6 with each point perpendicular to an x-ray tube. And we did the same when measuring different angles of the x-ray tube from 15 to 30 degrees for every point on the anode and cathode sides. Using perpendicular x-ray tube, we found that the entrance surface dose of the A5 point was three times higher than that of the C5 point. Thus, we conclude that if the anode side is placed near highly radiosensitive organs, then there will be less radiation exposure when using a perpendicular x-ray tube. When imaging using x-ray tube angles, an angle to the cathode side can reduce the gap of the entrance surface dose on both the anode and cathode sides. When imaging areas where there are differences in thickness between the upper and lower sides, the angle to the cathode side that is closer to the thicker area can reduce the gap of the entrance surface dose and capture a higher quality image.

KeyWords: Anode Heel Effect, X-ray Tube, Anode, Cathode, Entrance Surface Dose

I. INTRODUCTION

우리나라 국민의 연간 진단용 방사선검사 건수는 2007년 1억 6천만 건, 2008년 1억8천만 건, 2009년 1억9천만 건, 2010년 2억1천만 건, 2011년 2억2천만 건으로 5년간 약 35% 증가하였다. 국민 일 인당 연간 방사선 검사 건수는 2007년 3.3회, 2008년 3.7회, 2009년 4회, 2010년 4.3회, 2011년 4.6회로 꾸준히 증가하는 추세이다. 국민 일 인당 연간 진단용 방사선 피폭량은 2007년 0.93 mSv에서, 2008년 1.06 mSv, 2009년 1.17 mSv, 2010년 1.28 mSv, 2011년 1.4 mSv로 5년간 약 51% 증가하였다. 방사선검사 및 피폭량 증가는 국민소득 증가로 건강에 대한 관심이 높아져 정기적인 건강검진이 많아지고, 노령화에 따른 기대수명 증가와 청진기 등 경험에 의존하는 진단보다는 방사선영상촬영 등 과학적인

진단방법이 보편화하는 최근 의료경향을 반영하는 것으로 분석된다.^[1] 진단을 위한 의료용 방사선 발생장치는 다른 형태의 에너지(보통 전기에너지)를 인위적으로 방사선의 에너지로 변환하여 방사선이 방출되도록 만든 장치로서 대표적인 예가 X선 발생장치이다.^[2] X선 영상장치는 발전을 거듭하여 1973년 CR(Computed Radiography)이 개발되고 1981년 RSNA(Radiological Society of North America, 북미 방사선 의학회)에 처음 소개되었다. 1983년 FUJI사의 CR이 일본에 설치 운영되었으며 한국에는 1985년 용산 중앙대학교병원에 처음 설치되었다. 그 이후 드럼 방식의 셀레늄 검출기(필립스의 Thoravision)가 출현하고 뒤를 이어 TFT(Thin Film Transistor) 방식의 평판형 검출기가 출현하면서 현재의 디지털 영상획득 장치(Digital Radiography; DR)가 보편화 되었다.^[3] X선 발생장치의 주요 구성 요소는 X선을

