

# 의료 방사선 영상에서 환자 피폭 선량 모니터링과 관리 방법에 대한 고찰

윤영욱<sup>1</sup> · 김남현<sup>1\*</sup> · 김정수<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 의과대학 의용전자공학과  
<sup>2</sup>고려대학교 보건과학대학 방사선학과  
<sup>3</sup>경산1대학교 방사선학과

## A study of Patient Radiation Dose Monitoring Method and Management Method on Radiography

Young Wook Yoon<sup>1</sup>, Nam Hyun Kim<sup>1\*</sup>, Jung Su Kim<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Department of Medical Engineering, College of Medicine, Yonsei University, Seoul, Korea

<sup>2</sup>Department of Radiologic Science, College of Health Science, Korea University, Seoul, Korea

<sup>3</sup>Department of Radiologic Technology, Gyeongsan 1 University College, Daegu, Korea

### = Abstract =

Medical radiation has been essential for diagnosis and treatment. However radiation also can cause injuries without monitoring appropriately. It was necessary to understand how to monitor medical radiation to prevent injury from medical radiation. In this study, methods for monitoring and managing patient dose were covered. Estimation of patient dose and required information obtained by medical staff were also discussed. It was necessary for operators using radiation to understand and consider these methods for control of radiation dose.

**Key words:** Radiography, Radiation dose monitoring, Dose management

## 서론

1895년 빌헬름 콘라트 뢰트겐(Wilhelm Conrad Röntgen)에 의해 X 선이 발견된 이후 방사선은 인체 인류의 의학 발전에 지대한 공헌을 했다. 최근 의학 기술과 과학기술의 발전으로 질병으로부터 인간의 목숨을 구하는데 더욱더 많은 분야에서 방사선이 활용되고 있다. 분명히 방사선의 발견은 의학 분야에 뿐 아니라 과학에 있어서 혁명을 일으켰다 할 수 있다.

2011년 3월 발생한 일본의 원전 사고로 인하여 일반 대중들의 방사선에 대한 우려가 급속히 증가한 가운데 2011년 11월 서울시 노원구 일대의 아스팔트로부터 측정된 높은 방사선 수치로 인하여 일반인들의 방사선에 대한 민감성은 더욱 높아졌다. 이와 더불어 의료 방사선에 대한 관심도 한층 증가된 상태이다. 하지만 원자력 발전소나 방사성 물질로 인한 방사선 피폭에 대해 매우 민감한 사람들이 의료방사선에 대해서는 아직도 관대한 것이 현실이다. 원자력 발전소 20기에서 방사선을 취급하는 종사자의 피폭을 모두 합한 수치보다 하나의 대형 대학 병원에서 환자를 진료하기 위해 인공적으로 발생시키는 방사선 피폭(방사선 치료에 의한 피폭 제외)의 수치가 2~3배 이상이다. 방사선 피폭의 보건영향은 일반적으로 두 가지로 분류

통신저자: 김남현, (120-752) 서울시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 의과대학 의용공학과  
Tel: 02-2228-1915, Fax: 02-363-9923  
E-mail: KNH@yuhs.ac

된다. 높은 선량 피폭 후 주로 세포가 사멸하거나 제 기능을 발휘하지 못하는 결정론적 영향과 세포 돌연변이에 의해 피폭자에 암 발생 또는 생식세포 돌연 변이에 의한 유전적 질환이 관련되는 확률적인 영향으로 나눌 수 있다 [1].

## 정의

### 조사선량 (radiation exposure)

X는 dQ를 dm으로 나눈 값이다. 여기서 dQ는 질량이 dm인 공기 중 광자에서 의해 발생한 모든 전자와 양전자가 공기 중에서 완전히 정지할 때까지 발생한 이온의 모든 전하의 절대값이다. 조사선량의 단위는 C/kg을 사용 한다 [3].

