

골절 치료 시 정형외과 의사에 대한 방사선 노출

Radiation Exposure to the Orthopaedic Surgeon during Fracture Surgery

김지완* • 김정재

울산대학교 의과대학 서울아산병원 정형외과학교실, *인제대학교 의과대학 해운대백병원 정형외과학교실

목적: 골절 수술 시 발생하는 방사선 피폭선량을 알아보고 술자에 대한 방사선 노출에 대한 위험성을 보고하고자 한다.

대상 및 방법: 2009년 4월 1일부터 2009년 6월 30일까지 정형외과 외상 전문의 2명을 대상으로 하여 골절 수술 시 노출되는 방사선에 대해 방사선 차폐 가운의 안과 밖 왼쪽 가슴 부위에 각각 1개씩의 방사선 열형광 선량계를 부착하여 방사선 피폭선량을 측정하였다.

결과: 3개월 간 노출된 방사선 피폭선량은 차폐 가운 밖에서 각각 5.22 mSv, 4.34 mSv, 차폐 가운 안에서는 각각 1.83 mSv, 0.71 mSv로 측정되어, 납 가운에 의한 방사선 차폐 효과는 각각 64.9%, 83.6%였다. 연구 기간 동안 방사선 투시 영상기를 이용하여 시행한 골절 수술 건수는 81 예였으며, 방사선 투과 시간은 평균 130초(1-497초)였다.

결론: 방사선 차폐 가운을 입지 않은 상태의 피폭 선량을 연간으로 환산할 경우 연간 허용량을 초과하거나 근접하였다. 따라서 환자의 치료 시 노출되는 방사선에 대한 주의가 필요하며, 방사선 노출을 최소화하기 위해 차폐 가운의 착용 등 적극적인 노력을 해야 할 것이다.

색인단어: 골절 치료, 투시 조영기, 방사선 노출, 방사선 피폭선량

서 론

골절 치료를 위해 많은 방법들이 소개되어 왔고, 방사선 투과 촬영기를 이용한 수술 술기가 가능해지면서 골반환 고정 혹은 금속 정을 이용한 수술이 용이해졌다. 2000년부터 임상적으로 사용되기 시작한 locking compression plate (LCP)를 이용한 최소 침습적 금속판 고정술은 상완골 뿐 아니라 요골, 대퇴골, 경골 등의 장골 골절에 있어 널리 사용되어 왔고, 많은 저자들에게 의해 다양한 골절 형태에서 우수한 임상 결과를 보고하고 있다.¹⁻⁷⁾ 하지만 최소 침습적 금속판 고정술과 금속정 내고정술 등 방사선 투과 촬영기를 이용한 술기들이 증가되면서 수술자의 방사선 노출에 대한 위험이 제기되고 있다. 장기간의 방사선 노출은 갑상선 등의 장기 암 발생, 백내장 등을 일으킬 수 있으므로 이에 대한 주의가 각별히 요구되며,^{8,9)} 이러한 위험성을 고려하여 국제 방사선 방어 위

원회(The International Commission on Radiological Protection)에 서는 방사선 노출 허용량을 제시하였다(Table 1).¹⁰⁾ 즉, 정형외과 의사의 경우 1년 간 전신에 허용되는 방사선 피폭선량은 20 mSv이며, 눈에는 150 mSv, 갑상선에는 300 mSv까지 허용하고 있다. 하지만, 국내 실정에서 정형외과 수술 시 수술자에 노출되는 방사선 피폭선량에 대해서는 측정하여 발표되어 있는 바도 없으며, 방사선 보호 장구의 중요성에 대해서도 언급하고 있는 바가 없다. 본 연구에서는 골절 수술 시 발생하는 방사선 노출을 조사하여 수술자에 대한 방사선 피폭선량 정도를 평가하고, 정형외과 의사에 대한 방사선 노출의 위험성에 대해 알리고자 하였다.