*Corresponding Author: Hyo-Yeong Lee

E-mail: lhy250@deu.ac.kr

Tel: +82-51-890-2679

발생하는 X-선관과 여기에 고전압을 걸어주기 위한 고전압 발생장치, 발생하는 열을 식히기 위한 냉각장치이다. X-선관은 진공관 내에 열전자를 발생 시키는 필라멘트와 가속된 전자가 충돌되면서 X선을 방출하는 표적(Target)을 배치한 것이다. 강한 X선을 방출하는 X선관의 표적(Target)은 열에 의해 녹는 것을 방지하기 위해 양극이 회전하는 회전 양극관으로 설계되어 있다.^[2] X-선관에서 발생하는 Anode heel effect는 양극(Anode) 측에서 여과가 일어나 X선의 강도가 음극(Cathode) 측과 차이가 생기는 것으로 양극(Anode) 측으로 갈수록 표적(Target) 투과 두께가 두꺼워서 X선 흡수가 많아지므로 일어나는 현상이다. 따라서 양극(Anode)의 사진농도가 떨어지기 때문에 촬영 시 두께가 얇은 부분을 양극(Anode) 측에 오도록 해야 한다. 양극 경사각(Anode angle)이 급경사일수록, 필터를 사용하지 않을 때, 조사야가 넓을수록 촬영 거리가 짧을수록 두드러진다.^[4] 본 연구에서는 디지털 영상획득 장치(Digital Radiography; DR)를 이용하여 X-선관을 수직으로 위치시켰을 경우와 양극(Anode) 측으로 15도, 30도 각도를 주었을 경우, 음극(Cathode) 측으로 15도, 30도 각도를 주었을 경우에 양극(Anode) 측과 음극(Cathode) 측에서의 입사표면선량(Entrance Surface Dose, ESD)의 변화를 알아보고 입상의 촬영법에 접목해 영상의 화질 향상과 환자의 피폭선량을 저감 하고자 실시하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 실험 기기

디지털 영상획득 장치(DR)는 양극 경사각(Anode angle)이 12도인 SIEMENS 사의 Aristors MX 장비를 사용하였다. 선량 측정 장비는 Unfors Ray Safe 사의 Multi Function X-선 측정기인 unfors ThinX RAD를 이용하였다.

2. 실험방법

실험 조건은 70 kV 30 mAs, 초점-검출기간의 거리(Focus-Detector Distance)는 100 cm, 조사야는 35×43 cm²로 설정하였다. 측정점은 조사야의 정중앙 점에서 좌우 3.5cm 간격으로 나누어 양극(Anode) 쪽으로 A1, A2, A3, A4, A5, A6 지점을 설정하였고 음극(Cathode) 쪽으로 C1, C2, C3, C4, C5, C6 지점으로 설정하여 각

측정하였다. 먼저 X-선관을 수직으로 하여 측정점인 A6에서 C6까지 각각 입사 표면 선량(Entrance Surface Dose, 이하 ESD)을 측정하였다. 다음에 X-선관 각도를 양극(Anode)쪽으로 15도, 30도로 변경 하면서 각각 측정하고 같은 방법으로 음극(Cathode)쪽으로 15도, 30도로 변화시켜 입사선량을 측정하였다. 모든 검사는 5회 측정해 평균값을 구하였다.

III. RESULT

1. X-선관 수직

중앙점의 ESD는 1,870 uGy로 측정되었고 A1 점에서 1,760 uGy A3 점은 1,440 uGy, A5 점은 724 uGy로 양극(Anode)쪽으로 갈수록 ESD가 점점 줄어드는 경향을 보였다. C1 점에서는 1,970 uGy, C3 점에서는 2,070 uGy으로 늘어났으며 C4 점 2,030 uGy, C5 점은 2,000 uGy로 약간 줄었으나 중앙점에 비해 1.08배, 1.06배 늘어났다. 중앙점에서 A 점 쪽으로 갈수록 ESD가 줄어들었고 C 점으로 갈수록 늘어났으며. 이는 Table 1과 Fig. 1에 나타냈다.

Table 1. Perpendicular

Distance/3cm interval	ESD(uGy)	Relative ESD (take center point as 1)
A6	53	0.03
A5	724	0.39
A4	1,170	0.63
A3	1,440	0.77
A2	1,620	0.86
A1	1,760	0.94
0	1,870	1.00
C1	1,970	1.05
C2	2,040	1.09
C3	2,070	1.11
C4	2,030	1.08
C5	20,00	1.06
C6	944	0.51

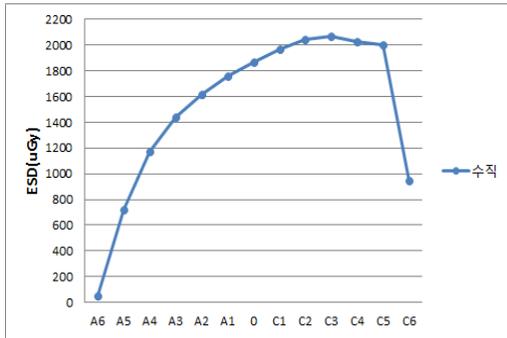


Fig. 1. Perpendicular.