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

### 흡수 선량 (absorbed dose)

방사선이 물질과 상호 작용한 결과 그 물질의 단위질량에 흡수된 에너지를 흡수선량이라고 한다. 흡수선량을 방사선의 종류나 물질의 종류에 관계없이 사용한다. 흡수선량의 SI단위로 그레이(gray, 기호: Gy)를 사용한다. 물질 1 kg에 1 J의 에너지를 방사선으로부터 흡수하였을 때 이것을 1 Gy라 한다. 흡수선량은 방사선방어와 사람에 대한 위험성을 평가할 때 주로 사용 된다. 신체의 기관이나 조직에 대한 흡수 선량은 계산되어지는 것이 일반적이다 [2]. 과거에 사용하던 단위는 라드(rad)이며 1 rad = (1/100) J/kg = (1/100) Gy의 관계가 성립된다.

### Air Kerma

X-선 또는  $\gamma$ -선을 공기에 조사했을 때 유리되는 하전 입자의 초기 운동에너지를 공기 1 kg에 대하여 나타낸 X-선 또는  $\gamma$ -선의 조사량. 단위는 그레이(Gy)이다.

### 등가선량 (equivalent dose)

등가선량 (HT)은 흡수선량 (D)에 방사선의 종류에 따른 생물학적 효과를 고려하여 보정한 양으로 조직 또는 장기의 흡수 선량에 방사선가중치 (WR)를 적용한 양이다.

$$HT = D \times W_R \text{ (Sv, rem)}$$

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rem}$$

### 유효선량 (effective dose)

방사선의 노출에 대해 특정 부위의 예민도를 표현하는 조직

가중치(organ weighting factor,  $W_T$ )를 감안하여 확률적 위험의 관점을 포함한 조직이나 기관의 선량이다. 유효선량은 인체 내 조직간의 선량 분포에 대한 위험성의 정도를 하나의 양으로 나타내기 위하여 각 조직의 등가 선량에 해당 조직의 조직 가중치를 곱하여 이를 모두 합산하여 나타낸다.  $D_{T,R}$ 은 방사선 R에 기인된 조직 또는 장기 T에 대한 흡수 선량이고 유효선량의 단위는 J/kg 이다 [4].

$$E = \sum_T W_T H_T = \sum_T W_T \sum_R W_R D_{T,R}$$

## 환자선량 모니터링 방법

진단 방사선 검사 영역에서 환자의 선량을 모니터링 하는 방법에는 직접적인 방법과 간접적인 방법으로 구분된다. 환자의 특정한 부위에 선량계를 위치시키거나 부착해서 직접 피부 선량을 측정하고 이를 기초로 하여 X선의 선질이나 기술적인 팩트를 이용하여 다른 부위를 계산하는 방식을 사용한다.

### 직접 측정법

직접 측정법은 환자의 피부에 전자적 선량계나 필름선량계, 열형광선량계와 같은 것을 부착 하여 측정하는 것을 이야기한다. 몇 가지 방식의 전자적 선량계가 상업적으로 사용가능 하다.

전자적 선량계의 경우 작은 포토다이오드나 트랜지스터를 사용하고 있으나 영상을 만드는 필드 안에 측정을 위한 디텍터나 연결을 위한 리드가 존재하는 제약이 있다. 이에 반해 필름 선량계의 경우 필름의 광학적 흑화도를 이용하여 측정하는 원리를 이용하고 있다. 하지만 필름 선량계는 2Gy 이상의 선량에서는 광학적 포화도에 의해 더 이상의 측정이 불가능한 단점을 가지고 있다. 또한 열형광선량계의 경우는 정확성이 뛰어난 장점을 가지고 있으나 별도의 판독 장비가 필요하기 때문에 모든 검사가 종료되어 판독기를 거치기 전까지는 조사된 선량을 확인할 수 없고 위치하는 장소에 따라 그 정확성에 영향을 미친다 [5].

### 간접 측정법

간접적인 측정법에는 환자를 검사하는 도중에 실시간으로 표시되는 dose rate와 cumulative dose, dose-area product, 수동으로 기록되는 투시시간이 여기에 속한다.