대상 및 방법

2009년 4월 1일부터 2009년 6월 30일까지 본원 정형외과 외상 전문의 2명(교수 1명, 전임의 1명)을 대상으로 하여 골절 수술 시 노출되는 방사선 피폭에 대한 조사를 하였다. 방사선 피폭선량에 대한 측정은 열형광 선량계(Thermoluminescent dosimeter, TLD)를 이용하였으며, 본 연구에서 사용된 선량계는 형광체인 Tm를 미량으로 첨가한 CaSO₄와 Cu를 미량으로 첨가한 Li₂B₄O₇ 등의 결정분말을 작은 셀에 충전한 열형광 선량계(UD-802, Panasonic, Secaucus, NJ, USA)를 이용하여 한일 원자력 주식회사에 의뢰하

접수일 2009년 9월 2일 게재확정일 2009년 12월 16일

교신저자 김정재

서울시 송파구 풍납2동 388-1, 울산대학교 의과대학 서울아산병원 정형외과학교실

TEL 02-3010-3538, FAX 02-488-7877

E-mail jikim2@amc.seoul.kr

*본 논문의 요지는 2009년도 대한골절학회 추계학술대회에서 발표되었음.

대한정형외과학회지 : 제 45권 제 2호 2010 Copyrights © 2010 by The Korean Orthopaedic Association

"This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited."

여 선량을 측정하였다. 대상자 2명에 대하여 연구 기간 3개월 동안 방사선 투시 조영기를 사용하는 모든 수술 시 방사선 차폐 가운을 착용한 후 가운의 안과 밖 왼쪽 가슴 부위에 각각 1개씩의 TLD를 부착하여 3개월 간의 방사선 피폭선량을 측정하였다(Fig. 1). 착용한 방사선 차폐 가운은 0.35 mm 두께의 납 성분이 들어간 Mavig x-ray Apron Basic 640 (Siemens, Erlangen, Germany)이며, 수술 외 시간에는 TLD를 부착한 방사선 차폐 가운을 수술장 입구에 보관하였다.

Table 1. Annual Recommended Limits for Occupational and Nonoccupational Radiation Exposure

Exposure	Maximum permissible annual dose (mSv)
Occupational	
Total (whole body) dose	20 or 50*
Dose to the eye	150
Dose to the thyroid gland	300
Total dose to an individual organ (excluding the eye)	500
Dose to the skin or extremity (eg, hands)	500
Minor (aged <18 years)	10% of adult
Dose to embryo or fetus	5 over 9 months
Nonoccupational	
Individual members of the public	1 per year
Unrestricted area	0.02/hr

*The international Commission on Radiological Protection recommends a maximum of 20 mSv/yr; the National Council on Radiation Protection and Measurements recommends a maximum of 50 mSv/yr.



Figure 1. Photograph showing the location of TLD (thermo luminescent dosimeter). One TLD is placed at the left chest (in and out of the apron). The radio-protective apron is a half apron.

연구 기간 동안 방사선 투시 조영기를 이용한 수술의 빈도를 조사하였으며 진단명, 수술명 및 수술에 따른 방사선 조사 시간에 대해 조사를 하였다. 방사선 투시 조영기는 OEC 9800 C-arm (GE Healthcare, Salt Lake city, UT, USA) 모델로 상방에 위치하는 x-ray tube로부터 하방에 위치하는 투과기(intensifier)까지의 거리는 798 mm이며, 투과기의 크기는 직경 12 inch이다. 수술 도중 방사선 투시 조영기 사용 시 방사선 노출을 줄이기 위해 조영기로부터 거리를 의도적으로 멀리하거나 하는 별도의 노력은 하지 않았으며, 수술 도중 통상적으로 노출되는 방사선 피폭량을 측정하였다. 다만, 방사선 노출을 줄이기 위해 이미지를 저장하여 필요한 경우 저장된 화면을 불러와서 수술을 진행하였다. 이 연구는 본원 임상 연구 윤리 심의 위원회의 승인을 받았다.