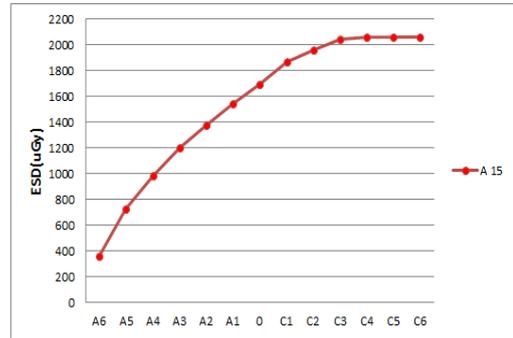


Fig. 2. Anode 15 degrees.

2. 양극(Anode)쪽 15도

양극(Anode) 쪽으로 15도 각도를 주었을 경우 중앙점의 ESD는 1,690 uGy, A1점은 1,540 uGy로 나타났고 A3 점은 1,200 uGy로 중앙점보다 0.71배 줄었고 A5점은 728 uGy로 중앙점 보다 0.43배 줄었다. C1점에서는 1,870 uGy로 중앙점 보다 1.11배 늘었고 C3점은 2,040 uGy로 1.21배, C5 점은 2,060 uGy로 1.22배 늘었다. 이는 Table 2와 Fig. 2에 나타내었다.

Table 2. Anode 15 degrees

Distance/3.5cm interval	ESD(uGy)	Relative ESD (take center point as 1)
A6	362	0.21
A5	728	0.43
A4	987	0.58
A3	1,200	0.71
A2	1,380	0.81
A1	1,540	0.91
0	1,690	1.00
C1	1,870	1.11
C2	1,960	1.16
C3	2,040	1.21
C4	2,060	1.22
C5	2,060	1.22
C6	2,060	1.22

Table 3. Anode 30 degrees

Distance/3.5cm interval	ESD(uGy)	Relative ESD (take center point as 1)
A6	432	0.25
A5	853	0.50
A4	1,240	0.72
A3	1,460	0.85
A2	1,590	0.92
A1	1,660	0.97
0	1,720	1.00
C1	1,770	1.03
C2	1,780	1.04
C3	1,740	1.01
C4	1,670	0.97
C5	1,580	0.91
C6	1,480	0.86

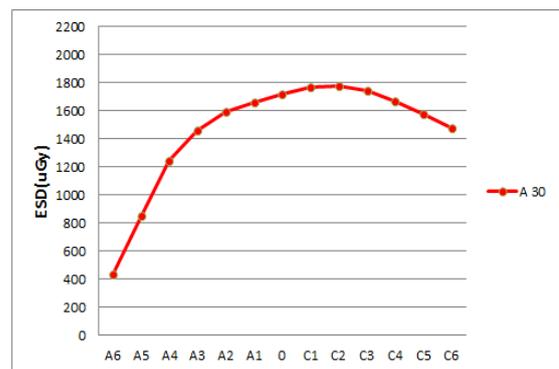


Fig. 3. Anode 30 degrees.

3. 양극(Anode)쪽 30도

중앙점의 ESD는 1,720 uGy, A1 점에서는 1,660 uGy, A3 점은 1,460 uGy로 중앙점 보다 0.85배 줄었고 A5 점은 853 uGy로 0.5배 줄었다. C1 점에서는 1,770 uGy로 중앙점 보다 1.11배 늘었고 C3 점은

1,740 uGy로 1.21배, C5 점은 1,580 uGy로 0.91배 줄었다. 이는 Table 3와 Fig. 3에 나타내었다.