Cumulative dose는 피부에 조사되는 전체 방사선의 조사 선량의 합으로 표시된다. 이 cumulative dose 일반적으로 피부에 조사되는 량보다 높게 측정될 수 있다. 이는 X선관 장치

가 각도를 주어 다른 부위에 입사 되더라도 동일한 부위로 흡산하여 표시하므로 실제 입사된 양보다는 높게 표시된다. 하지만 이는 환자의 방사선 상해에 대한 결정론적인 영향을 예측하는 지표로 사용이 가능하다. dose-area product 값의 경우 콜리메이터 앞에 설치된 공기 이온 전리조에 의해 측정되는 값으로 실시간으로 환자에 조사된 방사선의 량을 측정하는 것이 가능하지만 환자의 사이즈나, 장비의 모델, 조사되는 빔의 기하학적 조건, 움직임에 대한 보정이 어렵다는 단점이 있다. dose-area product은 결정론적인 영향을 평가하기에는 부족하지만 확실적인 영향을 평가하는 좋은 지표로 사용이 가능하다 [9, 10]. 또한 수동으로 측정되는 투시 시간이나 영상의 프레임수도 중요한 측정방법 중에 하나 이다. 직접측정법은 간접측정법에 비하여 실시간 확인이 가능하므로 환자의 검사 중 측정된 선량의 정도에 따라 검사 조건의 변동이 가능하다.

방사선 투시 장비의 경우 미국 식품의약품안전청(Food and Drug Administration, FDA)에서는 2006년 6월 10일부터 생산되는 모든 장비에서 간접적인 측정이 가능한 선량계를 장비 차체에 부착하도록 하고 있다.

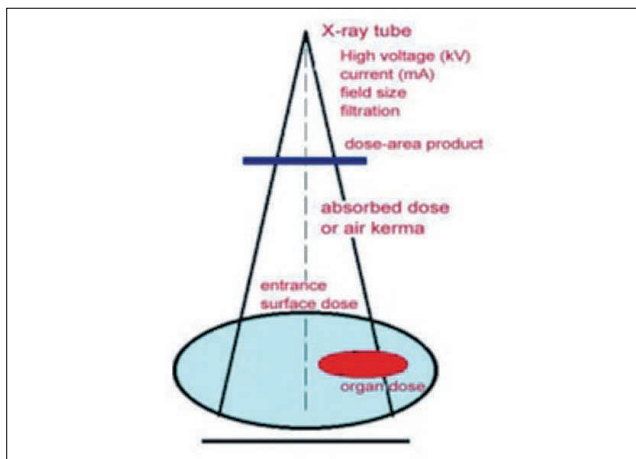


Fig. 1. 환자의 방사선 피폭선량 측정 지점

### 환자 피폭선량 관리

방사선 검사 중 발생하는 방사선 피폭은 실시간으로 모니터링 되어 환자의 검사에 즉각적으로 반영되는 것이 중요하다. 이와 더불어 피폭선량 관리에는 방사선 작업 종사자에 대한 교육과 피폭선량에 대한 추적 조사 또한 중요한 요소이다.

#### 방사선작업 종사자의 교육

방사선 검사에 종사하는 의사와 방사선사 그 외의 종사자들에 대한 교육은 환자의 선량을 줄이는 것뿐 아니라 종사자 자

신의 피폭 선량을 줄이는 효과를 가져온다. 종사자의 교육에는 방사선으로 인한 생물학적 효과와 잠재적 효과에 대한 내용이 포함 되어야 하고, 환자와 종사자의 방사선 방에 대한 내용, 납 앞치마와 납 안경, 갑상선 보호장비와 같은 방어장비에 대한 정확한 이해가 포함되어야 한다. 그리고 여기에는 개인의 피폭 선량 모니터링과 피폭의 선량한계 범위에 대한 행동 요령 또한 포함되어야 한다.

새로운 장비가 도입되거나 신입 종사자가 배치될 경우에는 장비에 대한 모든 교육이 완료될 때까지 신입직원 혼자서 장비를 조작해서는 안되고 교육에 대한 수료가 이루어지기 전까지는 장비에 대한 사용은 감독자와 같이 이루어져야 한다 [12]. 또한 종사자에 대한 교육은 방사선 안전 위원회에 의해 년 단 위 재교육이 이루어져야 한다.