결 과

외상 교수의 경우 3개월 간 노출된 방사선 피폭선량은 차폐 가운 밖에서 측정한 결과가 5.22 mSv, 차폐 가운 안에서 측정한 결과는 1.83 mSv로 납 가운에 의한 방사선 차폐 효과는 64.9%였다. 이를 1년치로 환산해 보면 차폐 가운을 사용하지 않을 경우 20.88 mSv, 착용한 부위는 7.32 mSv가 된다. 외상 전임의의 경우 가운 밖에서

Table 2. The Equivalent Dose (mSv) Exposure Measured with TLD

	TLD	Equivalent dose (mSv)	Calculated annual equivalent dose (mSv)
Doctor 1	Outside	5.22	20.88
	Inside	1.83	7.42
Doctor 2	Outside	4.34	17.36
	Inside	0.71	2.84

TLD, thermo-luminescent dosimeter.

Table 3. Estimates of Exposure Time during Surgical Procedure

	Case	Total time	Mean time per case
External fixation	6	7m 22s	1m 14s
MIPO	14	28m 38s	2m 3s
Intramedullary nail	19	64m 3s	3m 22s
Pelvic or acetabular fracture	5	9m 21s	1m 52s
ORIF	15	22m 31s	1m 30s
Removal of implant	5	1m 31s	18s
Others	12	26m 39s	2m 13s
Combined procedures	5	10m 29s	
Total	81	170m 34s	

MIPO, minimal invasive plate osteosynthesis; ORIF, open reduction and internal fixation; m, minute; s, second.

측정한 값이 4.34 mSv, 안에서 측정한 값이 0.71 mSv로 가운으로 인한 방사선 차폐 효과는 83.6%였다. 이를 1년치로 환산해 보면 차폐 가운을 사용하지 않을 경우 17.36 mSv, 착용한 부위는 2.84 mSv가 된다(Table 2).

연구 기간 동안 방사선 투시 촬영기를 이용하여 시행한 골절 수술 건수는 78명, 81예였으며, 방사선 투과 시간은 170분 34초였다(Table 3). 수술 방법별로 분류해서 방사선 노출 시간을 살펴보면 외고정장치 시술이 6예로 7분 22초, 평균 1분 14초(23-127초), 최소 침습 금속판 고정술이 14예 28분 38초(19-394초), 금속정 수술이 19예 64분 3초, 평균 3분 22초(107-436초)였다. 비구 및 골반 골절은 5예로 9분 21초, 평균 1분 52초(72-194초)였고, 금속물 제거술 5예 1분 31초, 평균 18초(2-29초), 고식적 금속판 고정술(골이식술 수술 포함)이 15예 22분 31초, 평균 1분 30초(1-194초)였으며 기타 수술 12예 26분 39초, 평균 2분 13초(5-263초)였다. 나머지 2명의 환자 수술 5예는 한 번의 마취 하에 여러 가지 수술을 동시에 시행하여 수술별 방사선 노출 시간이 구분되어 기록되지 않았으며, 5예의 노출 시간은 합계 10분 29초였다(Table 3).

고 찰

정형외과 영역에서 투시 조영기는 척추 수술, 골절 수술 등 다양한 수술에 이용되고 있어 정형외과 의사로서 근무하는 동안 흔히 방사선 노출된다는 것은 경험하고 있으나, 방사선 노출에 대한 직업상 위험에 대해서는 국내에서 아직 보고된 바가 없다.

본 연구에서 방사선 차폐 가운 밖에서 측정한 방사선 피폭 선량은 연간으로 환산하였을 경우 각각 20.88 mSv, 17.36 mSv였다. 이는 국제 방사선 방어 위원회에서 권고하는 직업상 최대 허용치인 20 mSv를 넘거나 육박하는 수치로서 정형외과 의사는 방사선 노출에 위험을 안고 있음을 확인할 수 있다.

정형외과 의사에 있어서 방사선 피폭에 의한 신체 손상은 고선량에 의한 급성 손상보다는 저선량의 방사선에 지속적으로 노출될 때 발생할 수 있는 손상에 주의를 기울여야 할 것이다. 지속적인 방사선 노출은 유전자 변형과 암 발생 등을 유발할 수 있고,^{10,11)} 안구(수정체), 경부(갑상선), 골수 조직(간과 비장), 생식선, 수부(피부) 등에 미치는 영향에 대한 관심이 있다. Maxon 등⁸⁾에 의하면 저선량의 방사선 피폭선량인 연간 10 mSv당 성인 100만명당 4.2예의 갑상선 암의 발생 위험이 있다고 하였다. Merriam과 Focht⁹⁾는 방사선과 연관된 백내장은 최소 2,000 mSv 이상의 피폭이 되었을 때 나타난다고 하였다. 아직 선량과 반응의 관계가 정확하게 밝혀지지 않았지만 낮은 선량으로도 백혈병 등의 암을 일으킬 수 있을 것이다.¹²⁾