4. 음극(Cathode)쪽 15도

중앙점의 ESD는 1,070 uGy, A1 점에서는 955 uGy, A3 점은 757 uGy로 중앙점 보다 0.71배 줄었고 A5 점 535 uGy로 0.5배 줄었다. C1점에서는 1190 uGy로 중앙점 보다 1.11배 늘었고 C3 점은 1,440 uGy로 1.35배, C5 점은 1,620 uGy로 1.51배 늘었다. 이는 Table 4와 Fig. 4에 나타내었다.

Table 4. Cathode 15 degrees

Distance/3.5cm interval	ESD(uGy)	Relative ESD (take center point as 1)
A6	421	0.39
A5	535	0.5
A4	641	0.60
A3	757	0.71
A2	851	0.78
A1	955	0.89
0	1,070	1.00
C1	1,190	1.11
C2	1,320	1.23
C3	1,440	1.35
C4	1,540	1.44
C5	1,620	1.51
C6	1,700	1.59

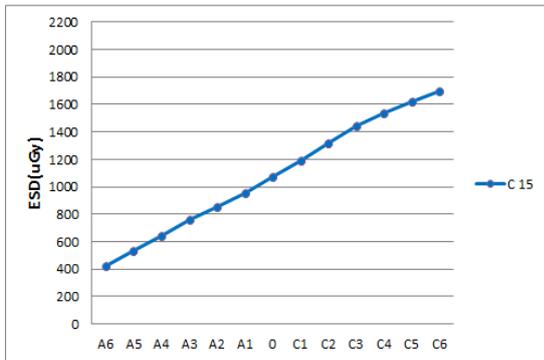


Fig. 4. Cathode 15 degrees

5. 음극(Cathode)쪽 30도

중앙점의 ESD는 1180 uGy, A1 점에서는 1210 uGy, A3 점 1,210 uGy, A5 점은 1,020 uGy로 중앙점 보다 0.86배 줄었다. C1점에서는 1,170 uGy, C3 점은 1,080 uGy로 중앙점 보다 0.92배 줄었고, C5 점은 930 uGy로 0.79배 줄었다. 이는 Table 5와 Fig. 5에 나타내었다.

Table 5. Cathode 30 degrees

Distance/3.5cm interval	ESD(uGy)	Relative ESD (take center point as 1)
A6	760	0.64
A5	1,020	0.86
A4	1,150	0.97
A3	1,210	1.03
A2	1,220	1.03
A1	1,210	1.03
0	1,180	1.00
C1	1,170	0.99
C2	1,130	0.96
C3	1,080	0.92
C4	991	0.84
C5	930	0.79
C6	860	0.73

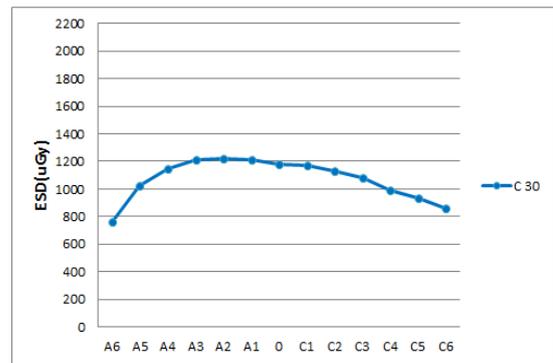


Fig. 5. Cathode 30 degrees

6. 양극(Anode) 15도와 음극(Cathode) 15도 비교

A6점을 제외한 모든 점에서 양극(Anode)쪽 15도 방향의 ESD가 높게 나타났다. 양극(Anode)쪽 15도 방향이 음극(Cathode)쪽 15도 방향 보다 중앙점에서 620uGy, C1점에서는 680 uGy 더 높게 나타났다. 양극(Anode)쪽으로 15도 각도를 주었을 때 ESD 차이가 더 크게 나타났다. 이는 Table 6와 Fig. 6에 나타내었다.