### 환자 피폭선량 추적 관리

미국 식품의약품안전청(FDA)의 권고에 권고에 의하면 2006년부터 생산되는 방사선 장비에는 에어 커마나, 적산 에어 커마를 표시하기 위한 장치를 부착해야 한다. 이 장치에서는 환자의 피부에 입사되는 선량을 표시하도록 하고 있다 [6]. FDA의 규정에 의하면 방사선 장치에 부착되는 모니터링 장치의 정확성은 +35~-35%의 오차를 인정하고 있다 [11]. 이 측정치는 잠재적 방사선 위험성에 대한 유의한 지표로 사용이 가능하다. 미국의 경우 환자의 방사선 피폭 증가를 모니터링 하기 위해 FDA 산하 Devices and Radiological Health 위원 회 에 서 는 Nationwide Evaluation of X-ray Trends(NEXT) survey program: every year report diagnostic radiation area dose라는 프로젝트를 통해 매년 환자의 피폭 선량을 모니터링하고 있고 영국의 경우 Institute of Physical Sciences in Medicine(IPSM)의 Diagnostic Radiology Topic Group- Dosimetry Working Party에서 환자의 피폭 선량에 대한 모니터링을 하고 있다.

환자의 피폭선량 추적을 위해서는 모든 환자의 방사선 조사에 대한 기록의 보존이 필요하다. 또한 각 기관의 진단 참조준위를 통해 과피폭된 환자에서는 추적조사를 위한 전문적인 관리 체계의 도입도 필요하다. 이러한 추적 관리 체계에서는 각각의 한계선량을 명시하여 한계선량을 초과한 환자에서는 적

Table 1. Radiation Monitoring Dose Notification Thresholds

Parameter	1 <sup>st</sup> Notification	2 <sup>nd</sup> Notification
PSD	2000 mGy	500 mGy
K <sub>a,r</sub>	3000 mGy	1000 mGy
P <sub>KA</sub>	300 Gy.cm <sup>2</sup>	100 Gy.cm <sup>2</sup>
FT	30 min	15 min

절한 후속 의료조치를 취하도록 하고 있다. 일반적으로 한계 선량의 범위는 연구자에 따라서 1 Gy 에서 6 Gy 까지의 범위를 가진다. Stecker, Michael S., M.D., S Balter, Ph.D. 의 연구에서 제시한 한계선량은 Table 1과 같다 [2].

1995년 FDA에서는 피부선량이 1 Gy를 넘어서는 환자에서는 의무기록에 기록 보관하기를 권고하였고, 2000년에 발표된 ICRP publication 85에서는 일회성 검사의 경우 3 Gy, 반복적인 검사의 경우 1 Gy를 넘을 경우 기록하도록 권고하였다 [7]. 또한 60일 이내에 조산된 방사선 피폭 선량의 경우 흡산하여 받은 것으로 산정하도록 권고하고 있다. 한계치를 넘는 모든 환자의 추적 관리는 환자가 방사선 검사를 받은 날로부터 3주 후에 반드시 의료기관의 방사선 안전 위원회 소속 관리자로 하여금 확인 절차를 거치도록 해야 한다. 그리고 환자에게 임상적 증상이 있는 경우에는 이에 적절한 임상적 처치가 수반되어야 한다. 미국의 경우 이러한 임상적 처치의 근거는 1990년에 FDA에 의해 제정된 Safe Medical Devices Act에 의한다 [8].

## 결 론

최근 이웃한 일본의 후쿠시마 원자력 발전소 사고로 인하여 국민들의 방사선 안전에 대한 관심이 증가한 가운데 미국에서는 LA의 한 병원에서는 CT에 의한 과피폭 사례까지 보고되어 전 세계적으로 의료 방사선에 대한 관심이 증가하고 있고 이에 각 의료기관에서 환자의 방사선 피폭을 저감화하기 위한 모니터링과 관리 체계의 수립에 관한 많은 연구를 진행하고 있다. 국내의 경우 식품의약품안전청과 방사선의학회, 방사선사협회를 비롯한 유관 단체와 기관에서 의료 방사선 저감화를 위한 많은 노력을 진행 하고 있다. 따라서 정확한 환자의 방사선 피폭 선량의 모니터링을 위한 가이드라인의 이해와 관리 체계의 수립은 환자의 방사선 피폭을 저감하기 위해 필수적이다. 이에 각 의료기관 별로 환자 선량 모니터링을 위한 방법을 수립하고 방사선 안전위원회를 구성하여 체계적인 관리를 하는 것이 시급하다. 특히 방사선 상해가 발생할 우려가 있는 환자에 대한 추적 조사와 기록은 향후 환자가 가질 수 있는 잠재적 위험을