방사선 피폭에 대한 우려로 인하여 국제적으로 한계선량을 정하여 방사선 피폭량을 관리하려는 노력이 있어, 국제 방사선 방어 위원회에서는 권고안인 'ICRP 60'에서 직업상 방사선 노출은

개인의 방사선 피폭선량이 연간 50 mSv 및 5년간 100 mSv 미만으로 유지하도록 하고 있다.¹⁰⁾ 우리나라에서도 이 권고안에 따라 '진단용 방사선 발생 장치의 안전관리에 관한 규칙'(보건복지부령 제 349호)에 방사선 관계 종사자의 선량한도는 연간 50 mSv 이하 및 5년간 누적선량은 100 mSv 이하여야 한다고 규정하고 있다. 식품의약품안전청에서도 피폭선량관리센터(National Dose Registry, NDR)를 설치하여 '진단용 방사선 안전 관리 규정'(식품의약품 안전청 고시 제 2005-56호)에 따라 3개월간 5 mSv 이하 또는 연간 20 mSv 미만이 되도록 개인별 피폭선량을 관리하고 있다. 2007년도 의료기관 방사선 관계 종사자의 개인피폭선량 연보에 의하면 의사의 연간 평균 피폭 선량은 0.44 mSv이고, 본 연구 대상자의 방사선 차폐 후 측정된 연간 환산 수치인 7.42 mSv, 2.84 mSv는 의사 평균치인 0.44 mSv 보다 높은 수치이다.¹³⁾ 의사의 연간 평균 피폭 선량 구간표에서 확인해보면 상위 1.5%, 3.7% 정도에 해당하는 것으로 정형외과 외상외과 방사선에 많이 노출되어 있는 것을 의미한다고 할 것이다(Table 4).

이번 연구에서 각 수술별로 방사선 투시 영상기를 사용하여 방사선을 조사한 시간을 측정하였는데 증례가 많지 않고, 골절별로 세분화되지 않았다는 단점이 있지만, 금속정을 이용한 수술이 증례당 3분 22초로 가장 많았고, 다음이 최소 침습적 금속판 고정술로 평균 2분 3초의 방사선 조사가 있었다. 정형외과 영역에서 방사선 투과기를 이용한 수술은 척추 수술 및 골절 수술이 있을 것이다. 이 중 골절 수술에 경우 생물학적 고정체의 중요성이 부각되

Table 4. Distribution of Annual Radiation Exposure of Korean Doctors in 2007

Range	Number (%)	Average annual equivalent dose (mSv)
≤ 0.1	4,474 (45.4)	0.05
0.1<--≤0.2	1,942 (19.7)	0.15
0.2<--≤0.3	1,002 (10.2)	0.25
0.3<--≤0.4	594 (6.0)	0.35
0.4<--≤0.5	416 (4.2)	0.46
0.5<--≤0.6	325 (3.3)	0.55
0.6<--≤0.7	181 (1.8)	0.65
0.7<--≤0.8	121 (1.2)	0.75
0.8<--≤0.9	83 (0.8)	0.85
0.9<--≤1.0	69 (0.7)	0.96
1.0<--≤2.0	269 (2.7)	1.41
2.0<--≤5.0	221 (2.2)	3.13
5.0<--≤20.0	134 (1.4)	8.97
20.0<--≤50.0	13 (0.1)	25.56
>50.0	0 (0.0)	0
Total	9,844 (100.0)	0.44