7. 양극(Anode) 30도와 음극(Cathode) 30도 비교

음극(Cathode)쪽 방향 보다 양극(Anode)쪽 방향의 ESD가 중앙점에서는 550 uGy, C4점에서는 679 uGy로 양극(Anode)쪽 30도 방향이 더 높게 나타났다.

Table 6. Comparison of the anode and cathode 15 degrees

Distance/3.5cm interval	Anode(1)	Cathode(2)	(1)-(2)
A6	362	421	-59
A5	728	535	193
A4	987	641	346
A3	1,200	757	443
A2	1,380	851	529
A1	1,540	955	585
0	1,690	1070	620
C1	1,870	1190	680
C2	1,960	1320	640
C3	2,040	1440	600
C4	2,060	1540	520
C5	2,060	1620	440
C6	2,060	1700	360

Table 7. Comparison of the anode and cathode 30 degrees

Distance/3.5cm interval	Anode(1)	Cathode(2)	(1)-(2)
A6	432	760	-328
A5	853	1,020	-157
A4	1,240	1,150	90
A3	1,460	1,210	250
A2	1,590	1,220	370
A1	1,660	1,210	450
0	1,720	1,180	550
C1	1,770	1,170	600
C2	1,780	1,130	650
C3	1,740	1,080	660
C4	1,670	991	679
C5	1,580	930	650
C6	1,480	860	620

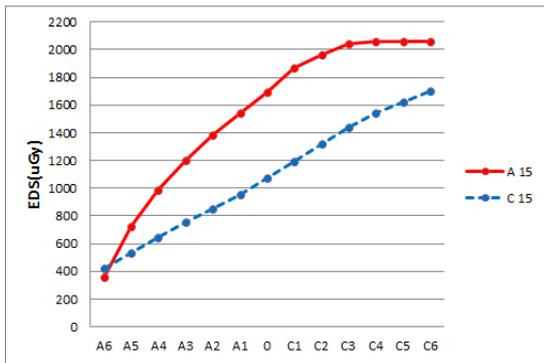


Fig. 6. Comparison of the anode and cathode 15 degrees

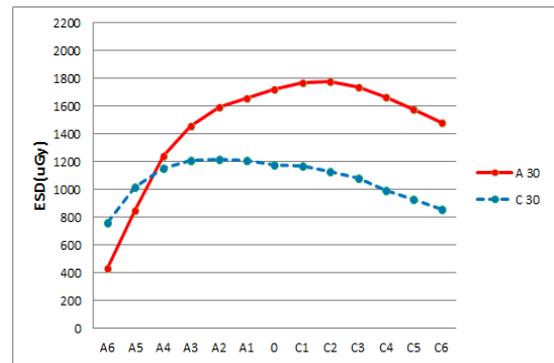


Fig. 7. Comparison of the anode and cathode 30 degrees

A6, A5점을 제외한 모든 점에서 양극(Anode)쪽 30도 방향의 ESD가 높게 나타났다. 음극(Cathode)측으로 30도 각도를 주었을 때 ESD 차이가 비교적 적고 양극(Anode)측으로 각도를 주었을 때 ESD 차이가 더 옥 더 커지는 경향을 보였다. 이는 Table 7과 Fig. 7에 나타내었다.

IV. DISCUSSION

X-선관을 수직으로 위치시켜 촬영하는 검사법 중에서 넓적다리 정, 측면검사(Femur AP, Lateral)의 경우에 위쪽으로는 두꺼운 엉덩관절(Hip joint)이 속해 있고 아래쪽은 비교적 얇은 부위인 무릎관절(Knee)이 있어 해부학 구조적으로 상, 하 두께 차이가 크