사전에 예방하기 위해 필수적인 요소로 평가 되어야 한다. 이러한 노력은 환자와 방사선 종사자로 하여금 방사선 피폭의 오남용을 막을 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

1. ICRP The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 103.
2. Stecker, Michael S., M.D., S Balter, Ph.D., et al. Guidelines for Patient Radiation Dose Management. *Journal of Vascular and Interventional Radiology* (2009) 20: pp S263-S273
3. 식품의약품안전청, 방사선안전관리시리즈 No.14. 환자선량 측정 가이드라인. 12. 2007
4. Hee-Joung Kim, Chang-Lae Lee: Physical Aspects and International Trends of Medical Radiation Exposure. *KSIIM* 2011;17:1-9
5. Conference of Radiation Control Director: Technical White Paper: Monitoring and Tracking of Fluoroscopic Dose. *CR-CPD Publication #E-10-7*. December 2010
6. US Food and Drug Administration. Performance standards for ionizing radiation emitting equipment, § 1020.32: fluoroscopic equipment. Available at: <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?FR=1020.32>.
7. International Commission on Radiological Protection, 2000, Publication 85: Avoidance of Radiation Injuries from Medical Interventional Procedures, Pergamon Press, Elsevier Science, Inc, USA
8. Ellen J. Flannery, Eaq; The Safe Medical Device Act of 1990 : An Overview. *Food, Drug, Cosmetic Law Journal* 1991 [http://heinonline.org/HOL/Page?handle=hein.journals/foodlj46&div=32&g\\_sent=1&collectcol=journals](http://heinonline.org/HOL/Page?handle=hein.journals/foodlj46&div=32&g_sent=1&collectcol=journals)
9. Chu RYL, Fisher J, Archer BR, et al. Standardized methods for measuring diagnostic x-ray exposures. *AAPM Report no. 31*. College Park, Md: American Association of Physicists in Medicine, 1990
10. Rosenthal LS, Mahesh M, Beck TJ, et al. Predictors of fluoroscopy time and estimated radiation exposure during radiofrequency catheter ablation procedures: a multicenter experience. *Am J Cardiol* 1998;82:451-458.
11. Performance standards for ionizing radiation emitting products. 21 Code of Federal Regulations 1020.32. Available at <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=1020.32>. Accessed Dec 10, 2012
12. D.E. Hutchinson \*, B.J. Cobb, C.S. Jacob: A compliance testing program for diagnostic X-ray equipment. *Applied Radiation and Isotopes* 1999;50:237-245

**= 초 록 =**

방사선의 이용은 의료에 있어서 질병의 진단과 치료에 필수적인 요소이다. 하지만 의료 방사선의 이용은 양면을 가지고 있어 정도 관리가 이루어지지 않을 때에는 심각한 상해를 가져오기도 한다. 의료 방사선에 대한 상해를 예방하기 위해서는 의료 방사선 사용에 대한 정확한 측정방법과 관리방법에 대한 이해가 필수적이다. 논문에서는 환자의 선량 모니터링 방법과 관리방법에 살펴 보고자 한다. 의료 방사선 검사에서 사용되는 피폭선량의 모니터링 방법은 직접적인 방법과, 간접적인 방법으로 나눌 수 있다. 직접적인 방법은 여러 가지 제약사항이 존재하므로 간접적인 방법의 사용이 유리하다. 특히 환자의 피폭선량을 관리하는 방법에서는 환자의 피폭선량에 추적 조사 방법과 의료진이 포함해야 하는 정보에 대해서 논의할 것이다. 환자에 대한 피폭선량의 모니터링과 관리는 피폭 선량 정도 관리에 해당하는 항목으로 방사선 종사자에게서는 이에 대한 정확한 이해와 환자의 선량을 저감하기 위한 의식의 전환이 필요하다.