면서 최소 침습적 금속판 고정술의 시술이 확대되고 있는 실정이다. 최소 침습적 금속판 고정술이 골절 치료에는 도움이 될 수 있겠지만 수술자에게는 방사선 조사에 대한 위험을 가중시킬 수 있으므로 이에 대한 논의가 필요할 것이다. 수술 기법에 따른 방사선 조사량에 대한 연구를 살펴보면 1985년 Kempf 등¹⁴⁾은 AO 잠금 대퇴 금속정을 이용한 52예의 수술 시 평균 3.43분 동안 방사선에 노출되었다고 하였고, 1987년 Levin 등¹⁵⁾은 13예의 동일한 수술에서 평균 12.6분간 방사선에 노출되었다고 하였다. 1998년 Müller 등¹⁶⁾은 30예 경골부 금속정의 평균 방사선 노출 시간은 4.16분이라고 하였고, 11예의 대퇴부 금속정 수술의 평균 방사선 노출 시간은 5.56분이라고 하였다. 2002년 Madan과 Blakeway¹⁷⁾는 28예의 경골 금속정 수술 시 consultant surgeon이 집도할 경우 평균 0.56분, middle-grade surgeon이 시술할 경우 평균 1.28분의 방사선 노출이 되었고, 71예의 대퇴부 금속정 수술 시 consultant

surgeon의 경우 평균 0.52분, middle-grade surgeon이 시술할 경우 평균 1.61분의 방사선 노출이 있었다고 하였다. 2006년 Devalia 등¹⁸⁾은 24예의 활강 압박 나사 수술법의 경우 평균 0.64분, 8예의 금속정 수술법의 경우 평균 1.74분의 방사선 조사가 되었다고 보고하였다. Barry¹⁹⁾의 경우 연간 79예의 방사선 검사 및 수술에서 방사선 보호 장치를 한 이후에 체간 부위에서 측정된 방사선 피폭량이 1.7 mSv라고 하였고, Goldstone 등²⁰⁾은 8명의 수술자를 대상으로 하여 수술자 각각 1개월간 1예에서 15예의 수술을 시행한 뒤 수부에서 측정된 방사선 피폭량이 0.048–2.33 mSv라고 하였으며, Fuchs 등²¹⁾의 경우 금속정 삽입술 8예에서 갑상선 부위(보호 장치 착용)에서 측정된 노출량이 0.283 mSv로 보고하였다. 최근 들어 금속정 수술법의 방사선 조사 시간은 줄어드는 추세이긴 하지만, 최소 침습적 금속판 고정술로 인한 방사선 노출이 증가할 것으로 예상된다.



Figure 2. C-arm fluoroscopy with x-ray tube and image intensifier. (A) Typical C-arm fluoroscopy. (B) Inverted C-arm fluoroscopy.

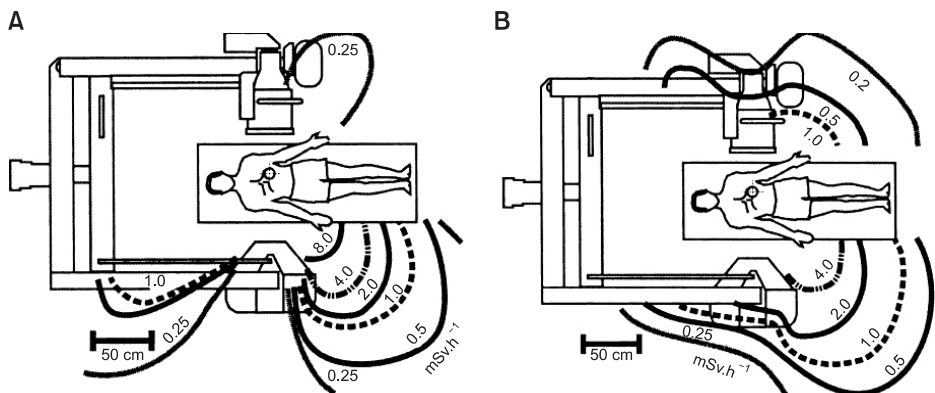


Figure 3. Stray radiation fields for lateral projection. (A) 100 cm and (B) 150 cm above the floor (Reprinted, with permission, from reference 25).