게 나는 부위의 촬영시 Anode heel effect를 이용하여 두꺼운 쪽인 엉덩관절(Hip joint)에 음극(Cathode)을 위치시키면 보상 필터를 사용하지 않아도 촬영조건을 보정시켜 줄 수 있고 균일한 영상을 만들 수 있으며 상완골(Humerus), 흉추(Thoracic spine) 등에도 사용하면 효과적이다.^[5] K. K. L. FUNG^[6]의 연구 결과에 따르면 요추부 정면 촬영(L-Spine AP) 시 X-선관을 수직으로 위치시키고 관전압 80 kVp 67.4 mAs의 조건으로 촬영할 경우 난소(Ovary)에 받는 피폭선량은 양극(Anode)이 발쪽(Feet towards)일 경우 1147 uGy, 반대로 음극(Cathode)이 발쪽(Feet towards)일 경우 1329 uGy로 음극이 발쪽(Feet towards)일 경우가 182 uGy 정도 더 피폭되는 결과를 나타냈다. 고환(Testes)이 받는 선량은

양극(Anode)이 발 쪽일 경우 20.5 uGy, 음극(Cathode)이 발쪽일 경우 26.1 uGy로 음극(Cathode)이 발쪽일 경우가 5.6 uGy 정도 더 피폭되는 것으로 나타났다. 요추부 측면 촬영 시(L-Spine lateral)에도 난소(ovary)가 받는 피폭선량은 음극(Cathode)이 발 쪽일 경우가 385 uGy 정도 더 피폭되는 것으로 나타나 요추부 촬영(L-Spine)시에는 양극(Anode)측을 다리 쪽(Caudad)으로 음극(Cathode)측을 머리 쪽(Cephalad)으로 향하게 하고 촬영하는 것이 난소(Ovary)와 고환(Testes)의 피폭을 줄일 수 있는 것으로 보고 하였다. 본 연구 결과 역시 A5점과 C5점의 ESD 차이가 1276 uGy로 음극(Cathode)측이 약 3배 정도 더 많은 것으로 나타났다. 따라서, Fig. 8에서 방사선 감수성이 높아 피폭에 민감한 장기인 난소(Ovary), 고환(Testes) 등이 포함된 KUB, L-Spine AP, Lateral 등의 촬영 부위에는 방사선 감수성이 높은 장기가 위치한 쪽으로 양극(Anode)을 위치시켜서 촬영하면 효과적으로 피폭을 줄일 수 있다.

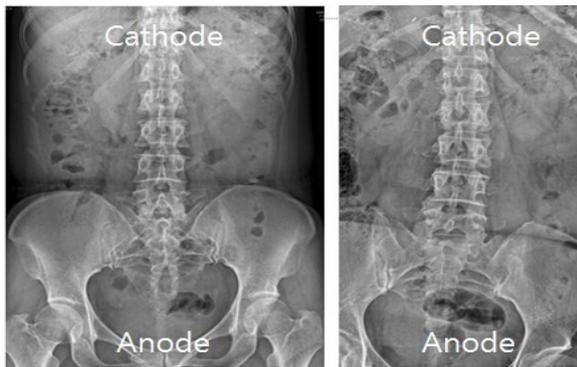


Fig. 8. KUB L-Spine AP

Fig. 9에서 목뼈(Cervical vertebrae) 검사법으로 머리 쪽(Cephalad)으로 15도 각도가 들어가는 촬영법인 C-Spine AP, Oblique view^[7]의 경우에는 양극(Anode)측이 머리 쪽(Cephalad)으로 향하게 각도를 주면 A3~A5 점에 위치하게 되는 갑상샘(Thyroid), 수정체(Lens)^[8]의 피폭을 줄일 수 있다. 30도 각도를 주고 촬영하는 아래턱 Modified mandible townes view^[7] 검사법의 경우는 아래턱(Mandible)의 뼈(Bone) 구조를 잘 관찰할 수 있어야 하므로 촬영조건이 많이 필요한 아래턱(Mandible) 쪽으로 음극(Cathode) 측인 C3~C5 점을 위치시키면 촬영조건이 보정되어

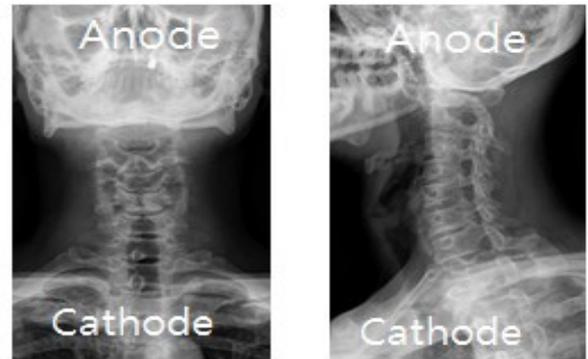


Fig. 9. C-Spine AP C-Spine oblique

영상의 화질 향상과 수정체(Lens)의 피폭을 줄일 수 있다. Fig. 10에서 주로 뒷머리뼈(Occipital bone)을 보기 위한 촬영법인 Skull townes의 경우에는 반대로 음극(Cathode) 측이 위로 양극(Anode) 측인 A3~A5 점이 아래턱(Mandible) 쪽으로 위치시켜 각도를 주는 것이 촬영조건을 바로잡아 줄 수 있다.

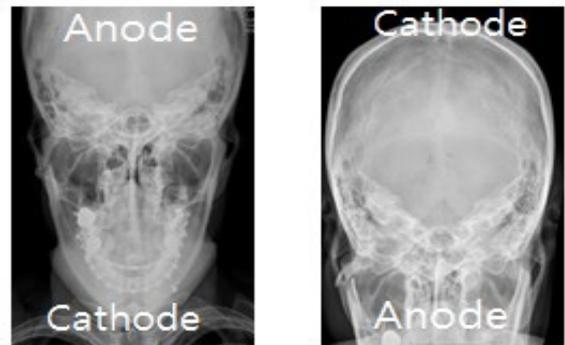


Fig. 10. Mandible townes Skull townes

Fig. 11에서 골반(Pelvis)부위의 검사법 중 머리 쪽(Cephalad)으로 30도 각도가 들어가는 Outlet view(Taylor method)^[7]는 음극(Cathode)쪽으로 각도를 주어 두께가 두꺼운 엉덩뼈 능선(Iliac crest) 쪽으로 음극(Cathode) 측인 C3~C5 점을 위치시키고 두께가 얇은 폐쇄구멍(Obturator foramen) 쪽으로 양극(Anode) 측인 A3~A5 점을 위치시키고 반대로 다리쪽(Caudad)으로 30도 각도가 들어가는 Inlet view(Lilienfeld method)^[7]의 경우는 음극(Cathode) 측인 C3~C5 점을 폐쇄구멍(Obturator foramen) 쪽으로 향하게 하여 촬영하면 두께에 따른 촬영 조건을 보정시켜 균일한 영상을 획득할 수 있다.

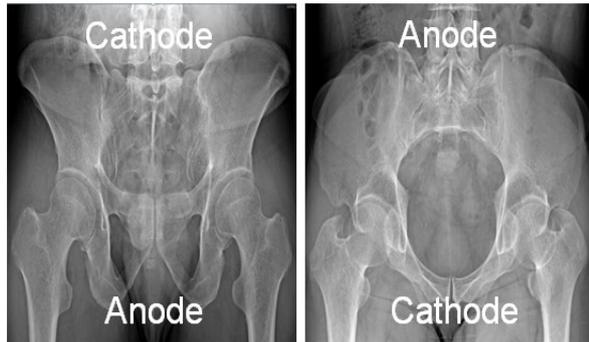


Fig. 11. Outlet view Inlet view

현재 Anode heel effect에 관한 연구인 장근조^[9]의 논문과 달리 본 논문은 X-선관의 양극(Anode)과 음극(Cathode)측 방향의 각도에 따른 ESD를 비교한 연구로 의의가 있으나 본원의 장비로 실험하여 측정치가 절댓값이 아니고 촬영 장치 종류에 따른 영향을 세분화하여 적용하지 못한 한계점이 있다.