골절 수술을 위해 필요한 방사선 조사에 대해 피폭량을 줄일 수 있는 여러가지 방법들이 소개되고 있다. 첫째 X선으로부터 수술자가 최대한 멀리 떨어지는 것이다. Dosch 등²²⁾에 의하면 금속정 수술 시 40 cm 떨어진 곳에서는 0.17 mSv, 80 cm 떨어진 곳에서는 0.02 mSv의 방사선에 노출된다고 하였다. Mehlman과 DiPasquale²³⁾는 정형외과 수술 팀에 대한 방사선 노출을 조사하였는데, 방사선 투과기로부터 30.5 cm 떨어진 수술자에게는 분당 0.2 mSv, 70 cm 떨어진 조수 수술자에게는 분당 0.06 mSv의 방사선이 피폭되었고, 91.4 cm 떨어진 간호사의 경우 방사선이 거의 피폭되지 않았다고 하였다. 이번 연구 결과에는 포함되지 않았지만, 실제로 본원에서 정형외과 간호사 3명을 대상으로 연간 방사선 피폭량을 측정하였을 때 2명에서는 0.4 mSv, 나머지 한 명에서는 0.5 mSv로 측정되어 스크럽 간호사의 경우 방사선 투시 영상기로부터 멀리 떨어져 있으므로 방사선 노출이 덜 되는 것을 확인할 수 있었다. 수술 중 수술자인 외상 교수가 조수자인 전임의에 비해 방사선 투시기에 가까이 위치해 있었는데, 방사선 투과기와 거리의 차이 때문에 외상 교수가 전임의에 비해 방사선 피폭량이 높게 측정되었고, 이 결과는 방사선 투시기와 노출자와 거리의 중요성을 뒷받침한다고 할 수 있다.

둘째는 방사선 투시기의 위치인데 X선 tube의 위치에 따라 방사선 피폭되는 정도가 다르다는 것이다. Fig. 2에서 보듯이 전통적인 방사선 투시기의 경우 X선 tube가 아래에 위치해 아래서부터 위쪽으로 X선이 투과되는 반면, 역방향 방사선 투시기는 X선 tube가 위에 위치해 있다. Tremains 등²⁴⁾에 의하면 역방향 방사선 투시기를 사용하였을 경우 전통적인 방사선 투시기에 비해 수술자의 서혜부에 피폭되는 방사선량이 15% 정도로 감소한다고 하였다. 또한 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 방사선 투시기를 수평으로 위치하였을 때에 수술자는 X선 tube 반대편에 서야 방사선에 노출이 적게 되는 것을 확인할 수 있다.²⁵⁾ 따라서 수술 시 방사선 투과 영상기로부터 적정 거리를 유지하고 영상기를 수평으로 위치할 때 반드시 X-ray tube가 아닌 투과기(intensifier) 옆에 위치하는 것이 방사선 노출을 최소화할 수 있을 것이다.

이번 연구에서 방사선 차폐 가운을 입지 않을 경우 방사선 피폭량이 연간 허용치를 초과하거나 근접하는 반면, 방사선 차폐 가운을 입는 경우 방사선 피폭량이 각각 35%, 16%의 방사선에 노출되는 결과를 확인하였다. 피험자의 방사선 차폐 가운 밖에서 측정한 피폭량의 차이는 약 1.2배였으나, 방사선 차폐 가운을 입는 경우는 약 2.6배의 차이를 보였다. 이는 방사선에 노출되는 시술자의 방향과 연관지어 생각해 볼 수 있다. Jackson과 Brennan²⁶⁾에 의하면 체간 전체를 가리는 wrap around apron의 경우 방사선에 전후면 방향으로 노출되었을 경우 고환부위에 노출되는 방사선이 약 58%까지 차폐되며 측면 방향으로 노출되었을 경우 장골에 의한 차폐까지 더해져 약 88%의 차폐가 가능하다고 하였고, 이번 연구에서 사용한 방사선 차폐 가운은 half apron은 측면 방향으로

노출되었을 경우 45%의 차폐가 가능하다고 하였다. 따라서 방사선에 노출될 때 X-선과 전후면 방향으로 위치하도록 방향을 잡는 것이 방사선 노출을 줄일 수 있는 방법이 될 것이다.