V. CONCLUSION

X-선관이 수직인 촬영법인 경우 방사선 감수성이 높은 장기가 위치해 있는 쪽으로 양극(Anode)을 위치시키면 피폭을 줄일 수 있었다. X-선관의 각도를 주고 촬영할 경우에는 음극(Cathode) 측으로 각도를 주는 것이 양극(Anode)과 음극(Cathode) 측의 ESD 차이를 줄일 수 있었다. 또한, 상, 하 두께 차이가 있는 부위에 X-선관의 각도를 주고 촬영할 경우에는 음극(Cathode) 측이 두꺼운 부위를 향하게 각도를 주는 것이 ESD 차이를 줄여 좀 더 균일한 영상을 만들 수 있었다.

Reference

- [1] <http://www.mfds.go.kr/index.do?mid=675&seq=22654&cmd=v>
- [2] Radiation Control Textbook Compilation Committee, *Radiation Protection & Safety*, Chung-Ku, 2014.
- [3] Research Association a medical image information system, *PACS for Medical Image*, Chung-Ku, 2014.
- [4] D. M. Kweon, S. S. Kim, Y. G. Kim, *Analog & Digital, PACS*, Daihakseolim, 2011.
- [5] K. L. Bontrager, J. P. Lampignano, *TEXTBOOK of Radiographic Positioning and Related Anatomy*, Sixth

Edition, Jungdam, 2009.

- [6] K. K. L. PUNG, W. B. GILBOY "Anode heel effect on patient dose in lumbar spine radiography", *The British Journal of radiology*, Vol. 73, No. 4, pp. 531-536, 2000.
- [7] The Korean Society of Medical Imaging Technology, *TEXTBOOK of Radiographic Positioning and Clinical Diagnosis*, 3rd Edition, Chung-Ku, 2009.
- [8] I. H. Go, Y. L. Kim, Y. J. Kim, T. H. Kim, H. S. Kim, Y. S. Park, J. B. Park, C. W. Park, T. J. Ji, *Radiation Biology*, Komoonsa, 2013.
- [9] K. J. Jang, N. H. Kim, J. H. Lee, S. B. Lee, "Distribution of X-ray Strength in Exposure Field Caused by Heel Effect", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 5, No. 5, pp. 223-229, 2011.

X-선관 각도 변경에 따른 Anode Heel Effect

신성규,¹ 이효영^{2*}

¹동아대학교병원 영상의학과

²동의대학교 방사선학과

요 약

본 연구는 X-선관 각도 변경에 따른 경사효과(Anode Heel Effect)의 변화를 알아보려고 실시하였다. 실험 조건은 70 kV, 30 mAs, 초점-검출기간의 거리 100 cm, 조사야는 35×43 cm², 측정점은 조사야의 정중앙점에서 좌우 3.5 cm 간격으로 나누어 양극쪽으로 A1, A2, A3, A4, A5, A6 점을 설정하고 음극쪽으로 C1, C2, C3, C4, C5, C6 점으로 설정하였다. X-선관을 수직으로 하여 측정점인 A6에서 C6까지 각각 입사표면선량을 측정하였다. 다음에 X-선관을 양극쪽으로 15도 30도로 변경 하면서 각각 측정하고 같은 방법으로 음극쪽으로 15도 30도로 변화시켜 측정하였다. 결과로 X-선관이 수직인 경우 A5보다 C5점이 3배정도 입사표면선량이 높게 나타나 수직 촬영 시 방사선감수성이 높은 장기가 위치해 있는 쪽으로 양극을 위치시키면 피폭을 줄일 수 있었다. X-선관의 각도를 주고 촬영할 경우에는 음극측으로 각도를 주는 것이 양극과 음극측의 입사표면선량 차이를 줄일 수 있으며 상, 하 두께 차이가 있는 부위를 촬영할 경우에는 음극측이 두꺼운 부위를 향하게 각도를 주는 것이 입사표면선량의 차이를 줄여 좀 더 균일한 영상을 만들 수 있었다.

중심단어 : 경사효과, X-선관, 양극, 음극, 입사표면선량