이번 연구에서 조사 대상자가 2명으로 적었다는 점과 대상자 개인별에 대한 방사선 조사 시간을 정확하게 측정하지 않았다는 점에는 한계가 있다. 외상 교수 및 전임의가 동일한 수술을 각각 독립적으로 수행하여 두 대상자간의 수술 시간 및 방사선 노출 시간, 방사선 피폭 선량을 비교하여야 숙련도의 차이에 따른 방사선 노출 정도를 알 수 있으나, 이번 연구에서는 거의 모든 수술에서 교수와 전임의가 동시에 수술에 참여하였기 때문에 수술의 숙련도에 따른 방사선 피폭 정도의 차이를 이야기하기는 어려운 제한점이 있다. Blattert 등에 의하면 2년간 30예 이상의 금속정 수술을 한 senior군과 최근 2년간 동일한 수술을 10예 이하의 경험이 있는 전임의 군으로 나누어 금속정 수술 시 방사선 피폭 정도를 비교하였는데 senior군에서는 수술당 평균 0.08 mSv, 전임의 군에서는 수술당 평균 0.108 mSv에 노출되어 수술의 숙련도가 방사선 노출 정도에 영향을 미친다고 하였다.²⁷⁾

이번 연구를 토대로 방사선 피폭에 대한 경각심을 일으키고 방사선 차폐의 필요성을 제기하는 것에 의의가 있겠다.

결론

직업 상 방사선에 노출되는 의료인의 경우 허용되는 최고 방사선 피폭 선량은 연간 20 mSv이다. 본 연구에서 측정한 방사선 차폐 가운을 입지 않은 상태의 피폭 선량을 연간으로 환산할 경우 2명 중 1명에서는 연간 허용량을 초과하게 되고, 나머지 1명도 연간 허용량에 근접하였다. 따라서 환자의 치료 시 노출되는 방사선에 대한 주의가 필요하며, 방사선 노출을 최소화 하기 위해 차폐 가운의 착용 등 적극적인 노력을 해야 할 것이다.

참고문헌

- Oh CW, Kim JJ, Byun YS, et al. Minimally invasive plate osteosynthesis of subtrochanteric femur fractures with a locking plate: a prospective series of 20 fractures. Arch Orthop Trauma Surg. 2009;129:1659-65.
- Apivatthakakul T, Chiewcharntanakit S. Minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO) in the treatment of the femoral shaft fracture where intramedullary nailing is not indicated. Int Orthop. 2008;33:1119-26.
- Zhiqian A, Bingfang Z, Yeming W, Chi Z, Peiyan H. Minimally invasive plating osteosynthesis (MIPO) of middle and distal third humeral shaft fractures. J Orthop Trauma. 2007; 21:628-33.

4. Hasenboehler E, Rikli D, Babst R. Locking compression plate with minimally invasive plate osteosynthesis in diaphyseal and distal tibial fracture: a retrospective study of 32 patients. *Injury*. 2007;38:365-70.
5. Hazarika S, Chakravarthy J, Cooper J. Minimally invasive locking plate osteosynthesis for fractures of the distal tibia--results in 20 patients. *Injury*. 2006;37:877-87.
6. Perren SM. The technology of minimally invasive percutaneous osteosynthesis (MIPO). *Injury*. 2002;33 Suppl 1: VI-VII.
7. Krettek C, Muller M, Miclau T. Evolution of minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO) in the femur. *Injury*. 2001;32 Suppl 3: SC14-23.
8. Maxon HR, Thomas SR, Saenger EL, Buncher CR, Kereiakes JG. Ionizing irradiation and the induction of clinically significant disease in the human thyroid gland. *Am J Med*. 1977;63:967-78.
9. Merriam GR, Jr., Focht EF. A clinical study of radiation cataracts and the relationship to dose. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med*. 1957;77:759-85.
10. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP*. 1991;21:1-201.
11. Ron E. Cancer risks from medical radiation. *Health Phys*. 2003;85:47-59.
12. Bross ID, Ball M, Falen S. A dosage response curve for the one rad range: adult risks from diagnostic radiation. *Am J Public Health*. 1979;69:130-6.
13. Korea Food and Drug Administration. 2007 Report occupational radiation exposure in diagnostic radiology in Korea. Seoul, Korea Food and Drug Administration, 2008.
14. Kempf I, Grosse A, Beck G. Closed locked intramedullary nailing. Its application to comminuted fractures of the femur. *J Bone Joint Surg Am*. 1985;67:709-20.
15. Levin PE, Schoen RW, Jr., Browner BD. Radiation exposure to the surgeon during closed interlocking intramedullary nailing. *J Bone Joint Surg Am*. 1987;69:761-6.
16. Müller LP, Suffner J, Wenda K, Mohr W, Rommens PM. Radiation exposure to the hands and the thyroid of the surgeon during intramedullary nailing. *Injury*. 1998;29:461-8.
17. Madan S, Blakeway C. Radiation exposure to surgeon and patient in intramedullary nailing of the lower limb. *Injury*. 2002;33:723-7.
18. Devalia KL, Peter VK, Madanur MA, Braithwaite IJ. Exposure of the thyroid to radiation during routine orthopaedic procedures. *Acta Orthop Belg*. 2006;72:615-20.
19. Barry TP. Radiation exposure to an orthopedic surgeon. *Clin Orthop Relat Res*. 1984;(182):160-4.
20. Goldstone KE, Wright IH, Cohen B. Radiation exposure to the hands of orthopaedic surgeons during procedures under fluoroscopic X-ray control. *Br J Radiol*. 1993;66:899-901.
21. Fuchs M, Schmid A, Eiteljörge T, Modler M, Stürmer KM. Exposure of the surgeon to radiation during surgery. *Int Orthop*. 1998;22:153-6.
22. Dosch JC, Dupuis M, Beck G. [Radiation measurements during interlocking nailing]. *Hefte Unfallheilkd*. 1983;161:36-8.
23. Mehlman CT, DiPasquale TG. Radiation exposure to the orthopaedic surgical team during fluoroscopy: "how far away is far enough?". *J Orthop Trauma*. 1997;11:392-8.
24. Tremains MR, Georgiadis GM, Dennis MJ. Radiation exposure with use of the inverted-c-arm technique in upper-extremity surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 2001;83-A:674-8.
25. Balter S. Stray radiation in the cardiac catheterisation laboratory. *Radiat Prot Dosimetry*. 2001;94:183-8.
26. Jackson G, Brennan PC. Radio-protective aprons during radiological examinations of the thorax: An optimum strategy. *Radiation Protection Dosimetry*. 2006;121:391-4.
27. Blattert TR, Fill UA, Kunz E, Panzer W, Weckbach A, Regulla DF. Skill dependence of radiation exposure for the orthopaedic surgeon during interlocking nailing of long-bone shaft fractures: a clinical study. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2004;124:659-64.

Radiation Exposure to the Orthopaedic Surgeon during Fracture Surgery

Ji Wan Kim, M.D.*, and Jung Jae Kim, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine, Seoul,

**Department of Orthopedic Surgery, Haeundae Paik Hospital, Inje University College of Medicine, Busan, Korea*

Purpose: To assess the risk of radiation exposure by measuring the equivalent dose during fracture surgery.

Materials and Methods: Two orthopedic trauma surgeons were enrolled in this study from April to June 2009. The equivalent dose was measured using thermoluminescent dosimeters placed at the left (in and out of the lead apron).

Results: The equivalent dose measured from the apron over the 3 month period were 5.22 mSv, 4.34 mSv(outside), and 1.83 mSv and 0.71 mSv(inside). The rate of radiation reduction was 64.9% and 83.6% respectively.

Conclusion: The estimated annual equivalent dose outside the apron was close to or higher than the maximum limit of radiation exposure. These findings highlight the need for surgeons to be more cautious about radiation exposure during fracture management and take active steps to minimize radiation exposure, such as wearing a radio-protective apron.

Key words: fracture surgery, fluoroscopy, radiation exposure, equivalent dose

Received September 2, 2009 **Accepted** December 16, 2009

Correspondence to: Jung Jae Kim, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Asan Medical Center, College of Medicine, University of Ulsan, #388-1, Pungnap-2dong, Songpa-gu, Seoul 138-736, Korea

TEL: +82-2-3010-3538 **FAX:** +82-2-488-7877 **E-mail:** jjkim2@amc.seoul.kr